T.C.

YILDIZ TEKNİK ÜNİVERSİTESİ

FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

ROKA TOHUMUNDAN DOĞAL GAM ÜRETİMİ VE KETEN TOHUMU YAĞININ MİKROENKAPSÜLASYONUNDA KULLANIMI

Esra AVCI

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Gıda Mühendisliği Anabilim Dalı

Gıda Mühendisliği Programı

Danışman

Doç. Dr. Salih KARASU

Eş Danışman

Doç. Dr. Ayşe KARADAĞ

Temmuz, 2020

T.C.

YILDIZ TEKNİK ÜNİVERSİTESİ

FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

ROKA TOHUMUNDAN DOĞAL GAM ÜRETİMİ VE KETEN TOHUMU YAĞININ MİKROENKAPSÜLASYONUNDA KULLANIMI

Esra AVCItarafından hazırlanan tez çalışması 13.07.2020 tarihinde aşağıdaki jüri tarafından Yıldız Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Gıda Mühendisliği Anabilim Dalı, Gıda Mühendisliği Programı **YÜKSEK LİSANS TEZİ** olarak kabul edilmiştir.

Doç. Dr. Salih KARASU
Yıldız Teknik Üniversitesi
Danışman

Doç. Dr.Ayşe KARADAĞ
Yıldız Teknik Üniversitesi
Eş-Danışman

Jüri Üyeleri

Doç. Dr. Salih KARASU, Danışman

Yıldız Teknik Üniversitesi _____

Doç. Dr. Fatih TÖRNÜK, Üye

Yıldız Teknik Üniversitesi _____

Prof. Dr. Ümit GEÇGEL, Üye

Namık Kemal Üniversitesi _____

Danışmanım Doç. Dr. Salih KARASUve eş danışmanım Doç. Dr. Ayşe KARADAĞ sorumluluğunda tarafımca hazırlanan ROKA TOHUMUNDAN DOĞAL GAM ÜRETİMİ VE KETEN TOHUMU YAĞININ MİKROENKAPSÜLASYONUNDA KULLANIMIbaşlıklı çalışmada veri toplama ve veri kullanımında gerekli yasal izinleri aldığımı, diğer kaynaklardanaldığım bilgileri ana metin ve referanslarda eksiksiz gösterdiğimi, araştırma verilerineve sonuçlarına ilişkin çarpıtma ve/veya sahtecilik yapmadığımı, çalışmam süresincebilimsel araştırma ve etik ilkelerine uygun davrandığımı beyan ederim. Beyanımınaksinin ispatı halinde her türlü yasal sonucu kabul ederim.

Esra AVCI

İmza

Değerli aileme

TEŞEKKÜR

Yüksek lisans öğrenimim süresince bana sunduğu bilgi ve deneyimleriyle, çalışmama her türlü katkı sağlayan danışman hocam Doç. Dr. Salih KARASU ve eş danışman hocam Doç. Dr. Ayşe Karadağ'a,

Tecrübeleriyle çalışmama yön veren değerli Arş.Gör. Fatih Bozkurt'a ve yardımlarıyla her türlü imkândan faydalanmamı sağlayan Yıldız Teknik Üniversitesi Gıda Mühendisliği Bölümü araştırma görevlilerine,

Bu süre zarfındadestekleriyle beni yalnız bırakmayan değerli arkadaşlarım Zeynep Hazal TEKİN, Alican AKÇİÇEK,Cansu Pehlivan Akgül, Zeynep BAKKALOĞLU, Esra Akdeniz, Melis Yıldız ve Arş. Gör. Duygu Özmen'e,

Hayatım boyunca maddi, manevi fedakârlıklar yapan, haklarını hiçbir şekilde ödeyemeyeceğimcanım aileme sonsuz teşekkürlerimi sunarım.

Esra AVCI

İÇİNDEKİLER

SİMGE LİSTESİ viii

KISALTMA LİSTESİ ix

ŞEKİL LİSTESİ x

TABLO LİSTESİ xi

ÖZET xii

ABSTRACT xiv

1 GİRİŞ 1

1.1 Literatür Özeti 4

1.1.1 Tohum Gamları 4

1.1.2 Roka Tohumuve Roka Tohumu Gamı 7

1.1.3 Keten Tohumu Yağı 8

1.1.4 Lipit Oksidasyonu 9

1.1.5 Mikroenkapsülasyon 11

1.1.6 Mikroenkapsülasyon Kullanılan Duvar Materyalleri 13

1.2 Tezin Amacı 17

1.3 Orijinal Katkı 17

2 MATERYAL VE YÖNTEM 19

2.1 Materyal 19

2.2 Yöntem 20

2.2.1 Emülsiyonların Hazırlanması 20

2.2.2 Dondurarak Kurutma 23

2.3 Emülsiyon Analizleri 24

2.3.1 Damlacık Boyutu Ölçümleri 24

2.3.2 Zeta Potansiyelinin Belirlenmesi 25
2.3.3 Optik Mikroskop Görüntüleri 25
2.3.4 Reolojik Analizler 25
2.3.5 Emülsiyon Stabilitesinin Belirlenmesi 26
2.4 Mikrokapsüllerin Analizleri 27
2.4.1 Nem Tayini 27
2.4.2 Su Aktivitesi Tayini 27
2.4.3 Renk Tayini 27
2.4.4 Enkapsülasyon Etkinliğinin Belirlenmesi 27
2.4.5 Taramalı Elektron Mikroskobu Analizi (SEM) 28
2.4.6 Oksidatif Stabilitesinin Belirlenmesi 28
2.4.7 Fourier Dönüşümlü Kızılötesi Spektroskopisi (FTIR) Analizi 29
2.5 İstatistiksel Analiz 29
3 BULGULAR VE TARTIŞMA 30
3.1. Emülsiyon Karakterizasyonu 30
3.1.1 Emülsiyonun Damlacık Boyutu Dağılımı 30
3.1.2 Emülsiyonların Zeta Potansiyeli 34
3.1.3 Emülsiyonun Optik Mikroskop Görüntüleri 35
3.1.4 Emülsiyonun Reolojik Özellikleri 38
3.1.5 Emülsiyonun Stabilitesi 46
3.2 Mikrokapsül Karakterizasyonu 48
3.2.1 Mikrokapsülün Nem ve Su Aktivitesi İçeriği 48
3.2.2 Mikropartikül Renk Tayini 49
3.2.3 Enkapsülasyon Etkinliği 51
3.2.4 Taramalı Elektron Mikroskobu Analizi (SEM) 54
3.2.5 Oksidatif Stabilite 58

3.2.6 Fourier Dönüşümlü Kızılötesi Spektroskopisi (FTIR) Analizi 59

4 SONUÇ VE ÖNERİLER 62

KAYNAKÇA 64

TEZDEN ÜRETİLMİŞ YAYINLAR 80

SİMGE LİSTESİ

ω	Açısal Frekans
n, n', n'', n*	Akış Davranış İndeksleri
α	Alfa
β	Beta
dk	Dakika
G'	Elastik Modülü
Hz	Hertz
H	Hidrojen
Ca	Kalsiyum
τ	Kayma Gerilimi
C	Karbon
K	Kelvin
γ	Kesme Hızı
K, K', K'', K*	Kıvam Katsayıları
G*	Kompleks Modülüs
η*	Kompleks Viskozite Değeri
Mg	Magnezyum
mPa	Megapaskal
μ	Mikron
μm	Mikrometre
mm	Milimetre
mV	Milivolt
O	Oksijen
s	Saniye
°C	Santigrat Derece
R^2	Regresyon Katsayıları
G''	Viskoz Modülü
ζ-	Zeta Potansiyeli

KISALTMA LİSTESİ

ALA	α-Linolenik Asit
AG	Arabik gam
PUFA	Çoklu Doymamış Yağ Asitleri
DE	Dekstroz Eşdeğerliği
DHA	Dokosahekzaneoik Asit
D	Duvar
EE	Enkapsülasyon Etkinliği
EPA	Eikosapentaenoik Asit
FTIR	Fourier Dönüşümü Kızılötesi Spektroskopisi
G	Galaktoz
IP	İndüksiyon Periyodu
MD	Maltodekstrin
M	Mannoz
NMR	Nükleer Manyetik Rezonans
PAS	Peyniraltı suyu
RG	Roka Tohumu Gamı
SEM	Taramalı Elektron Mikroskobu Analizi
Y	Yağ

ŞEKİL LİSTESİ

Şekil 2. 1 Roka tohumu ve elde edilen roka tohumu gamı 20
Şekil 2. 2 Ultrasonik homojenizasyon süresinin damlacık boyutu üzerine değişimi 22
Şekil 2. 3 Hazırlanan emülsiyonlar 23
Şekil 2. 4 Elde edilen mikrokapsüller 24
Şekil 3. 1 Emülsiyonun monomodal dağılım gösterimi 33
Şekil 3. 2 Y:D (1:2) Emülsiyonun optik mikroskop görüntüleri 36
Şekil 3. 3 Y:D (1:4) Emülsiyonun optik mikroskop görüntüleri 37
Şekil 3. 4 Emülsiyonların akış davranış reolojik eğrileri 42
Şekil 3. 5 Emülsiyonların elastik (G') ve viskoz modülü (G'') eğrileri 44
Şekil 3. 6 Emülsiyonların yüksek sıcaklık altında termal döngü eğrileri 47
Şekil 3. 7 Mikrokapsüllerin renk görüntüleri 50
Şekil 3. 8 Y:D (1:2) Mikrokapsüllerin SEM görüntüleri 55
Şekil 3. 9 Y:D (1:4) Mikrokapsüllerin SEM görüntüleri 56
Şekil 3. 10 Mikrokapsüllerin FTIR spektrumları 60

TABLO LİSTESİ

Tablo 1.1 Keten tohumu yağının enkapsülasyon çalışmaları 16
Tablo 2. 1 Emülsiyon Formülasyonları 21
Tablo 3. 1 Emülsiyonların damlacık boyutu 32
Tablo 3. 2 Emülsiyonların zeta potansiyel değerleri 35
Tablo 3. 3 Emülsiyonların akış davranış parametreleri 41
Tablo 3. 4 Emülsiyonların viskoelastik parametreleri 45
Tablo 3. 5 Mikropartikülün nem ve su aktivitesi içerikleri 49
Tablo 3. 6 Mikropartikülün L*,a*,b* değerleri 51
Tablo 3. 7 Mikrokapsülün enkapsülasyon etkinliği değerleri 52
Tablo 3. 8 Örneklerin indüklenme periyotları (IP) 59

ÖZET

Roka Tohumundan Doğal Gam Üretimi Ve Keten Tohumu Yağının Mikroenkapsülasyonunda Kullanımı

Esra AVCI

Gıda Mühendisliği Anabilim Dalı

Yüksek Lisans Tezi

Danışman: Doç. Dr. Salih KARASU

Eş-Danışman: Doç. Dr. Ayşe KARADAĞ

Son yıllarda yapılan çalışmalarda, enkapsülasyon ajanları olarak doğal kaynakların kullanılması ile ilgili çalışmaların sayısı artmaktadır. Bu tez çalışmasının amacı yüksek miktarda lif içeriğine sahip roka çekirdeğinin gıda hidrokolloidi olarak kullanma potansiyelini araştırmaktadır. Roka tohumu gamının enkapsülasyon ajanı olarak kullanılmasıylailgili daha önce literatürde herhangi bir çalışma bulunmamaktadır.

Bitkisel omega-3 kaynaklarından keten tohumu yağı doymamış yağ asitleri dolayısıyla oksidasyona karşı duyarlıdır. Bu çalışmada, roka tohumundan üretilmiş gamın, sektörde sıklıkla kullanılan arabik gam ve maltodekstin varlığında emülsiyonları hazırlanmış ve daha sonra dondurarak kurutma yöntemiyle toz haline getirilmiştir. Enkapsüle edilen keten tohumu yağının karakterizasyonu yapılmış ve oksidatif stabiltesindeki değişim değerlendirilmiştir. Kurutma öncesi emülsiyonun karakterizasyonu için reolojik özellikleri, damlacık boyutu, zeta potansiyeli ve optik görüntüleri incelenmiştir. Zeta potansiyelleri roka tohumunun

artışıyla -26,5 mV ile -31,9 mV arasında değişim göstermiştir. Farklı formülasyonlardaki emülsiyonlarınkayma gerilmesi-kayma hızı ilişkileri incelendiğinde Newton tipi olmayan akış tipi gösterdikleri belirlenmiştir. Hem akış davranış hem de dinamik reolojik özelliklerde roka tohumu gamının ilavesiyle sürekli fazın hareketi kısıtlanarak kıvam katsayılarının artışı emülsiyonun viskoelastik katı karakter özelliğini güçlendirdiğini göstermektedir. Ayrıca emülsiyonların stabilitelerini belirlemek için yüksek sıcaklık değerlerinde (23-45°C) Termal Loop testi uygulanmış ve roka tohumu gamı miktarının artışıyla emülsiyonların daha stabil olduğu görülmüştür. Keten tohumu yağının enkapsülasyon etkinliği % 38-52 arasında değişmiş, örnekler arasında istatistiksel olarak anlamlı farklar görülmemiştir. Mikrokapsül karakterizasyonu için FTIR analizi ile duvar malzemelerin interaksiyonu, SEM ile görüntüleri alınan mikrokapsüllerin yüzey morfolojileri ortaya konulmuştur. Oksidatif stabilite testlerine göre, roka tohumu gamı ile enkapsüle edilen keten tohumu yağının oksidasyonunun, yağ: duvar oranlarına (1:2 ve 1:4) göre sırasıyla kontrol örneğine göre 3,12 ve 5,73 kat azaldığı belirlenmiştir. Sonuçlar roka tohumu gamının keten tohumu yağının enkapsülasyonunda kullanılabileceğini göstermiştir.

Anahtar Kelimeler: Mikroenkapsülasyon, duvar materyali, roka tohumu gamı, keten tohumu yağı.

ABSTRACT

Natural Gum Production From Rocket Seeds And Use Of Rocket Seed Gum İn Microencapsulation Of Flaxseed Oil

Esra AVCI

Department of Food Engineering

MSc. Thesis

Advisor: Assoc. Prof. Salih KARASU

Co-advisor: Assoc. Prof. Ayşe KARADAĞ

In recent years, the number of studies on the use of natural resources as encapsulation agents has been increasing. The aim of this thesis study is to investigate the potential of using rocket seeds with high fiber content as food hydrocolloid. There are no previous studies in the literature regarding the use of rocket seed gum as an encapsulating agent. Flaxseed oil, which is one of the vegetable omega-3 sources, is sensitive to oxidation due to unsaturated fatty acids. In this study, emulsions of the gum produced from rocket seed in the presence of arabic gum and maltodextrin, which are frequently used in the industry, were prepared and then powdered by freeze drying method. Characterization of encapsulated flaxseed oil was made and the change in oxidative stability was evaluated. Rheological properties, droplet size, zeta potential and optical images were investigated for the characterization of the emulsion before drying. Zeta potentials ranged from -26.5 mV to -31.9 mV with an increase in the rocket seed gum. When shear stress-shear rate relationships of different formulations are examined, it is determined that they show non-Newtonian flow type. With the addition of rocket seed gum in both flow behavior and dynamic rheological

properties, the increase in consistency coefficients by restricting the movement of the continuous phase shows that the emulsion strengthens the viscoelastic solid character property.In addition, to determine the stability of the emulsions, Thermal Loop test was applied at high temperatures (23-45 ° C) and it was found that the emulsions were more stable with the increase in the amount of rocket seed. gum. The encapsulation efficiency of flaxseed oil varied between 38-52%, there was no statistically significant difference between the samples. For microcapsule characterization, the interaction of wall materials with FTIR analysis, and the surface morphology of microcapsules with images taken by SEM were revealed. According to the oxidative stability tests, it was determined that the oxidation of flaxseed oil encapsulated with rocket seed gum decreased by 3.12 and 5.73 times, respectively (1: 2 and 1: 4). The results showed that the rocket seed gum could be used for encapsulation of flaxseed oil.

Keywords: Microencapsulation, wall material, rocket seed gum, flaxseed oil

1
GİRİŞ

Hidrokolloidler, yapılarının hidrofilik kısımları nedeniyle gıda endüstrisinde koyulaştırıcı, jelleştirici, doku ajanları, stabilizatörler ve emülgatörler olarak kullanılmaktadır [1, 2]. Hidrokolloidler doğada bulunan doğal zamklar, doğal zamkların kimyasal modifikasyonlarına dayanan modifiye zamklar (yarı sentetik) ve kimyasal sentez ile üretilen sentetik zamklar olarak sınıflandırılmaktadır. Doğal hidrokolloidler arasında keçiboynuzu zamkı, arap zamkı ve guar zamkı en iyi bilinenlerdir. Gıda endüstrisinde kullanılan metil selüloz, karboksimetilselüloz, ve hidroksietil selüloz ise genel sentetik gamlar arasındadır[2]. Ancak sentetik gamların gıda endüstrisinde kullanılmasının bazı dezavantajları bulunmaktadır. Bunlardan bazıları yüksek maliyet oluşturması, vücutta yüksek toksisiteye neden olması, çevre kirliliğine sebep olması ve yenilenemez kaynaklar olmalarıdır. Gıda endüstrisinde sentetik gamlar yerine doğal gam kaynaklarının kullanımı biyolojik olarak uyumlu ve parçalanabilirliği, kolay elde edilebilirliği, düşük maliyetli olması ve toksik olmaması nedenlerinden dolayı tercih edilmektedir. Son zamanlarda yeni doğal gam arayışlarındaki ilgide bu yönde artmaktadır [3-7].

Gamlar, bitkiler, hayvanlar, deniz yosunları ve mikroorganizmalar tarafından üretilen doğal olarak oluşan moleküllerdir. Gamlar,karakteristik moleküler polidispersiteleri ve çok sayıda hidrofilik grubun varlığı nedeniyle doku değiştiricileri, koyulaştırıcılar, jelleştirme ajanları, kaplayıcı ajanlar, emülsiyonlaştırıcılar ve stabilizatörler olarak gıda ürünlerinde kullanılmaktadır [8]. Keçiboynuzu, keten tohumu ve Alyssum homolokarpum gibi bitki tohumları geleneksel gam kaynaklarıdır. Bitkisel gam kaynaklarından elde edilen çemen otu, keçiboynuzu ve guar zamkı, farklı karakteristik oranlarında galaktoz ve mannoz alt birimlerine sahip olan galaktomannan hidrokolloidlerdir [9].

Galaktomananlar, *Leguminosae* familyasına ait bitkilerin tohum endosperm polisakkaritleridir [10]. Yapıları, (1 → 4) β-D-mannoz kalıntılarınındoğrusal zincirlerinden oluşur. Doğrusal zincirin bazıları bir (1 → 6) glikozid bağı ile bağlı

tek bir α-Dgalaktoz kalıntısı taşır.Galaktomannan zamkları sahip olduğu yapılarından dolayı yüksek kıvamlı dispersiyonlar oluşturabilen yüksek su bağlama kapasitesine sahiptir ve bu da onları etkili koyulaştırıcılar ve stabilizatörler haline getirir [11].Gamlar, yenilebilir, biyolojik olarak parçalanabildiklerinden ve çekirdek ile çevresi arasında bir bariyer oluşturabildiklerinden kaplayıcı ajan olarak da kullanılır[12].

Kapsülleme,aroma ve uçucu yağ gibi uçucu aktif maddelerin buharlaşmasının ve bozulmasının önlenmesi amacıyla kaplanması veya hapsedilmesiile yapılmaktadır. Verimli bir kapsülleme yönteminin ve uygun kaplama malzemesinin seçimi oldukça önemlidir. Kapsülleme teknikleri arasında sprey kurutma, koaservasyon, ara yüzey emülsiyon polimerizasyonu, ekstrüzyon kaplama, akışkan yataklı kaplama, liyofilizasyon ve kristalleşme bulunur [13]. Mikro kapsülleme ileaktif bir maddenin etrafının bir veya daha fazla kaplama (duvar)malzemesi ile kaplanıp mikrometre ile milimetre aralığındaki büyüklükte kapsüller (mikrokapsül) elde edilir. Spreyle kurutma ve dondurarak kurutma yöntemleri, gıda endüstrisinde mikro kapsülleme için kullanılan en yaygın yöntemlerdir. Spreyle kurutma teknolojiiyi kurulmuş ve oldukça ucuz olmasına rağmen, sprey kurutma yöntemi için sınırlı sayıda kaplama malzemesi mevcuttur ve çalışmalar alternatif kaplama materyallerine yönelmektedir[14, 15].

Son yıllarda, araştırmacılar bitki materyallerinin kaplamalarda kullanılmasına odaklanmıştır [16]. Arabik gam, mikro kapsüllemede kullanılan en yaygın duvar malzemelerinden biridir. Her ne kadar iyi bir kapsülleyici ajan (yüksek çözünürlük, düşük viskozite ve iyi emülsifiye edici özellikler) olarak arzu edilen birçok özellik sunsa da, salınım ve artan fiyatlar açısından yerini alabilecek alternatif duvar malzemelerini aramaya yöneltmektedir. Yaygın duvar malzemelerinden bir diğeri ise maltodekstrindir. Nispeten düşük maliyetli, nötr aroma ve tat, yüksek katı madde konsantrasyonlarında düşük viskozite ve oksidasyona karşı iyi koruma gibi avantajlar sunmasının yanında en büyük sorunu, düşük emülsifiye edici kapasitesidir [17, 18].

Duvar malzemesi kombinasyonlarının seçimi, hem emülsiyon özelliklerini hem de taneciklerin kuruduktan sonra ve depolama sırasında özelliklerini etkiler. Stabilite,

viskozite, damlacık ebadı gibi emülsiyon özelliklerinin yanı sıra yüzey yağı, partikül boyutu, yoğunluk, morfoloji ve oksidatif stabilite gibi toz özelliklerinin, kullanılan kapsülleme ajanının özelliklerinden etkilendiği iyi bilinmektedir [19]. Tüm bunlar göz önüne alınarak literatürdeki bu eksikliği gidermek adına roka tohumu gamının kaplayıcı ajan olarak değerlendirilmesi amaçlanmıştır.

Roka Türkiye'nin Akdeniz Bölgesi'nde yaygın olarak yetiştirilen bir bitkidir. Roka çekirdeği yüksek miktarda lif içerir, bu yüzden doğal gıda hidrokolloidi olarak kullanılma potansiyeline sahiptir[20]. Roka tohumu gamı, roka tohum endosperminin çıkarılmasıyla elde edilir. Ana bileşenleri ise doğrusal zincir β-D-1-4 mannopiranoz ve α-D-1-6 galaktopiranozdan oluşan galaktomannan polisakaritlerdir.

Keten tohumu yağı, diğer bitki veya deniz yağlarından daha yüksek oranda α-linolenik aside (ALA) sahiptir[21]. ALA'nın toplam yağ asitlerinin yaklaşık % 57'sini oluşturur [18]. Bu açıdan incelediğimizde keten tohumu yağını en önemli bitkisel omega-3 kaynaklarından biri olarak değerlendirebiliriz. Keten tohumu yağının fonksiyonel özelliğe sahip olmasıyla birlikte çoklu doymamış yağ asidi yüzdesinin fazla olması ürünü oksidasyona karşı daha duyarlı hale getirmektedir. Bu durum keten tohumu yağının depolama sırasında oksidatif stabilitesini azaltmaktadır. Oksidasyon konusunda da biyolojik işlevsellik kaybı, duyusal kalitede bozukluk gibi dezavantajlarda beraberinde gelmektedir. Omega-3 açısından zengin olan keten tohumu yağının depolama sırasında oksidatif stabilitesini artırmak ve raf ömrünü uzatmak için mutlaka farklı tekniklere maruz bırakılması gerekmektedir.

Mikroenkapsülasyon işleminde araştırmacıların yeni bir enkapsülasyon yöntemi veya yeni bir kaplayıcı ajan üretme üzerine yoğunlaşmaktadırlar. Roka tohumu gamının kaplayıcı ajan olarak değerlendirildiği ile ilgili daha önce literatürde herhangi bir çalışma bulunmamaktadır. Bu çalışma kapsamında ilk defa roka tohumu gamının keten tohumu yağının enkapsülasyonunda yeni bir duvar malzemesi olarak kullanımı araştırılmıştır.

1.1 Literatür Özeti

1.1.1 Tohum Gamları

Tohum gamları farklı bitkiler tarafından üretilen hepsi benzersiz işlevlere sahip polisakkaritlerdir. Gamlar kompleks karbonhidrat polimerler olarak, diyet lifi, kıvam arttırıcı madde, köpükleştirici, yenilebilir film, emülgatör, stabilizatör ve taşıyıcı sistem vb. işlevlerde endüstride yaygın kullanılırlar. Bu işlevlere dayanarak, gamlar soslarda, dondurma, yoğurt, peynir gibi süt ürünlerinde; ketçaplarda, salata soslarında, içeceklerde ve meyve içeceklerinde katkı maddesi olarak kullanılırlar [16, 22-26].

Suda çözünebilen gamlar 'hidrokolloid' olarak da bilinir [1]. Hidrokolloidler, su uzaklaştırılarak glikozit bağlantısı yoluyla bağlanan monosakkaritlerden oluşur.

Bitkinin tohumları, hücre duvarları, ağaç eksüdaları, kök ve yosunları gibi çeşitli kısımlarında gam müsilaj, lif ve protein bileşikleri içeren yüzey hücreleri bulunur [27]. Doğal gamlar kökenlerine, davranışlarına ve kimyasal yapılarına göre kategorize edilirler. Örneğin guar gamı bitkinin tohumlarının endosperminden, arabik gam ağaç eksüdalarından, ksantan gam bakterilerden, kitin ise hayvan kaynaklarından elde edilir. Gıda endüstrisinde gam üretebilmek için "yetiştirilmekte olan" çok sayıda bitki türü vardır. Bitkisel gamların çoğu *Leguminosae* familyasına aittir. Örneğin arabik gam kaynağı olarak *Acacia senegal*, guar zamkı kaynağı olarak *Cyamopsis tetragonolobus*, keçiboynuzu gamı kaynağı olarak ise*Ceratonia siliqua* 'dir[28].

Çeşitli bitkilerin (esas olarak *Leguminosae*) tohumlarının endosperminden türetilen gamların çoğu galaktomananlar olarak bilinen polisakkaritlerle temel yapısal benzerlikleri bulunur. Galaktomannanlar farklı parçacık boyutlarındaki *Leguminosae* tohumlarının öğütülmüş endospermidir. Galaktomananlar esas olarak mannoz ve galaktoz birimlerinden oluşan polisakkaritlerdir [29].Kimyasal yapıları incelendiğinde suda çözünen gamların çeşitlilikleri ise ya farklı oranlarda galaktoz mannoz içerikli polisakkaritlerden (guar gam, arabik gam, karboksimetilselüloz, karagenen, nişasta ve pektin) ya da proteinlerden (jelatin) kaynaklanmaktadır [28].

Galaktomannanların suda çözünürlüğü, galaktoz ikame derecesi ve M / G oranından önemli derecede etkilenir. Özellikle, daha yüksek bir mannoz / galaktoz (M / G) oranı, daha yüksek koyulaşma özelliklerine yol açar [30]. Bu bakımdan, guar zamkı soğuk suda çözünürken keçiboynuzu gamı oda sıcaklığında kayda değer bir çözünürlük gösterir[30]. Galaktomannanın kimyasal yapısındakimannoz / galaktoz (M / G) oranı, galaktoz kalıntılarının mannan omurgası boyunca dağılımı, moleküler ağırlık ve moleküler ağırlık dağılımına bağlı olarak farklı fizikokimyasal ve reolojik özellikler gösterirler [31].

Bitkisel gamların çeşitlerine göre ana yapı bileşenlerinde galaktoz, arabinoz, ramnoz, üronik asitler, galakturonik asit, protein, Ca ve Mg varlığı bildirilmiştir[1]. Bitkisel kaynaklı gamlardan çemen otu gamı Hindistan, Mısır ve Orta Doğu ülkelerinde yaygın olarak yetiştirilen çemen otu (*Trigonella foenum graecum*) tohumlarının endosperminden ekstrakte edilerek elde edilir. Çemen tohumu %22,57 oranında galaktomannan yapısına, %34,10 oranında protein içeriğine sahiptir[9].Çemen otu gamı esas olarak galaktomannandan oluşur. Zengin hidroksil gruplarına ve yüksek moleküler ağırlığa sahip bu tür bir polimer, yapışkan bir çözelti elde etmek için kolayca su ile hidrojen bağları oluşturur. Gıda endüstrisinde kıvam artırıcı, film oluşturucu, stabilizatör, emülgatör ve kaplayıcı ajan olarak kullanılır. Son zamanlarda çemen otu galaktomannan hidrojellerinin tarım uygulamalarında su tutucu ajan olarak kullanım potansiyeli ile ilgili çalışmalar da mevcuttur [32-35].

Mesquite tohum gamı ise galaktomannan yapısına sahip bitkisel kaynaklı gamlar arasındandır. *Prosopis* cinsi (mesquites ve algarrobos) *Mimosoideae* ailesine ait Algarrobo ağaçları kurak ve yarı kurak bölgelerde yetişir. Mesquite tohum endosperminden tamamen suda çözünür bir gam çıkarılır [36]. Mesquite tohumu % 66,1-72,5 arasında polisakkarit içeriğine sahiptir. Ayrıca tohumun yaklaşık %30'unu galaktomannan fraksiyonu oluşturmaktadır [37]. Ekmek yapımında ve şekerleme ürünlerinde hamurda buğday unu yerine yaygın olarak kullanılmaktadır. Gıda endüstrinde mikrokapsülleme ajanı olarak ta kullanılır[38, 39].

Bitkisel kaynaklı gamlardan keçiboynuzu zamkı ise Akdeniz bölgelerinde yetişen keçiboynuzu ağacının (*C. siliqua L.*) meyve kapsülünün tohum endospermini ezerek ekstrakte edilen 1:4 oranında galaktoz ve mannozdan oluşan galaktomannan polisakkaritidir[7]. Gıda ürünlerine uygulanabilen ilk galaktomannan biyopolimeri olarak kabul edilen keçiboynuzu zamkı, çoğunlukla dondurma ve krem peynirlerde kıvam artırıcı ve stabilizatör olarak kullanılan doğal polimerdir [40].

Chia tohumu (*Salvia hispanica L.*), nane ailesine ait yağlı tohum bitkisidir. Chia tohumu gamı chia tohumlarının tohum katmanından izole edilen beyaz bir tozdur. Yapısal olarak[41] tarafından yapılan bir çalışmada mannoz, arabinoz, glukuronik asitler ve galakturonik asitler gibi ek şekerler içeren daha karmaşık bir bileşim gösterir. Gıda endüstrisinde koyulaştırıcı olarak uygulanmasını genişletmek için chia tohumu zamkının sulu dispersiyonunun reolojik özellikleri de [42]tarafından incelenmiştir. Chia tohumlarının, emülsifiye edici ve stabilize edici aktivitelerini ve çözünürlük özelliklerinin incelendiği bir çalışmada düşük konsantrasyonlarda bile oldukça yüksek çözünürlük ve yüksek viskoziteye sahip olduğu rapor edilmiştir. Ayrıca nükleer manyetik rezonans (NMR) ve Fourier dönüşümü kızıl ötesi spektroskopisinden (FTIR) elde edilen verilerle yapısal bileşimi ve işlevselliği hakkında bilgi sunmuşlardır[43].Chia tohumu gamının mikrosal yapıları da[44] tarafından incelenmiştir.

Arabik gam Akasya'nın dallarından salgılanan amfifilik bir polisakkarittir[45]. Karboksil gruplarının moleküler zincirlerinden pH 2,2'nin üstünde ayrılması nedeniyle AG negatif yüklüdür [46]. Molekül yapısı ağırlıklı olarak D-galaktoz ve L-arabinoz birimlerinden oluşan yüksek oranda karbonhidrat (~% 97) ve düşük oranda protein (<% 3) içeriğine sahiptir [47]. Düşük viskoz ve yüksek çözünür bir hidrokolloid olan gam arabik iyi emülsifiye ve mikrokapsülleme özelliklerinden dolayı kullanımı yaygındır. Su içinde yağ emülsiyonları için iyi bir stabilizatördür. İşlevselliği nedeniyle literatürde arabik gamın kullanıldığı çok sayıda çalışma mevcuttur [45, 46, 48].

Keten tohumu gamı, fesleğen tohum gamı, guar gam ve tara zamkı gibi diğer bitkisel kaynaklı gamlarında kullanım alanları ve ilgili çalışmaları oldukça yaygındır [28].

Gamların fiziksel ve yapısal özelliklerinin tanımlamaları, moleküler ağırlık, monosakkarit bileşimi, monosakkarit dizisi, glikozit bağlantılarının konformasyonu, konfigürasyonu ve pozisyonu, partikül büyüklüğü, çözünürlük, jelleşme ve reolojik özelliklerinin incelenmesi sonucu ile yapılır [9, 49-51].

Son zamanlarda çeşitli uygulama alanları olan ve tüketicilerin hayvan ve mikrobiyal kaynaklardan elde edilen göre daha tercih edilen bitkisel tohum gamlarına olan ilgi artmaktadır[1, 16, 27, 28, 52, 53].

1.1.2 Roka Tohumuve Roka Tohumu Gamı

Roka (*Eruca sativa L.*) çeşitli tıbbi ve endüstriyel uygulamaları olan bir yağlı tohum mahsulüdür. Roka (*Eruca sativa L.*), Brassicasea ailesine ait diploid ve yıllık yağlı tohum bitkisi olarak kabul edilir [54]. Tüm dünyada yaygın olmakla birlikte kökeni Akdeniz Bölgesi'dir [55].

Roka yaprakları salatada,sebze, yiyeceklerde baharat veya hayvanlar için yeşil yem olarak kullanılır. Ayrıca, *E. sativa* biyoyakıt üretmek için çeşitli endüstrilerde kullanımı artmaktadır [56]. Tohum yağı, yüksek erüsik asit içeriği nedeniyle yağlama ve aydınlatma için endüstriyel bir yağ olarak da kullanılmaktadır [57]. *E.Sativa'*nın genetik çeşitliliğinin tohum yağ kalitesi ile ilgili özellikler açısından değerlendirildiğinde önemli bir fark gözlenmiştir [58].

Roka bitkisi lifler, besin açısından önemli mineraller ve askorbik asit, flavonoidler ve karotenoidler gibi doğal antioksidanlar bakımından zengindir. Lifler, mineraller ve karbonhidratlar çoğunlukla roka yapraklarında yoğunlaşırken, ham proteinler ve yağlar esas olarak tohumlarda bulunur [59]. Tohumlar uzun zamandır geleneksel tıpta ve ilaç endüstrisinde kullanılmaktadır [54].

Tohumlar genellikle sarıdır, ancak bazen kırmızı-sarı veya koyu renklerle beneklenir. Epidermal hücreleri müsilajlı madde içerir. Eruca sativa tohumu zamkının kimyasal bileşiminin incelendiği çalışmada % 67,97 karbonhidrat, %

9,75 protein, % 12,28 nem, % 10 kül içeriğine sahiptir[20]. Roka tohum gamının eldesinde optimum ekstraksiyon koşullarının sıcaklık 65,5° C, pH:4 ve su: tohum oranının 60:1 olduğu belirlemişlerdir. Optimum koşullar altında ekstrakte edilen Eruca sativa tohumu zamkının belirgin fonksiyonel özelliklerinden ötürü gıda endüstrisi için ticari bir hidrokolloid olarak viskozite, ve stabilite vermek için gıdalarda kullanım potansiyeli olduğubildirilmiştir[20].

Bu tez çalışması roka tohumundan gam elde edilerek mikroenkapsülasyon işleminde roka tohumu gamının kaplayıcı ajan olarak değerlendirildiği ilk çalışmadır.

1.1.3 Keten Tohumu Yağı

Keten Tohumunun binlerce yıl öncesine dayanan eski bir kültür bitkisi olduğu ve çeşitli amaçlarda kullanıldığı bilinmektedir[60, 61]. *Linaceae* familyasına ait olan keten tohumu (*Linum usitatissimum L.*) yüksek lipit ve lif içeriği nedeniyle endüstride gıda, yem, lif ve gam eldesi gibi çeşitli amaçlarda kullanılan bir ana üründür[62, 63]. Tohumları 4-6 mm uzunlukta, esmer renkli, parlak görünüme sahip ve kokusuzdur. Yüksek yağ içeriğine (%40) sahip keten tohumlarının ortalama lif, protein, nem ve kül oranları sırasıyla % 30, % 20, % 6 ve % 4'tür[64].

Soğuk sıkım ve solvent ekstraksiyonuyla elde edilen keten tohumu yağı diğer bitki veya deniz yağlarından daha yüksek oranda α- linolenik aside (ALA) sahiptir [21, 65]. Keten tohumu yağının yağ asitleri oranları sırasıyla %73'ü çoklu doymamış, %18'i tekli doymamış ve %9'u doymuştur. ALA toplam yağ asitlerinin yaklaşık % 57'sini oluşturur [18]. Bu açıdan incelediğimizde keten tohumu yağını en önemli bitkisel omega-3 kaynaklarından biri olarak değerlendirebiliriz. Omega-3 yağ asitleri, çoklu doymamış yağ asitleri (PUFA'lar) ailesine aittir. Adından da anlaşılacağı gibi, bunlar, metil ucundan başlayarak üçüncü karbona yerleştirilen birinci çift bağ ile çoklu çift bağlara sahiptir. Omega-3 ailesinin ilk üyesi, insan vücudu tarafından sentezlenmeyen alfa-linolenik asittir. Diğer omega-3 yağ asitleri ise eikosapentaenoik asit (EPA) ve dokosahekzaneoik asit (DHA)'tir. ALA'nın kaynakları koyu yeşil yapraklı sebzeler, bazı kabuklu yemişler, tohumlar ve yağları,

keten tohumuyken EPA ve DHA'nın kaynakları ise ringa balığı ve uskumru gibi yağlı balıklar, morina ve pisi balığı gibi yağsız beyaz balıkların karaciğeri, gibi deniz ürünleridir [66].

Keten tohumu yağının içerdiği fitokimyasal bileşenlerden dolayı fonksiyonel özelliğe sahip olmasıyla birlikte çoklu doymamış yağ asidi yüzdesinin fazla olması ürünü oksidasyona karşı daha duyarlı hale getirmektedir. Bu durum keten tohumu yağının depolama sırasında oksidatif stabilitesini azaltmakla birlikte toksik bileşiklerin oluşumu, yağın tadı, kokusu ve renginde değişiklik, kısa bir süre içinde besin değerinde azalma ile sonuçlanmaktadır [67]. Oksidasyon konusunda da biyolojik işlevsellik kaybı, duyusal kalitede bozukluk gibi dezavantajlarda beraberinde gelmektedir. Omega-3 açısından zengin olan keten tohumu yağının depolama sırasında oksidatif stabilitesini artırmak, yağın biyoaktif içeriğini korumak ve raf ömrünü uzatmak için mutlaka farklı tekniklere maruz bırakılması gerekmektedir.

1.1.4 Lipit Oksidasyonu

Lipid oksidasyonu, yağlarda bozulmaya sebep olan temel nedenlerden biridir. Kısaca doymamış yağ asitlerine oksijenin bağlanmasıyla stabil olmayan ara ürün ve ransit (acı tat) oluşumunun meydana gelmesi şeklinde özetlenebilir[68]. Ortamda ısı, ışık, yüksek sıcaklık, metal, oksijen veya enzim varlığı lipit oksidasyonunu tetikleyerek doymamış yağlardaki çift bağ okside olur veserbest radikaller meydana gelir. Eşleşmemiş elektronları verme açısından reaktif olan radikaller yakınındaki organik molekülleri radikal forma dönüştürebilmektedirler. Radikal bir yapı hidrojen koparmak için enerjisi düşük olan bağları seçer. Çoklu doymamış yağ asitleri çift bağlarda hidrojenin karbon ile arasındaki bağın enerjisi doymuşlara kıyasla daha düşüktür. Bu yüzden doymamış yağ asitleri doymuş yağ asitlerine göre oksidasyona daha elverişlidir[69].

Lipit oksidasyonu 3 aşamada gerçekleşen zincirleme bir reaksiyondur. Bu aşamalar başlangıç, gelişim ve sonlanmadır.

- Oksidasyonun başlangıç aşaması: Oksidasyonu tetikleyici faktörlerin varlığıyla (ısı, ışık, metal) doymamış lipitten (RH) bir hidrojen atomu koparak lipid radikalinin ($R^{\bullet}$) oluşmasıdır.

$$RH \xrightarrow{\text{(Isı, ışık, metal)}} R^{\bullet}$$

- Oksidasyonun gelişim aşaması: Oluşan lipid radikali ($R^{\bullet}$), oksijenle (O_2) hızlı bir şekilde tepkimeye girerek peroksit radikalini ($ROO^{\bullet}$) oluşturur. Takibinde hidrojen transferiyle (RH) hidroperoksitleri (ROOH) ve bir alkil radikalini oluşturur. Yeniden oluşan alkil radikalinin oksijenle tepkimeye girmesiyle döngünün sürekli devam etmesi sonucu hidroperoksitlerin oluşumu artar.

$$R^{\bullet} + O_2 \longrightarrow ROO\bullet$$
$$ROO^{\bullet} + RH \longrightarrow ROOH + R^{\bullet}$$

- Oksidasyonun sonlanma aşaması: Oluşan peroksi radikalleri, birbirleri ile tepkimeye girerek radikal olmayan (stabil) bileşikler ortaya çıkar ve zincir reaksiyonu sonlanır.

$$ROO^{\bullet} + ROO^{\bullet} \longrightarrow \text{Stabil bileşik}$$
$$ROO^{\bullet} + R^{\bullet} \longrightarrow \text{Stabil bileşik}$$
$$R^{\bullet} + R^{\bullet} \longrightarrow \text{Stabil bileşik}$$

Lipid oksidasyonu sonucu oluşan birincil bozulma ürünleri olarak hidroperoksitler, ikincil bozulma ürünleri olarak hidroperoksitlerin parçalanması sonucunda aldehitler, ketonlar, alkoller ve asitlerdir. Oluşan bu bileşenler yağlı gıdaların bozulması sırasında istenmeyen tat ve kötü kokunun oluşumuna neden olmaktadır [70].

Yağların oksidasyonunu önlemek ve yavaşlatmak için oksidasyonu tetikleyen faktörlerin kontrol altına alınması gerekmektedir.

Lipitlerin oksidatif stabilitesini artırmak için yapılması gerekenler:

- Başlangıç reaksiyonu oluşumunun önlenmesi (düşük sıcaklık ve karanlıkta depolama)
- Oksijen miktarının azaltılması
- Doğal ve yapay antioksidanların ilavesi
- Ambalajlama modifiye atmosfer altında olmalı ve ambalajlar yüksek nem ve oksijen bariyerine sahip olmalıdır[71].

Oksidasyonu engelleyen diğer bir alternatif ise mikroenkapsülasyon işlemidir.

1.1.5 Mikroenkapsülasyon

Mikrokapsülleme, aktif bileşenlerin (çekirdek malzemeler: gıda yağları, aroma maddeleri, vitaminler, mineraller, enzimler, renklendiriciler gibi) duvar bir malzeme içinde hapsedildiği işlemdir[72].

Mikroenkapsülasyon işleminde kaplanacak materyal 'çekirdek, aktif bileşen veya iç faz' kaplayıcı materyaller 'duvar, taşıyıcı, enkapsülant, kaplayıcı veya kabuk' elde edilen yapı ise 'mikrokapsül, mikropartikül veya kapsül' olarak isimlendirilmektedir[73].

Kapsüller enkapsülasyon ile oluşan parçacıkların boyutuna göre sınıflandırılmaktadır: makro (> 5000 μm), mikro (1-5000 μm) ve nano (<1 μm) kapsüllerdir[74, 75].

Mikroenkapsülasyon işleminin uygulanma amaçları ise şu şekilde sıralanabilir[13, 19, 76-78] :

- Isı, ışık, metal iyonları gibi dış faktörlere karşı koruması,
- Buharlaşmanın önlenmesi,
- Oksidatif stabilitenin artırılması
- Fiziksel özelliklerinin korunması,

- Taşıma ve akış özelliklerinin kolaylaştırılması
- İstenilen tat ve aromayı sağlamak, kötü tat veya kokuyu maskelemek,
- Aktif bileşenin başka bileşenlerle tepkimeye girmesinin önlenmesi
- Metabolik aktivitenin korunması
- Proses, depolama esnasında aktif bileşenin stabilitesinin artırılması
- Çözünürlüklerin iyileştirilmesi
- Aktif bileşenlerin kontrollü salınılması

Gıda bileşenlerinin mikroenkapsülasyon işleminde yaygın kullanılan yöntemler arasında püskürterek kurutma, dondurarak kurutma, akışkan yatakta kaplama, koaservasyon, ekstrüzyon, püskürterek dondurma ve ko-kristalizasyon bulunmaktadır [79].

Mikroenkapsülasyon yönteminin seçilmesi, aktif ve kaplama materyallerinin fiziksel ve kimyasal özelliklerine ve kaplanacak olan gıda bileşeninin değerlendirileceği yere göre değişmektedir.

Püskürtmeli kurutma işlemi sıvı ürünün atomizör yardımı ile küçük damlacıklar halinde sıcak havayla temas etmesi sonucu yapısındaki suyu uzaklaştırarak kısa sürede toz ürüne dönüştürmesidir[73].

Gıda endüstrisinde püskürtmeli kurutma yöntemi ile mikroenkapsülasyon işlemi gıda bileşenlerinin kaplanmasında ve kaliteli toz ürünlere dönüştürülmesinde kullanılan en eski ve en yaygın yöntemlerden birisidir [18, 75, 80].

Bu yöntemle mikroenkapsüle edilmiş ürünlerin üretim maliyetleri diğer enkapsülasyon yöntemlerine kıyasla oldukça düşüktür[79]. Prosesteki yüksek enerjinin tümünün kullanılamaması enerji israfını ortaya çıkarmaktadır. Bu durum dezavantaj olarak değerlendirilir[81].

Son yapılan çalışmalar sprey kurutmanın omega-3 kaynaklı yağların kapsüllenmesi için uygun bir yöntem olmadığını ortaya koymuştur. Spreyle kurutmanın sadece sulu matrisler için uygun bir yöntem olduğunu ileri sürmüşlerdir[82]. Yüksek

kurutma sıcaklığının çoklu doymamış yağ asitleri üzerinde yıkıcı bir etkisi olduğuyla açıklamıştır[83].

Literatürde çoklu doymamış yağların mikrokapsülasyonu için spreyle kurutma popülerliğini hala sürdürmektedir [82, 84-86].

Püskürterek kurutma işlemi balık yağının kapsüllenmesini mümkünkılmasına rağmen, herhangi bir koruma sağlamadığını, hatta yağın sertliğini arttırdığını ve mikro spreylemenin geliştirilmesinde çıkmaz bir nokta olduğu açıkça belirtilmiştir[87].Nispeten ucuz yöntem olduğu için çekirdek maddelerinin stabilitesi üzerindeki olumsuz etkinin perdelendiğigörülmektedir.Ayrıca, püskürterek kurutma yöntemi ile mikroenkapsülasyon işlemi gerçekleştirilirken düşük yoğunlukta ve kalınlıktaki taşıyı malzemelerin kullanımı ile elde edilen geniş yüzey alanına sahip toz ürünlerin oksidasyon duyarlılığı artmaktadır [88].

Dondurarak kurutma işlemi -90 ila -40 ° C arasındaki bir sıcaklıkta dondurulması ve buz kristallerinin düşük basınç altında süblimasyon ile kurutulması temeline dayanmaktadır. Dondurma (buz kristallerin oluşması), temel kurutma (buz kristallerinin sublimasyonla uzaklaştırılması) ve ikinci kurutma (gıdadaki bağlı suyun uzaklaştırılması) olarak üç aşamada gerçekleşir [66]. Dondurarak kurutma yönteminin nihai ürünün fizikokimyasal özelliklerinin korunması aroma kaybının düşük olması ve ürünün uzun vadeli stabilitesi gibi avantajlarının yanında yüksek maliyet ve uzun sürede olması dezavantajları arasındadır.

Oksijenin giderilmesi ve ürün oksidasyonunu en aza indirmeye yardımcı olan düşük sıcaklıkların uygulanması bu teknolojiyi probiyotikler ve PUFA'lar gibi oldukça hassas bileşenlerin mikrokapsülasyonu için uygun bir yöntem haline getirir [66].

1.1.6 Mikroenkapsülasyon Kullanılan Duvar Materyalleri

Mikroenkapsülasyon işleminde aktif bileşeni kaplamak için uygun taşıyıcı materyal seçimi emülsiyon stabilitesini, akışkanlığını, ve nihai ürünün fonksiyonel özelliklerini etkilediği için oldukça önemlidir. Taşıyıcı materyalin seçilmesinde dikkat edilmesi gerekenler ise şu şekilde sıralanabilir[81]:

- Ekonomik olmalı
- Çekirdek materyali dış etmenlere (ışık, nem, sıcaklık, oksijen gibi) karşı en iyi şekilde koruyabilmeli
- Çekirdek ve çevre arasındaki fiziksel bir bariyer sağlamalı ve biyolojik olarak parçalanabilmeli
- Proses ve depolama boyunca, çekirdek materyal ile tepkimeye girmemeli
- Gıda sanayinde istenilen çözgenlerde çözünebilmeli
- Ulaşılabilirliği kolay olmalı
- Çekirdek materyali iyi seviyede kaplayabilmeli ve stabilitesini koruyabilmeli
- Yüksek konsantrasyonlarda iyi reolojik özelliklere sahip olmalı
- İşlenebilirliği kolay olmalı
- Emülsiyon oluşturabilmeli ve yüksek emülsiyon stabilitesine sahip olmalı

Tüm bu özelliklerin tek bir kaplama materyalinde olması oldukça zor olduğundan genellikle farklı materyaller ile birlikte kullanılması tavsiye edilmektedir.

Gıda enkapsülasyonunda kullanılan kaplama materyalleri dört temel başlık altında toplanmaktadır. Bunlar karbonhidratlar, proteinler, gamlar ve lipitlerdir [89].

Karbonhidratlarda genellikle maltodekstrin, nişasta, sakkaroz ve maltoz, proteinlerde peynir altı suyu proteinleri, jelatin, kazein ve kazeinatlar, gamlarda arabik gam, keten tohumu, chia tohumu gamı gibi tohum gamları kullanılan yaygın kaplama materyalleridir [16, 18, 33, 90, 91].

Maltodekstrin, α–1,4 glikozidik bağları ile bağlanmış α– D–glikoz birimlerinden oluşan farklı dekstroz eşdeğerlerine sahip polimerlerdir. Suda yüksek çözünürlülük, düşük viskozite, oksidasyona karşı koruma özelliği ve nötr tada sahip olması nedeniyle kapsülleme ajanları olarak yaygın olarak kullanılmaktadır [92].

Maltodekstrin 'in ana dezavantajı ise emülsifiye edici aktivitenin olmamasıdır [18]. Bu kapsamda maltodekstrininarabik gam ile birlikte kullanılması, emülsifiye etme

kabiliyetini artırabildiği rapor edilmiştir[18, 93]. Arabik gamın pahalı bir bileşen olmasından dolayı arabik gama alternatif gam arayışı artmaktadır[94, 95].

Maltodekstrinin jelatin, modifiye nişasta, inülin gibi yüzey aktif özelliğe sahip diğer kaplama materyalleri ile birlikte kullanımı;yağ ve aroma maddelerinde yüksek enkapsülasyon verimi ile sonuçlanmaktadır[96-98]. Farklı duvar malzemelerinin birlikte kullanımında maltodekstrin matris görevi görürken lipit veya protein bazlı taşıyıcılar ise emülsifiye edici ajan görevi görmektedir[99].

Yapılan bir çalışmada maltodekstrinin dekstroz eşdeğerliği değerinin toz ürünün yüzey morfolojisini etkilediği saptanmıştır. Enkapsülasyon ile elde edilen partikülün morfolojisinin incelendiği bir çalışmada maltodekstrinin DE değerinin artışı ile ürünün buruşma, katlanma gibi yüzey deformasyonlarına daha yatkın olduğu belirtilmiştir[100].Ayrıca DE değeri viskozite ve enkapsülasyon verimini de etkilemektedir[101, 102].

Arabik gam arabinogalaktan, arabinogalaktan-protein kompleksi ve glikoprotein içeren heterojen bir yapıya sahip doğal bir gamdır. Toksik olmayan, kokusuz ve tatsızdır. Gıda endüstrisinde emülgatör olarak yaygın olarak kullanılmaktadır[103]. Emülsifiye edici özelliği yapısında bulunan proteinlerden kaynaklanmaktadır. Bu yüzden gam arabik çözeltileri hazırlanırken protein kaybı olmaması için yüksek sıcaklığa çıkılmaması gerekir[104, 105].

Koruyucu kolloid işlevselliği nedeniyle etkili bir kapsülleme maddesi olarak kullanılan arabik gam aynı zamanda geniş bir pH aralığında çoğu yağ ile stabil emülsiyonlar üretir. Ayrıca yağ ara yüzünde görünür bir film oluşturur[106]. Ancak arabik gamın maliyeti ve sınırlı tedariği, kapsüllemeiçin kullanımını kısıtlamış ve yerine alternatif taşıyıcı malzemeler olarak maltodekstrinler ve modifiye nişastalar kullanılmıştır[107]. Duvar materyali olarak arabik gamın diğer taşıyıcılar ile kombinasyonunun kullanımı yüksek kapsülleme verimi ile daha etkili olduğu anlaşılmıştır[108-111].

Tablo 1.1 Keten tohumu yağının enkapsülasyon çalışmaları

Aktif Bileşen	Duvar Materyali	Enkapsülasyon Yöntemi	Enkapsülasyon Etkinliği (%)	Referans
Keten tohumu yağı	Keten tohumu proteini izolatı + Keten tohumu gamı	Püskürterek Kurutma Dondurarak Kurutma	73,43-87,6 58,49-67,06	[21]
Keten tohumu yağı	Keten tohumu proteini izolatı + Keten tohumu gamı	Püskürterek Kurutma	85,5-95,4	[112]
Keten tohumu yağı	Soya Proteini İzolatı + Modifiye Nişasta	Püskürterek Kurutma	63,79 – 95,84	[113]
Keten tohumu yağı	Zein	Püskürterek Kurutma Dondurarak Kurutma	75,42-93,26 32,68-59,63	[114]
Keten tohumu yağı	Maltodekstrin	Dondurarak Kurutma	27,01-95,44	[115]
Keten tohumu yağı	Maltodekstrin+ Nohut ve mercimek protein izolatı	Dondurarak Kurutma	83	[116]
Keten tohumu yağı	Arabik gam ve Jelatin	Dondurarak Kurutna	84	[117]
Keten Tohumu Yağı	Arabik gam + Maltodekstrin + Peynir altı suyu proteini	Püskürterek Kurutma	62,3-95,7	[18]
Keten Tohumu Yağı	Arabik gam + Peynir altı suyu protein + Modifiye nişasta	Püskürterek Kurutma	37-97	[118]

Tablo1,1'den anlaşılacağı üzere kullanılacak enkapsülasyon yöntemine veya kaplama malzemesinin fonksiyonelliğinin geliştirilmesi amacına bağlı olarak gam arabik ve maltodekstrin genellikle diğer duvar materyalleri ile birlikte kullanılmıştır.

1.2 Tezin Amacı

Mikroenkapsülasyon son yıllarda yeni bir teknoloji olarak araştırmacıların ilgisini çeken güncel araştırma konularından biridir. Mikroenkapsülasyon işleminde araştırmacıların yeni bir enkapsülasyon yöntemi veya yeni bir kaplayıcı ajan üretme üzerine yoğunlaşmaktadırlar. Roka tohumu gamının kaplama materyali olarak kullanılması ile ilgili daha önce literatürde herhangi bir çalışma bulunmamaktadır. Bu çalışma kapsamında ilk defa roka tohumu gamının keten tohumu yağının enkapsülasyonunda yeni bir duvar malzemesi olarak kullanımı araştırılacaktır. Böylece roka tohumu gamı ve roka tohumunun diğer duvar malzemeleriyle kombinasyonuyla çok farklı ve özgün nitelikte mikrokapsüller üretilmiştir. Bu bakımından çalışmamızın özgün birçok yönü bulunmaktadır. Ayrıca roka tohumunun hidrokolloid özelliğe sahip olmasından dolayı teknolojiye yeni bir doğal jelleştirici, kaplayıcı ve kıvam verici bir katkı maddesi kazandırılması amaçlanmaktadır.

1.3 Orijinal Katkı

Roka tohumunun yapısından dolayı bitkisel bir gam kaynağı olduğu ve kaplama materyali olarak kullanılabileceği ileri sürülmektedir. Roka tohumundan elde edilen gamın, omega 3 içeriği bakımından zengin keten tohumu yağının oksidatifstabilitesinin arttırılması, kötü tadın maskelenmesi ve biyoerişilebilirliklerinin arttırılması amacıyla uygulanan enkapsülasyon işlemleri için novel bir kaplayıcı ajan olarak kullanılabileceğini bildirmektedir.

Gıda endüstrisinde kullanılan doğal katkı maddelerine yönelik roka tohumu gamı literatüre yeni bir taşıyıcı ve kıvam verici bir ajan olarak kazandırıldığı öne sürülmektedir.

2
MATERYAL VE YÖNTEM

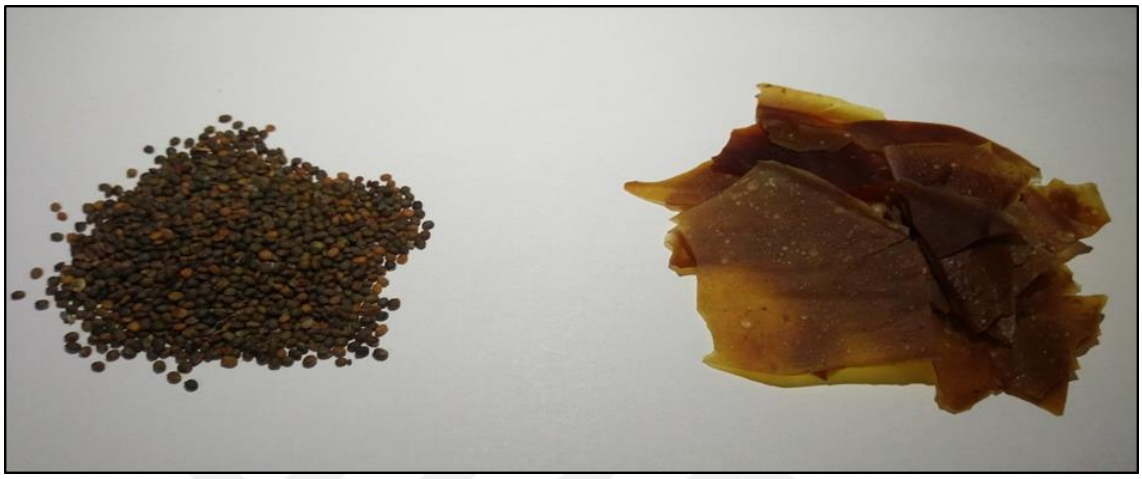
2.1 Materyal

Çalışmada kullanılan keten tohumu yağı, soğuk pres ile üretilmiş ürünü İstanbul piyasasında özel bir firmadan temin edilmiştir. Keten tohumu yağının, yağ asit profili miristik asit (C14:0) % 0,03, palmitik asit (C16:0) % 5,19, stearik asit (C18:0) % 2,23, oleik asit (C18:1) % 22,79, linoleik asit (C18:2) % 13,51, linolenik asit (C18:3) % 56,25 'tir. Peroksit değeri 0,67 meqg O_2 /kg, toplam serbest yağ asitliği ise % 0,17'dir.

Mikroenkapsülasyon işleminde duvar malzemesi olarak Vankim (Istanbul, Türkiye)'den temin edilen arabik gam, Roquettes Frères (Lestrem, Fransa)'den maltodekstrin (MD, Glucidex IT-19) ve roka (Eruca. Sativa Mill) tohumu gamı kullanılmıştır. Yerel üreticiden (Sim Arzuman Tohum Ürünleri Ltd. Sti -Konya, Türkiye) temin edilen roka tohumundan gam üretimi [20]'e göre modifiye edilerek gerçekleştirilmiştir.

Bu amaçla, 50 g roka tohumlarının üzerine 1000 mL damıtık su ilave ederek 2 saat boyunca 80°C'de manyetik karıştırıcıda karıştırılmıştır. Gam tohumdan peynir bezi yardımıyla ayrılması sağlanarak alınmıştır. Ardından ayrılan çözelti evaporatörde 80°C'de 3 saat boyunca buharlaştırılarak konsantre edilmiş ve eldeki çözeltiye 1:2 (h:h) oranında etil alkol (%96) ilave edilerek seyreltme yapılmıştır. İşlem sonrası çözelti içindeki gam, yoğunluk farkı nedeniyle yukarı doğru yükselmiştir. Yüzeyde toplanan gam ayrı bir kaba alınarak kuruması için 1 gün boyunca 50°C'de

etüvebırakılmıştır. Kurutma işlemi sonucunda roka tohumu gamı elde edilmiştir. Roka tohumu gamının bileşimi % 10,26 nem, % 3,55 kül, % 5,81 protein ve pH'ı 5,71'dir. Roka tohumu gamının şeker kompozisyonu ise % 24,49 galaktoz, % 37,29 mannoz, % 9,89 glukoz, % 11,59 fruktoz, % 13,28 ise arabinoz şeklindedir.



Şekil 2. 1 Roka tohumu ve elde edilen roka tohumu gamı

Kullanılan roka tohumu ile elde edilen roka gamı görselleri Şekil 2.1' de gösterilmiştir.

2.2 Yöntem

2.2.1 Emülsiyonların Hazırlanması

Çalışmada duvar materyali olarak roka tohumu gamı (RG), arabik gam (AG) ve maltodekstrin (MD) kullanılmıştır. Emülsiyonların katı madde içeriğini belirlenirken literaturde genellikle % 20-30 oranında çalışmalar yapılmış ve %30 oranında hazırlanan emülsiyonların enkapsülasyon etikinliklikleri daha yüksek olduğu görülmüştür. Emülsiyonlar [14, 18, 85, 119] 'nın belirtilen yöntemlere göre modifiye edilerek hazırlanmıştır. Yağ: duvar malzemeleri (AG+RG+MD) oranı 1:2 ve 1:4 (m:m) ve emülsiyonların katı madde içerikleri %30 (m:m) olarak belirlenmiştir. Her yağ:duvar malzemesi oranında MD miktarı sabit olurken,

formülasyonda RG ve AG oranları kendi aralarında değiştirilerek toplamda sekiz farklı formülasyon oluşturulmuştur (Tablo 2.1).

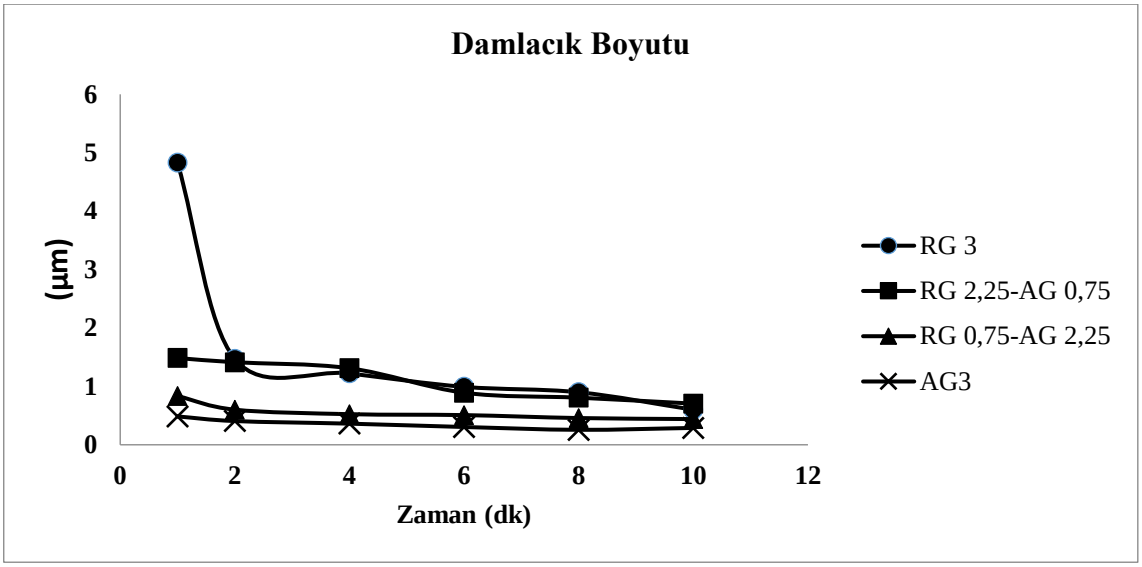
Tablo 2. 1 Emülsiyon Formülasyonları

Yağ:Duvar	Ad	Yağ (%)	RG (%)	AG (%)	MD (%)	Su (%)
1:2	**RG 3**	10	3	*	17	70
	RG 2,25-AG 0,75	10	2,25	0,75	17	70
	RG 0,75-AG 2,25	10	0,75	2,25	17	70
	AG 3	10	*	3	17	70
1:4	**RG 3**	6	3	*	21	70
	RG 2,25-AG 0,75	6	2,25	0,75	21	70
	RG 0,75-AG 2,25	6	0,75	2,25	21	70
	AG 3	6	*	3	21	70

(*Y:yağ, D:duvar, AG: arabik gam, MD: maltodekstrin, RG: roka tohumu gamı)

Kaplama materyalleri 25°C'de damıtılmış suya ilave edilerek karışım tamamen çözülene kadar manyetik karıştırıcıda çözdürülmüştür. Bu karışımlara keten tohumu yağı ilave edilmiş Ultraturax homojenizatörü kullanarak (Daihan, HG-15, Güney Kore) 20000 rpm hızda 3 dakika boyunca homojenize edilmiştir.

Bu çalışmada ultrasonik homojenizasyonun süresi belirlenirken yapılan ön denemelerle emülsiyon damlacık boyutlarının azalıp sabitlendiği süre baz alınmıştır. Uygulunan sürelerde damlacık boyutlarının değişimi Şekil 2.2'de gösterilmiştir.



Şekil 2. 2 Ultrasonik homojenizasyon süresinin damlacık boyutu üzerine değişimi (* AG: arabik gam, MD: maltodekstrin, RG: roka tohumu gamı)

Ultrasonik homojenizasyon ise [120, 121]'ne göre yapılmıştır. İşlemde 20 kHz frekans ve 250 W güçte çalıştırılan ultrason cihazı (UIP1000hdT Hielscher, Almanya) kullanılmıştır. İşlem esnasında ısınmayı engellemek amacıyla emülsiyon çift cidarlı behere aktarılarak beherin dış çapındaki soğuk su yardımıyla emülsiyon sıcaklıklarının 10-15°C'yi geçmemesi sağlanmıştır.

Emülsiyon örnekleri üç paralel olacak şekilde hazırlanmış (Şekil 2.3) petrilere ince tabaka halinde yayılarak 24 saat boyunca –80°C'de dondurulmuşlardır.



Şekil 2. 3 Hazırlanan emülsiyonlar

(Üst sıradakiler yağ:duvar oranı 1:2, alt sıradakiler yağ:duvar oranı 1:4. *AG: arabik gam, MD: maltodekstrin, RG: roka tohumu gamı)

Emülsiyonlar hazırlandıktan sonra dondurak kurutma işlemi öncesinde emülsiyon analizleri gerçekleştirilmiştir.

2.2.2 Dondurarak Kurutma

-80C' de dondurulan emülsiyonlar laboratuvar tipi dondurarak kurutucu (Beta 1-8 lscplus, Christ, Almanya) kullanılarak, 0,1 mbar vakum altında -50°C'de 72 saat boyunca kurutulmuştur. Kurutma işleminin tamamlanmasından sonra ürünler, bıçaklı öğütücüde öğütülerek toz haline getirilmiştir. Elde edilen mikrokapsüller cam kavanozlara alınarak desikatörde muhafaza edilmiştir (Şekil 2.4).



Şekil 2. 4 Elde edilen mikrokapsüller

(* Y:yağ, D:duvar, AG: arabik gam, MD: maltodekstrin, RG: roka tohumu gamı)

Dondurarak kurutma sonucu elde edilen mikrokapsüllerin karakterizasyonu için mikrokapsül analizleri gerçekleştirilmiştir.

2.3 Emülsiyon Analizleri

2.3.1 Damlacık Boyutu Ölçümleri

Emülsiyon damlacık boyutu statik ışık saçılımı prensibi ile çalışan parçacık boyut analiz cihazı (Zetasizer Nanozs, Malvern Instruments, Ltd., Worcestershire, BK) kullanılarak yapılmıştır. Bu amaçla emülsiyon örnekleri damıtık suda 1000 kat

seyreltilmiş ve boyut analizi, Z-ortalama çapı olarak belirlenmiştir. Her örnek için işlem en az üç kez tekrarlanıp, sonuçlar ortalama ± standart sapma şeklinde verilmiştir.

2.3.2 Zeta Potansiyelinin Belirlenmesi

Emülsiyonların kolloidal dağılım stabilitelerini belirlemek amacıyla zeta potansiyeli, ζ-potansiyel elektroforezi olan bir parçacık mikro-elektroforez cihazı (Zetasizer Nanozs, Malvern Instruments, Ltd., Worcestershire, BK) ile karakterize edilmiştir. Örnekler damıtık su ile 1000 kat seyreltildikten sonra ultrasonik su banyosunda birkaç saniye homojenize edildikten sonra ölçüm alınmıştır. Ölçümler 3 paralel yapılıp ölçüm değerleri ortalaması ve standart sapması verilmiştir.

2.3.3 Optik Mikroskop Görüntüleri

Emülsiyonların mikro yapısı, bağlı bir kamera ile donatılmış bir (OlympusDP27, Almanya) kullanılarak incelenmiştir. Bu amaçla, lamel üzerine birkaç damla emülsiyon damlatılarak hava veya kabarcık olmamasını sağlayan lam ile örtülerek 40X objektif büyütmede görüntülenmiştir.

2.3.4 Reolojik Analizler

Bu çalışmada elde edilen emülsiyonların akış davranış ve dinamik reolojik özellikleri, stres ve sıcaklık kontrollü peltier ısıtma sistemine sahip bir reometre (Anton Paar, MCR 302, Avusturya) ile belirlenmiştir. Tüm reolojik analizler 25°C'de gerçekleştirilmiştir.

- **Akış Davranış Reolojik Özellikler**

Emülsiyonlarınakış özellikleri, paralel plaka konfigürasyonu (çap 50 mm, aralık 0.5 mm) kullanılarak oda sıcaklığında 0-100 (1/s) kesme hızı aralığında belirlenmiştir. Her örnekten reometre plakasına yaklaşık 2 g yerleştirilmiş olup analiz, sistem

25ºC sıcaklığaulaştıktan sonra ölçüm gerçekleştirilmiştir. Çözeltilerinin kayma gerilimi değerleri kayma hızının bir fonksiyonu olarak belirlenmiştir. Kesme hızı ve kayma gerilimi arasındaki ilişki Power Law modeli ve doğrusal olmayan regresyon kullanılarak hesaplanmıştır.

$$\tau = K\gamma^{n} \tag{2.1}$$

Eşitlik τ, kayma gerilimi (Pa), K kıvam katsayısı (Pas^n), γ kesme hızı (s^{-1}) ve n akış davranışı indeksini göstermektedir.

- **Dinamik Reolojik Analizler**

Emülsiyonların dinamik reolojik analizleri paralel plaka konfigürasyonu kullanılarak gerçekleştirilmiştir. Öncelikle lineer viskoelastik bölgeyi belirlemek amacıyla genlik tarama testi % 0,1 ve % 100 gerinim aralığında gerçekleştirilmiştir. Bu belirlenen değere göre frekans sweep testi 0,1-10 Hz frekans ve 0,1-64 (ω) açısal hız aralığında belirlenmiştir. Açısal hız ve frekans değerine karşılık elastik modülü (G'), viskoz modülü (G''), kompleks viskozite (η^*) değerleri ölçülmüştür. Dinamik reolojik özelliklerle ilgili parametreler Power Law model ve lineer olmayan regresyon kullanılarak belirlenmiştir [122].

$$G' = K\chi(\omega)^{n'} \tag{2.2}$$

$$G'' = K\chi(\omega)^{n''} \tag{2.3}$$

Eşitlikte G' değeri elastik modülünü (Pa), G'' değeri viskoz modülü (Pa), η^* değeri kompleks viskozite (Pas) değerini, ω açısal hız değerini (s^{-1}), K', K'', K^* kıvam katsayısı değerlerini (Pas^n) ve n', n'' ve n^* değerleri ise akış davranış indeksi değerlerini ifade etmektedir.Her örnek için işlem en az üç kez tekrarlanıp, sonuçlar ortalama ± standart sapma şeklinde verilmiştir.

2.3.5 Emülsiyon Stabilitesinin Belirlenmesi

Su içindeki yağ emülsiyonlarının fiziksel stabilitesi yeni bir yöntem olan [123]'nin termal döngü yöntemine göre belirlenmiştir. Termal döngü sistemi yüksek (23 -

45°C) ve düşük sıcaklık (5-23°C) aralıklarında gerçekleştirilir. Bu çalışmada sadece yüksek sıcaklık altında uygulanmıştır. Açısal frekans (ω) ve strain değeri sırasıyla 10 Hz ve % 0,5 olarak ayarlanmıştır. Isıtma ve soğutma hızları ise 11 K/dk. 'dır. Tüm döngülerin maksimum noktaları dahili döngü kullanılarak reometre yazılımı (Anton Paar, MCR 302, Avusturya) ile belirlenmiştir.

2.4 Mikrokapsüllerin Analizleri

2.4.1 Nem Tayini

Enkapsüle edilmiş keten tohumu yağı tozlarının nem içeriği, MA-50.R (RADWAG, Polonya) marka nem cihazı ile belirlenmiştir. Her örnek için işlem en az üç kez tekrarlanıp, sonuçlar ortalama ± standart sapma şeklinde verilmiştir.

2.4.2 Su Aktivitesi Tayini

Toz örneklerin su aktivitesi (AW Sprint TH500 Water Activity Meter-Novasina, İsviçre) marka su aktivitesi cihazı ile belirlenmiştir. Her örnek için işlem en az üç kez tekrarlanıp, sonuçlar ortalama ± standart sapma şeklinde verilmiştir.

2.4.3 Renk Tayini

Toz mikrokapsüllerinin renk değerlerini belirlemek amacıyla beyaz bir tabanda renk tayin cihazı (Konica Minolta CR-400, NJ, ABD) ile örneklerin üzerinde okumalar yapılarak L^* (siyah-beyaz), a^* (kırmızı-yeşil) ve b^* (sarı-mavi) değerlerine bakılmıştır. Her örnek için işlem en az üç kez tekrarlanıp, sonuçlar ortalama ± standart sapma şeklinde verilmiştir.

2.4.4 Enkapsülasyon Etkinliğinin Belirlenmesi

Ağzı kapaklı cam şişelere 5 g mikrokapsül ve 50 mL hekzan ilave edilmiş ve oda sıcaklığında 15 dakika boyunca manyetik karıştırıcıda karıştırılarak toz mikrokapsüllerin yüzeyindeki serbest yağın hekzana geçmesi sağlanmıştır

Karışım, Whatman No.1 filtre kağıdından filtre edilmiş ve filtre kağıdı üzerinde toplanan toz örnek, hekzan ile üç kez yıkanmıştır. Filtrat (hekzan+yağ) temiz ve darası alınmış beherlere aktarılmış ve 24 saat boyunca çeker ocak altında çözgen (hekzan) uzaklaştırılmıştır, daha sonra beherler, 105°C'de sabit bir ağırlığa gelinceye kadar kurutulup tartılmıştır. Bu tartımla beherin darası arasındaki farktan yüzeydeki yağ miktarı belirlenmiştir. Aşağıdaki eşitlikten enkapsülasyon etkinliği (EE) hesaplanmıştır [104]. Formülde toplam yağ, kuru madde üzerinden toz formülasyona eklenen teorik yağ miktarını göstermektedir. Her örnek için işlem üç kez tekrarlanıp, sonuçlar ortalama ± standart sapma şeklinde verilmiştir.

$$EE = \frac{ToplamYağ - YüzeydekiYağ}{ToplamYağ} * 100 \quad (2.4)$$

2.4.5 Taramalı Elektron Mikroskobu Analizi (SEM)

Toz mikrokapsüllerin partikül yapısı ve gözeneklerini incelenmesi amacıyla (SEM, EVO LS 10, Carl Zeiss, Almanya) Taramalı Elektron Mikroskobu kullanılmıştır. Görüntüler Yıldız Teknik Üniversitesi Bilim Ve Teknoloji Uygulama ve Araştırma Merkezi laboratuvarında gerçekleştirilmiştir. Toz ürünler 7 kV' da 100 kat büyültülerek görüntüleri alınmıştır.

2.4.6 Oksidatif Stabilitesinin Belirlenmesi

Enkapsüle edilen keten tohumu yağı tozu ve enkapsüle edilmemiş keten tohumu yağının oksidatif stabiliteleri oxitest cihazı (Velp Scientifica, Usmate, Milan, İtalya) kullanılarak test edilmiştir. Örnek hücrelerine 8 g örnek tartılıp, örneğin homojen şekilde dağılması sağlanmıştır. Cihaz sıcaklığı 90°C'ye ve oksijen basıncı ise 6 bar'a ayarlanmıştır. Örneklerin oksidatif stabilite değerleri oxitest cihazından kaydedilen indüksiyon periyodu değeri baz alınarak yorumlanmıştır.

2.4.7 Fourier Dönüşümlü Kızılötesi Spektroskopisi (FTIR) Analizi

Elde edilen toz örneklerin kombine duvar matrislerin moleküler karakterizasyonu, MIR TGS dedektörü ve ATR ışın ayıracıyla donatılmış FTIR (Perkin Elmer Spectrum 100, ABD) spektroskopisi tarafından ölçülmüştür. Ölçüm 650-4000 cm^{-1} arasındaki frekanslarda ve 4 cm^{-1} çözünürlükte gerçekleştirilmiştir. Ölçümler Yıldız Teknik Üniversitesi Bilim Ve Teknoloji Uygulama ve Araştırma Merkezi laboratuvarında yaptırılmıştır.

2.5 İstatistiksel Analiz

Çalışma boyunca bütün emülsiyonlar ve elde edilen mikrokapsüllerin analizleri 2 tekerrür ve 3 paralelli yapılmış ortalama ve standart sapma değerleri verilmiştir. Verilerin karşılaştırılması için Duncan çoklu karşılaştırma testi % 5 güven aralığında kullanılmıştır. İstatistiksel uygulamalar ise SAS Institute paket bilgisayar programıyla (Cary, NC, ABD) gerçekleştirilmiştir. Reolojik analizler sonucunda Power law model parametreleri lineer olmayan regresyon analizleri yardımıyla hesaplanmıştır. Lineer olmayan regresyon analizleri için Statistica yazılım programı (Stat Soft Inc., ABD) kullanılmıştır.

3
BULGULAR VE TARTIŞMA

3.1. Emülsiyon Karakterizasyonu

3.1.1 Emülsiyonun Damlacık Boyutu Dağılımı

Emülsiyon damlacıklarının büyüklüğü emülsiyonun duyusal kalitesi, fiziksel stabilitesi (topaklanma, birleşme, çökme vs.) ve reolojik özellikleri açısından oldukça etkilidir [124].

Yağ enkapsülasyonu ile ilgili yapılan çalışmalarda emülsiyonların damlacık büyüklüğünün farklılık göstermesi birçok faktöre bağlıdır. Emülsiyondaki yağ/duvaroranı, homojenizasyon yöntemi ve şartları (basınç, süre, homojenizatör çeşidi), duvar materyallerinin emülsifiye etme özellikleri, fizikokimyasal özellikleri, aralarındaki etkileşimler gibi birçok faktörün damlacık boyutunu etkilediği yapılan çalışmalarda görülmektedir [121, 125, 126].

Yağ miktarının damlacık boyutunu etkilediği bir çalışmada, toplam %30 katı madde içeren ve katı maddenin %10-40 arasında değişen keten tohumu yağına farklı duvar malzemeleri (gam arabik, modifiye nişasta ve whey proteini) ilave edilerek hazırlanan emülsiyonların damlacık boyutları 1,85-3,00 µm arasında değişmektedir. Bu çalışmada yağ oranı arttıkça boyutta artış olduğu ifade edilmiştir [127].

Kaplama materyallerinin fizikokimyasal özelliklerinin emülsiyonun damlacık büyüklüğü üzerine etkisini ortaya koyan bir çalışmada, keten tohumu yağının MD'in, peynir altı suyu izolatı (PAS),AG ve modifiye nişasta (Hi-kapsül ve kapsül) gibi farklı duvar malzemeleriyle kombinasyonu ile emülsiyonları hazırlanmıştır. Damlacık boyutları sırasıyla MD:Hi-kapsül 2,11;MD:PAS 2,10; MD:AG 1,73; MD:kapsül 2,19µm'dir. MD:kapsül ile hazırlanan emülsiyon en yüksek viskoziteye sahip olmasına rağmen boyutunun en yüksek çıkmasını, kaplama materyallerinin düşük emülsifiye etme özellikleri ile ilişkilendirilmişlerdir [18].

Buna benzer diğer bir çalışmada ise yağ damlacıklarını stabil tutmak ve oksidasyona duyarlı olan balık yağının oksidasyon süresini azaltmak adına farklı duvar maddelerin performansları kıyaslanmış %20 oranında maltodekstrin, %1,2-3,6 oranında modifiye nişasta, peyniraltı suyu (PAS) vejelatin kullanılarak emülsiyonlar hazırlanmıştır. Jelatinli olan emülsiyonun damlacık boyutları 6-10µ arasında değişirken diğerleri 1,85-2 µm arasındadır. PAS ve modifiye nişasta emülsifiye edici maddeler olduğundan, daha yüksek yüzey yükleri ve daha düşük damlacık ortalama boyutu sağlayarak daha iyi stabilizasyon etkilerine yol açarken, jelatin viskoziteyi arttırarak emülsiyonları stabilize edebilir, ancak düşük yüzey aktif özelliklerinden dolayı damlacık boyutunda daha yüksek emülsiyonlar üretir [128].

Emülsiyonların homojenizasyonunda genellikle Ultra–Turrax gibi yüksek hızlı karıştırıcılar kullanılmaktadır. Son zamanlarda ultrasonikasyon, yüksek basınç homojenizasyon ve mikrofluidizasyon yöntemlerinin kullanımı artış göstermektedir. Ultraturax ile homojenize edilen çalışmalarda genellikle damlacık boyutu, 1,94 ile 5,18 µm arasında değişmektedir [86, 129].

Homojenizasyon çeşidinin damlacık boyutuna etkisini kıyaslamak için chia tohumu yağını yaygın duvar malzemelerinden MD, PAS ve AG ile hazırlanan emülsiyonlarda 1,2 ve 3 dk sürelerle ultraturax, ultrason ve her iki yöntem birleştirilerek homojenize edilmiştir. Bu çalışmada boyutlar sadece ultraturaxta 3,45 ila 4,62 µm arasında değişirken ultrasonda 0,48 ila 1,34 µm arasındadır. İki yöntem birlikte uygulandığında ise 0,52 - 0,86 µm arasında değişmektedir. Ultrasonla elde edilen emülsiyonların daha stabil olduğunu ifade edilmiştir. Sonuç olarak sürenin ve yöntemin boyuta etkisini açıkça ortaya konulmuştur [84].

Keten tohumu yağı ile oluşturulan Ultrases proses kullanılarak üretilen su içinde yağ emülsiyonlarında taşıyıcı olarak kullanılan mikro selüloz kristallerinin damlacık boyutuna önemli etkisi olduğunu ortaya koyarak stabilite sağlandığı gösterilmiş. Sonuç olarak UT+US: (3 dk/10.000 rpm + 4 dk/525 W ile hazırlanan emülsiyonların damlacık boyutu 5,66µm ve PDI 0,43 bulunmuştur [130].

Homojenizasyon basıncının etkili olduğu bir çalışmada ise sükroz (%12), jelatin (%1) ve maltodekstrin (% 7), ayçiçek yağı (% 10) kullanılarak farklı

homojenizasyon basıncı (15-70 MPa uygulanarak hazırlanan emülsiyonlarda, boyut basıncın artmasıyla azalmıştır, örn 15 MPa 1,85 µm iken 70 MPa 1,48 µm ölçülmüştür. 70 MPa'da üretilen damlacıkların lipit oksidasyonuna karşı daha kararlı olduğu belirtilmiştir [131].

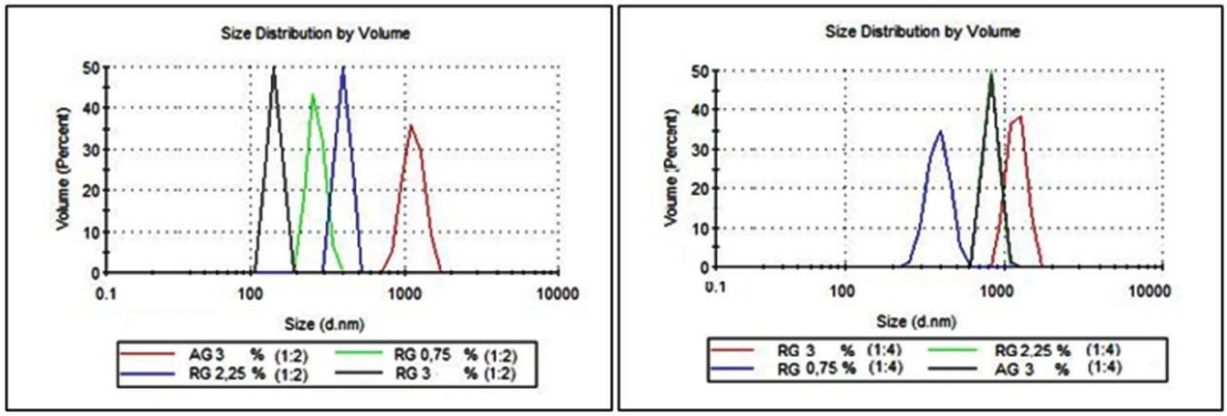
Tablo 3. 1 Emülsiyonların damlacık boyutu

Y:D	Örnek	Z-Ortalama Çapı(µm)
1:2	**RG 3**	3,736±0,199^{Ba}
	RG 2,25-AG 0,75	4,770±0,576^{Aa}
	RG 0,75-AG 2,25	2,481± 0,003^{Ca}
	AG 3	1,945±0,072^{Cb}
1:4	**RG 3**	2,871±0,737^{Ba}
	RG 2,25-AG 0,75	3,049±0,156^{Ba}
	RG 0,75-AG 2,25	2,834±0,168^{Ba}
	AG 3	5,321± 0,006^{Aa}

Sonuçlar ortalama ± standart sapma olarak sunulmuştur. Büyük harfler, aynı Y:D'deki farklı formülasyon, küçük harfler ise farklı Y:D (1:2 ve 1:4)'deki aynı formülasyon için karşılaştırılmıştır. Farklı harfler $p \leq 0.05$ seviyesinde örnekler arasında anlamlı bir fark olduğunu gösterir. (* Y:yağ, D:duvar, AG: arabik gam, MD: maltodekstrin, RG: roka tohumu gamı)

Bu çalışmada keten tohumu yağının farklı duvar malzemeleri ve kombinasyonlarıyla ultraturax ve ultrasonikasyon işlemi uygulanarak homojenleştirilmesi sonucu damlacık çapı Tablo 3.1'e göre 1,9 ila 5,3 µm arasında değişmektedir. Emülsiyonlar Şekil 3.1'de gösterildiği gibi homojen boyut dağılımı (monomodal) modeli sergilemiştir. Farklı duvar malzemelerinin kullanımının emülsiyon damlacık büyüklüğü üzerinde önemli etkisi olmuştur. 1:4 yağ:duvar

oranında AG:MD kullanılarak hazırlanan emülsiyon en yüksek damlacık boyutuna sahip olmuştur ve boyut RG ilavesi ile azalmıştır. 1:2 yağ oranında ise, boyut RG ilavesi ile artmıştır. AG ve MD nin tek başına emülsiyonun viskozite özelliklerini önemli miktarda değiştirmediği bilinmektedir. Damlacık boyutundaki bu artışın nedeni 1:4 oranında hazırlanan AG:MD emülsiyonları suda disperse oldukları zaman yağ damlacıkları kolaylıkla tekrar bir araya gelip birleşmiş ve parçacık boyutunu etkilemiş olabilir veya yağ miktarına göre daha fazla miktarda kullanılan polisakkaritler floklar oluşturmuş olabilir. Optik mikroskop görüntülerinde 1:4 yağ oranında hazırlanan AG 3 emülsiyonlarında 1:2 yağ oranında hazırlanan AG3 emülsiyonlarına göre floklar görülebilmektedir. Sisteme roka gamı ilavesi ile damlacıkların sürekli fazdaki hareketi yavaşlamış, bir araya gelmeleri engellenmiş ve birbirinden ayrı yapılar oluşmuş olabilir. 1:2 yağ oranında yani birim yağ başına eklenen polisakkarit miktarı daha az olduğunda yağ damlacıklarının birbirinden ayrı yapılar oluşturduğu optik mikroskop görüntülerinde de gözlenmiştir. 1:2 yağ:duvar oranında hazırlanan maltodekstrin ve roka tohumu gamı, arabik gam ve kombinasyonuyla üretilenlere kıyasla daha yüksek viskozite gösterse de, bu örnekler daha büyük damlacık ortalama çapları göstermiştir. Bu durum [18] tarafından bildirdiği gibi damlacık boyutunun artmasının sebebini sadece farklı kaplama malzemelerinin sahip olduğu viskozitelerinin farklılığından değil, aynı zamanda her malzeme tipinin emülsifiye edici özelliklerinden dolayı artış gösterebileceğini düşündürmektedir .



Şekil 3. 1 Emülsiyonun monomodal dağılım gösterimi

(* AG: arabik gam, RG: roka tohumu gamı, Yağ:Duvar - 1:2 ve 1:4)

3.1.2 Emülsiyonların Zeta Potansiyeli

Damlacıkların çevresinde elektrostatik itici kuvvetlerin bir ölçüsü olarak kullanılan zeta potansiyel kolloidal sistemlerin potansiyel stabilitesinin bir göstergesidir. Zeta potansiyelinin artışıyla uygulanan itme kuvvetinin elektrostatik etkisiyle damlacıkların birbirlerine yaklaşması önlenir. Bu nedenle zeta potansiyel emülsiyonların stabilitesi hakkında bilgi veren önemli parametrelerden biridir. ζ-potansiyeli değerinin 0 değerinden uzak bir değere sahip olması (sistemin negatif veya pozitif bir yükte olması) ürünün uzun süre stabil olduğu anlamı taşır. [124].

Elde edilen örneklerin ζ -potansiyeli değerleri -25,7 ile -31,9 mV arasında değiştiği tespit edilmiştir. Tablo 3.2'ye bakarak örneklerin stabil olduğu söylenebilir. Negatif yükün oluşması yağ damlacıkların çevresinde bulunan negatif yüklerin hidrofobik bağlanmalar sayesinde polisakkaritlerle oluşturdukları bağlardan ötürüdür. Ortamda gam miktarı artıkça negatif yükün arttığını ifade eden [132, 133]'ın çalışmasına göre kıyaslandığında bu çalışma anyonik bir polisakkarit olarak roka tohumu gamının 2,25 ve arabik gamın 0,75 konsantrasyonda olduğu emülsiyonlarda en yüksek negatif yüke sahip olduğu görülmüştür. Bu emülsiyonlar diğerlerinden daha yüksek bir kararlılık gösteren daha yüksek bir elektrostatik itici kuvvet ile sonuçlanmıştır.Yağ damlacıklarını stabil tutmak için maltodekstrin, modifiye nişasta, PAS ve jelatin gibi farklı yüzey aktif maddeleri kullanılan çalışmada zeta potansiyelleri jelatin haricinde -30 ile -45 mV arasında değiştiği gösterilmiştir. PAS ve modifiye nişasta emülsifiye edici maddeler olduğundan, daha yüksek yüzey yüklerine sahip olduğu bildirilmiştir [128].

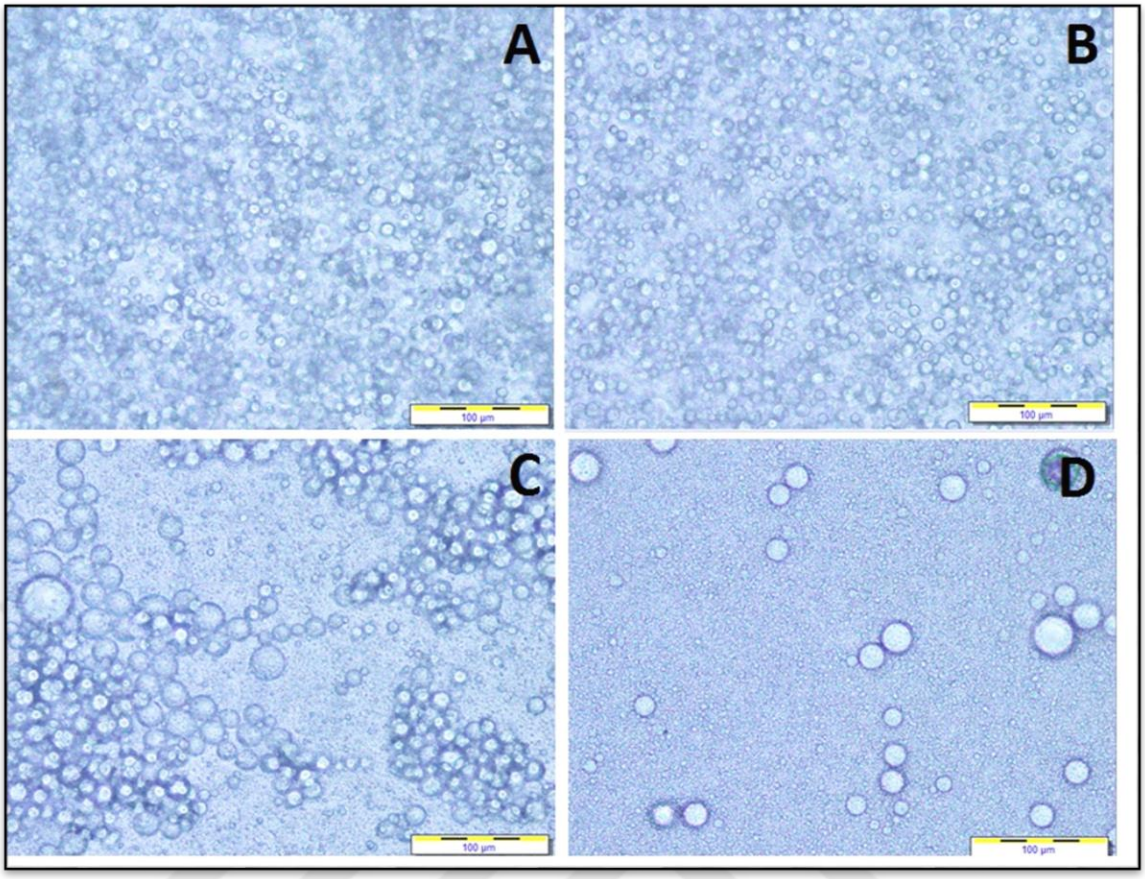
Tablo 3. 2 Emülsiyonların zeta potansiyel değerleri

Y:D	Örnek	Zeta Potansiyel (mV)
1:2	**RG 3**	-29,9±0,65 ^{Ba}
	RG 2,25-AG 0,75	-31,9±0,74^{Ca}
	RG 0,75-AG 2,25	-27,5±2,20 ^{Aa}
	AG 3	-29,9±0,86 ^{Ba}
1:4	**RG 3**	-25,7±1,22^{Aa}
	RG 2,25-AG 0,75	-30,7±0,82^{Ba}
	RG 0,75-AG 2,25	-26,5±0,65^{Aa}
	AG 3	-26,4±0,81^{Aa}

Sonuçlar ortalama ± standart sapma olarak sunulmuştur. Büyük harfler, aynı Y:D'deki farklı formülasyon, küçük harfler ise farklı Y:D (1:2 ve 1:4)'deki aynı formülasyon için karşılaştırılmıştır. Farklı harfler $p \leq 0.05$ seviyesinde örnekler arasında anlamlı bir fark olduğunu gösterir. (* Y:yağ, D:duvar, AG: arabik gam, MD: maltodekstrin, RG: roka tohumu gamı)

3.1.3 Emülsiyonun Optik Mikroskop Görüntüleri

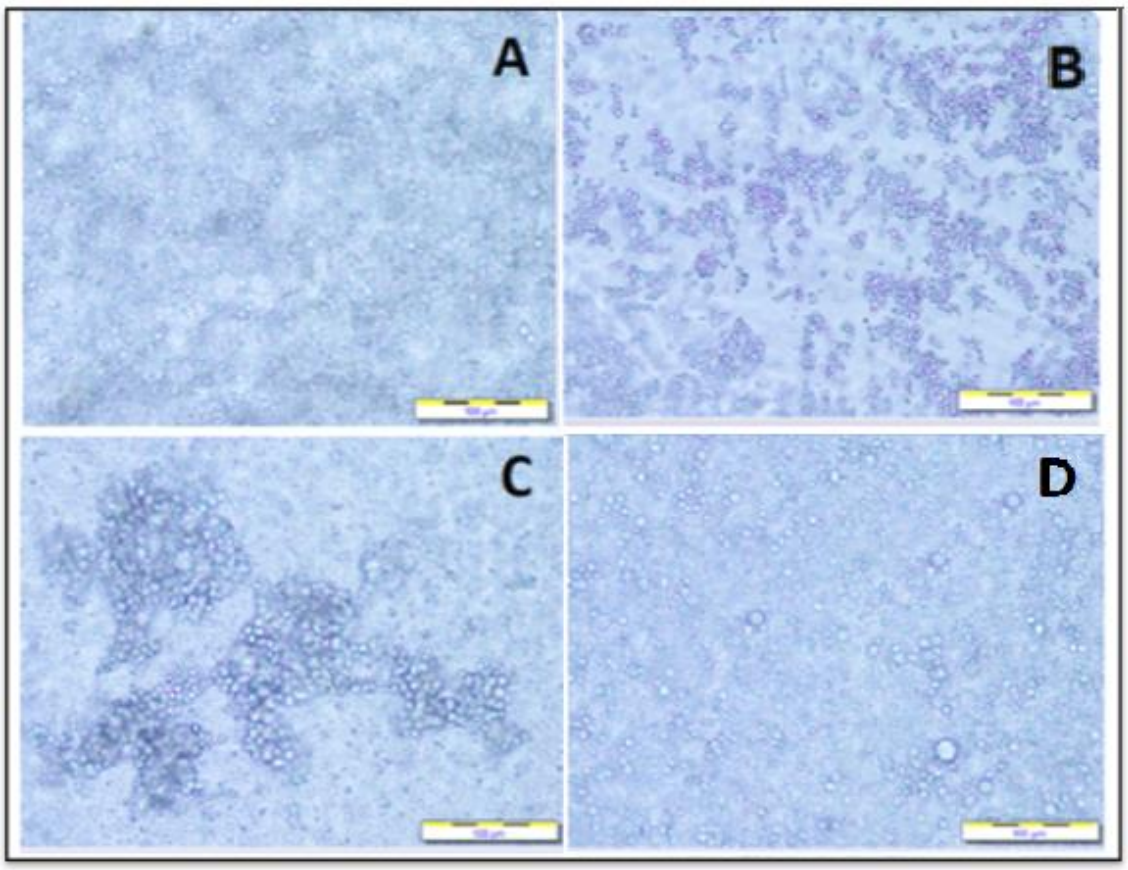
Emülsiyonların optik mikroskopta görüntülenen yapısı Şekil 3.2 ve 3.3'te gösterilmiştir. Değişen konsantrasyonlardaki gamlarla hazırlanan 1:2 (Y:D) emülsiyonların optik mikroskop ile elde edilen fotoğrafları Şekil 3.2'de, 1:4 (Y:D) emülsiyonların optik görüntüleri Şekil 3.3'te gösterilmektedir.



Şekil 3. 2 Y:D (1:2) Emülsiyonun optik mikroskop görüntüleri

(A: RG 3, B: RG 2,25- AG 0,75, C: RG 0,75-AG 2,25, D: AG 3, Y:yağ, D:duvar, AG: arabik gam, MD: maltodekstrin, RG: roka tohumu gamı)

Emülsiyonların 1:2 yağ oranında ki mikro yapısal görüntülerinde, AG3 örneğinde yağ damlacıklarının birbirinden ayrı şekilde dağıldığını, flok oluşumunun gözlenmediği görülmektedir (Şekil 3.2). AG3 formülasyonun damlacık boyutunun diğer formülasyonlara göre daha düşük olması da bu görüntüyü desteklemektedir. Ayrıca her iki yağ oranında da RG 0,75-AG 2,25 kodlu örnekte flok oluşumu gözlenmiş, RG miktarının artması ile bu oluşumlar azalmıştır.



Şekil 3. 3 Y:D (1:4) Emülsiyonun optik mikroskop görüntüleri

(A: RG 3, B: RG 2,25- AG 0,75, C: RG 0,75-AG 2,25, D: AG 3, Y:yağ, D:duvar, AG: arabik gam, MD: maltodekstrin, RG: roka tohumu gamı)

Emülsiyonların mikro yapısal görüntüleri incelendiğinde, 1:4 yağ oranında örneğindeki flokların roka tohumu gamı ilavesi ile azaldığı gözlenmektedir (Şekil 3.3). Emülsiyon sistemlerinde flokülasyon "bridging" ve "depletion" flokulasyon şeklinde iki mekanizma ile oluşabilir [134]. Seyreltme, karıştırma, homojenizasyon işlemleri ile flok yapılar (depletion) azalabilir veya birbirinden ayrılabilir, boyut ölçümlerinde bu flok yapıların etkisini gözlemediğimiz, ölçüm öncesi seyreltme ve kısa süreli ultrasonik banyo uygulaması ile flok yapıların azaldığını söyleyebiliriz.

Emülsiyonların mikroyapısal görüntüleri damlacık boyutu ve zeta potansiyel ölçümleriyle karşılaştırıldığında bu ölçümler sırasında örnekler 1:1000 oranında seyreltildiği için mobil fazdaki konsantrasyonun azalmasıyla ortamda daha sonradan koalesans ve flokülasyon oluşumunun önüne geçildiği [135] ifade edilmiştir. Bu yüzden gam kombinasyonlarıyla hazırlanan örneklerde kümeleşme

görülmesine rağmen zeta potansiyellerinin -31,9 ve -26,5 mV arasında değişmesi normal karşılanmaktadır.

Su içinde yağ emülsiyonlarında *Alyssum homolocarpum* tohum gamının potansiyel stabilize edici ajan olarak değerlendirildiği bir çalışmada gam oranının % 0,25'ten 0,75'e kadar arttırılmasının damlacıkların boyutunu önemli ölçüde azalttığı ve emülsiyonların monodispersitesinin arttığı açıklanmıştır. Bununla birlikte, bu emülsiyondaki büyük damlacıkların sayısı ve boyutları, % 0,25 gam ile hazırlanan emülsiyona kıyasla daha az olmuştur. Damlacıkların boyutundaki artışın esas olarak damlacıkların birleşmesinden kaynaklandığı ifade edilmiştir [136].

3.1.4 Emülsiyonun Reolojik Özellikleri

- **Emülsiyonun Akış Davranış Reolojik Özellikleri**

Gıdalarda kullanılan gamlarla ilgilin reolojik çalışmalar, gıda işleme sırasında yapısal değişiklikleri tahmin etmeye yardımcı olabilecek değerli bilgiler sağlar [136]. Bu tür çalışmalar yapı ve işlev arasındaki ilişkiyi ortaya koymaktadır. Gamların işleme koşulları gıda endüstrilerinde farklı olduğundan reolojik davranışları da farklıdır. Bu nedenle, gıda ve ilaç endüstrilerindeki potansiyel kullanımının değerlendirilmesi için yeni bir gam kaynağının reolojik özelliklerini incelemek çok önemlidir. Bir emülsiyonun akış davranış reolojik özellikleri mikro kapsülleme için büyük önem taşımaktadır.

Etrafı duvar malzemesi ile kaplanan yağ damlacıkların sahip olduğu elektriksel yük, damlacıkların boyutu, emülsiyondaki dispers faz miktarı, duvar malzemelerinin özellikleri gıda emülsiyonların reolojik özelliklerini etkilemektedir [137-139].Farklı yağ/duvar oranı ile hazırlanan emülsiyon formülasyonlarına ait Power Law model ile karakterize edilen akış davranış indeksleri (n), kıvam katsayıları (K) Tablo 3.3 ve eğrileri Şekil 3.4'te yer almaktadır. Formülasyonların akış davranış indeksleri 0,963 ile 0,165 arasında değişiklik göstermektedir. Formülasyondaki roka tohumu gamı miktarının tabloda görüldüğü gibi akış davranış indeksi üzerinde istatistiksel olarak önemli bir etkiye sahip olduğu açıktır. Regresyon katsayılarının (R^2) ise 0,93 ile 0,99 arasında

olmasıfarklı formülasyonda hazırlanan emülsiyonların akış davranış reolojik özelliklerinin Power Law modeliyle başarılı bir şekilde modellenebileceğini göstermektedir.

Emülsiyonların kesme hızına karşı kayma gerilimleri incelendiğinde Newton tipi olmayan (non–Newtonian), pseudoplastik (kayma ile incelen) akışkan davranış sergiledikleri görülmektedir. Diğer bir ifadeyle artan kesme hızına bağlı azalan bir viskoziteye sahip olduğu söylenebilir.. Moleküler arasındaki zayıf bağların hasar görmesi veya bileşenler arasındaki interaksiyonun zayıflaması, uygulanan kuvvetin bir sonucudur[140-142].

Çalışmamızdaki her emülsiyonun *K* ve *n* değerleri ayrıntılı bir şekilde incelenmiştir.Örneklerin *K* ve *n* değerlerinde önemli düzeyde farklılıklar gözlemlenmiştir (Tablo 3.3). Her iki yağ/duvar oranında (1:2 ve 1:4) özellikle roka tohumu gamlı olan emülsiyonların *K* değerleri artarken *n* değerlerinin azaldığı Tablo 3.3'te açıkça görülmektedir. Örneklerin *n* değerleri incelendiğinde 1'den küçük olduğu tespit edilmiştir. Bu durum, örneklerin *n* değerleri 0 ile 1 arasında olan Newton olmayan akış davranış özelliğini sergilediğini göstermektedir. RG yerine sadece arabik gam içeren emülsiyonlarda ise *n* değerinin (0,913±0,05 ve 0,963±0,04),1'e yaklaştığı görülmektedir. Sadece AG kullanılan emülsiyonların Newton akışa doğru yöneldiğini söyleyebiliriz. Yapılan bazı çalışmalarda farklı kıvam artırıcılar kullanılmadan sadece arabik gam içeren keten tohumu yağı emülsiyonların Newton akışta olduğu bildirilmiştir[104, 143]. Diğer bir çalışmada ise yeşil kahve yağı enkapsülasyonunda kaplayıcı ajan olarak Hi:kapsül, modifiye nişasta ve maltodekstrin+arabik gam kombinasyonu ile oluşturulan tüm emülsiyonların Newton tipi akış özelliğine sahip olduğu belirtilmiştir[144].

Pseudoplastik akış davranış özelliğinde olan emülsiyonlarda *K* ve *n* değeri arasındaki negatif ilişki beklenen bir durumdur. RG ilave edilen her örnekte, azalan n değerlerine azaldıkçakıvam katsayısında (*K*) artış gözlenmiştir (Tablo 3.3). Sonuç olarak RG ilavesi ile emülsiyonlar pseudoplastik akış davranış özelliğisergilemişlerdir. Yağ enkapsülasyonu üzerine yapılan birçok çalışmada maltodekstrin, gam arabik, inulin, modifiye nişasta, PAS proteini, sodyum kazeinat,

laktoz ve bunların kombinasyonlarıyla oluşturulan emülsiyonların pseudoplastik özellik gösterdiği görülmüştür [145-147].

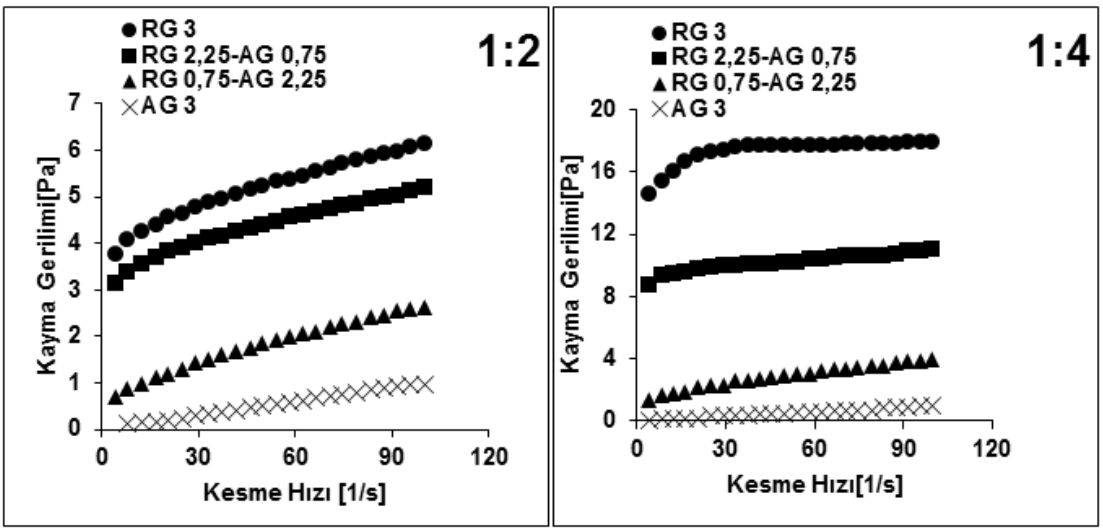
Çalışmamızda üretilen 1:2 yağ/duvar oranındaki emülsiyonların *K* değerleri 0,016 ve 2,757 Pa.s, 1:4 yağ/duvar oranındaki emülsiyonların *K* değerleri ise 0,011 ve 14,061 Pa.s arasında tespit edilmiştir .Roka tohumu gamı miktarı arttıkça ürünün *K* değerinde önemli bir artış gözlenmiştir. Benzer sonuçlar [148]'nin Asafoetida gamının emülsiyon stabilitesi ve reolojik özelliklerini incelediği çalışmasında gam konsantrasyonu arttıkça *K* değerlerinin arttığı *n* değerlerinin azaldığı görülmektedir. Roka tohumu gamı artışıyla birlikte *n* değerinde azalma stabilizatörlerin veya kıvam artırıcıların sürekli fazda suyu tutarak viskozite artışına neden olmasıyla açıklanabilir. Tablo 3.3 incelendiğinde kıvam sabitinin arttırıcı etkisi göstermesinin roka tohumu gam miktarı ve roka tohumu gamı kombinasyonuyla kullanılmasından kaynaklandığı düşünülmektedir. Daha fazla miktarda roka tohumu gamı bulunduran emülsiyonların akışa karşı daha dirençli olmasının nedeni ise içerisinde çok sayıda partikül bulunmasıdır. Yapılan bir diğer çalışmada stabilizatör maddelerinin içeriğinin artması diğer bileşenlerinde etkisini güçlendirdiği ifade etmiştir [149].

Tablo 3. 3 Emülsiyonların akış davranış parametreleri

		$\sigma = K\gamma^n$		
Y:D	**Örnek**	***K***	***n***	**R^2**
1:2	**RG 3**	2,757±0,02^{Ab}	0,168±0,01^{Ca}	0,989±0,00^{Ba}
	RG 2,25-AG 0,75	2,281±0,84^{Bb}	0,172±0,01^{Ca}	0,991±0,00^{Aba}
	RG 0,75-AG 2,25	0,274±0,05^{Cb}	0,490±0,04^{Ba}	0,998±0,00^{Aba}
	AG 3	0,016±0,00^{Da}	0,913±0,05^{Aa}	0,999±0,00^{Aa}
1:4	**RG 3**	14,061±1,33^{Aa}	0,057±0,02^{Cb}	0,924±0,04^{Ba}
	RG 2,25-AG 0,75	7,894±0,35^{Ba}	0,068±0,01^{Cb}	0,989±0,00^{Aba}
	RG 0,75-AG 2,25	0,622±0,03^{Ca}	0,393±0,00^{Bb}	0,996±0,00^{Aa}
	AG 3	0,011±0,00^{Ca}	0,963±0,04^{Aa}	0,999±0,00^{Aa}

Sonuçlar ortalama ± standart sapma olarak sunulmuştur. Büyük harfler, aynı Y:D'deki farklı formülasyon, küçük harfler ise farklı Y:D (1:2 ve 1:4)'deki aynı formülasyon için karşılaştırılmıştır. Farklı harfler $p \leq 0.05$ seviyesinde örnekler arasında anlamlı bir fark olduğunu gösterir. (* Y:yağ, D:duvar, AG: arabik gam, MD: maltodekstrin, RG: roka tohumu gamı, K:kıvam katsayısı, n: akış davranış indeksi)

Yapılan bir çalışmadaketen tohumu yağının enkapsülasyonunda kullanılan duvar malzemeleri Hi:kapsül, arabik gam, maltodekstrin, whey protein konsantresi vemodifiyenişasta kombinasyonudur.Toplam %30 katı içeriğe sahip olan 1:2 yağ duvar oranındakiemülsiyon formülasyonlarında yüksek viskozitedeğerleri bildirilmiştir[18]. Farklı polimerlerin sahip oldukları yüksek molekül ağırlıkları ve yapılarına daha fazla su bağlayabilmeleri emülsiyonların viskozitelerinde artışa sebep olabilir. Ayrıca kullanılan MD'nin dekstroz eşdeğerliklerinin (DE) viskozite üzerine etkisi bilinmektedir. Yüksek dekstroz eşdeğerlikli maltodekstrin (DE=20) kısa zincirli yapıya sahip olmasından dolayı daha düşük viskozite değerlerine sahip emülsiyonlar üretilebilir. Dekstroz eşdeğeri düştükçe viskozitenin arttığı yapılan çalışmalarda bildirilmiştir [18, 101].



Şekil 3. 4 Emülsiyonların akış davranış reolojik eğrileri

(* Y:yağ, D:duvar, AG: arabik gam, MD: maltodekstrin, RG: roka tohumu gamı)

Elde edilen sonuçlara dayanarak roka tohumu gamı gıda maddelerinde alternatif stabilizatör, kıvam artırıcı ajan olarak kullanılabileceğini ortaya koymaktadır.

- **EmülsiyonunDinamik Reolojik Özellikleri**

Emülsiyon örneklerinin dinamik reolojik özellikleri Şekil 3.5'te gösterilmiştir. Grafikler incelendiğinde her iki yağ/duvar oranında ve farklı formülasyondaki örnekler için tüm frekans değerlerinde G' değerlerinin G'' değerlerinden daha yüksek bulunmuştur. Bu durum emülsiyonlarda viskoelastik katı karakterin sıvı karakterine göre baskın olduğunu göstermektedir. Viskoelastik olarak nitelendirilen akışlarda kompleks viskozite değerleri artan açısal frekansla azalmaktadır. Şekilden anlaşılacağı üzere Artan açısal frekansla G' ve G'' değerlerinde artış gözlenmesi bu duruma işarettir. Ayrıca G' ve G'' değerleri farklı formülasyon değerlerinden de etkilenmiştir.

Farklı formülasyonlara ait bu değerler Power Law modeli kullanılarak K', K'', n' ve n'' değerleri elde edilmiştir. Elde edilen değerler Tablo 3.4'te gösterilmiştir. Sonuçlara bakıldığında ortalama R^2 değerleri oldukça yüksek (R^2>0,94) çıkması

modelin, emülsiyonun dinamik reolojik davranışlarını başarılı bir şekilde ortaya konduğunu ifade etmektedir.

Tablo 3.4'ten görüleceği üzere her iki yağ/duvar oranındaki örneklerin K' ve K'' değerleri kullanılan formülasyona göre değişmektedir. Her bir örnekte K' değerinin K'' değerinden daha yüksek çıkması katı karakterin baskınlığını ortaya koymaktadır. Bu örnekler viskoelastik katı davranış sergilemektedir. Ayrıca n' ve n'' değerlerinin 0'a yakın olması örneklerin katı karakterinin baskın olduğuna işaret eden diğer bir ifadedir. Viskoelastik katı karakter sergilediğinin diğer bir göstergesidir. Ayrıca roka tohumu gamının daha sıkı bir yapı oluşturduğu ve viskoelastik katı davranışı güçlendirdiği görülmektedir. Yağ/duvar oranları incelendiğinde duvar bileşenin artışı örneklerin, K' ve K'' değeri üzerinde bir artışa neden olmuştur. Diğer formülasyonlara göre roka tohumu gamının % 3 ve % 2,25 olduğu emülsiyon örneklerinde istatistiksel olarak önemli bir fark bulunmuştur. Şekil 3.5 incelendiğinde roka tohumu gamının daha yüksek olduğu emülsiyon örneklerinde katı karakteristiği ifade eden G' değerlerinin daha yüksekte olması daha katı ve stabil bir yapının oluştuğu söylenebilir. Roka tohumu gamı alternatif stabilizatör madde olarak kullanımını ortaya koymaktadır.

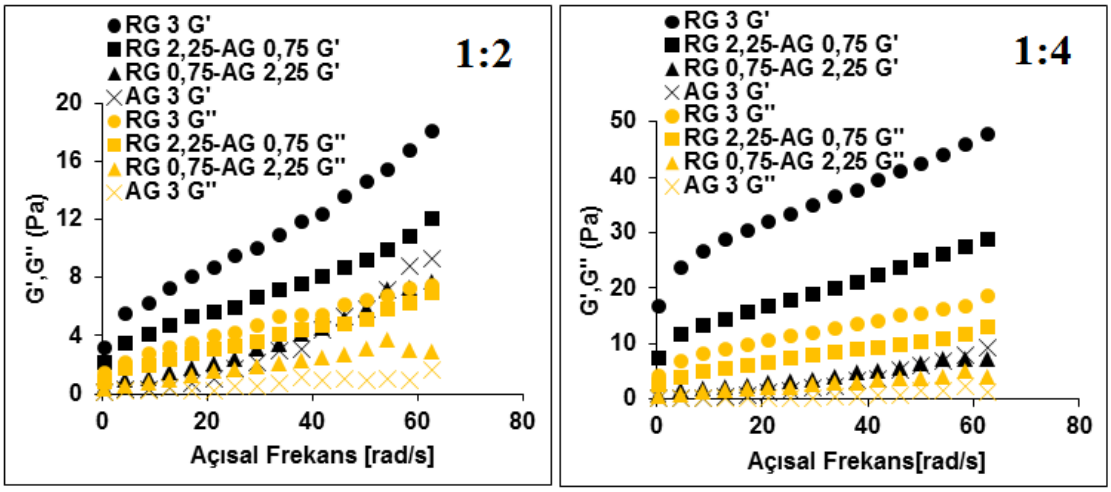
Stabilizatör maddeler yapıdaki suyu tutarak daha iyi stabilite oluşmasını sağlarlar. Böylece stabilizatör kullanımı sürekli fazın hareketini kısıtlayarak yapıda kararlılığı artırır. Bu sebeple akış davranış ve dinamik reolojik özelliklerini de olumlu yönde etkilemektedir [150].

Yapılan bir araştırmada kekik yağını polisakkarit olan welan gamı ile doğal taşıyıcı bir sistem geliştirmek için su içinde yağ örneklerinin viskoelastik özellikleri üzerine welan gamının etkisi araştırılmıştır [151]. Araştırmacılar gam konsantrasyonu artıkça emülsiyon örneklerinin G' değerlerininG'' değerlerinden yüksek gözlendiğini bildirmişlerdir.

Başka bir araştırmada ise zeytinyağı içeren emülsiyon örneklerinin stabilitesini iyileştirmek için keten tohumu gamının reolojik özelliklerine etkisi incelenmiştir [90]. Keten tohumu gamının % 0,4 ve 0,5 oranındaki bulunduğu örneklerin daha düşük orandaki (% 0,1, 0,2 ve-0,3) örneklere kıyasla daha iyi reolojik özellik gösterdiği görülmüştür. Ayrıca keten tohumu gamının artışıyla birlikte G' ve

G''değerlerindeki artışının yanında G' değerleri de G'' değerlerinden fazla olduğu tespit edilmiştir. Bu araştırmada keten tohumu gamı ve yağ molekülleri arasında güçlü bir etkileşim olduğu doğrulanmıştır.

Diğer bir araştırmada ise yeni bir potansiyel polisakkarit gam kaynağı olarak *Plantago lanceolata* tohum zamkı çözeltilerinin reolojik özellikleri üzerindeki etkisi araştırılmıştır [152, 153].



Şekil 3. 5 Emülsiyonların elastik (G') ve viskoz modülü (G'') eğrileri

(* Y:yağ, D:duvar, AG: arabik gam, MD: maltodekstrin, RG: roka tohumu gamı)

Tablo 3. 4 Emülsiyonların viskoelastik parametreleri

		$G' = K'(\omega)^{n'}$			$G'' = K''(\omega)^{n''}$		
Y:D	**Örnek**	K'	n'	R^2	K''	n''	R^2
1:2	**RG 3**	2,063±1,74^{Ab}	0,548±0,34^{Ba}	0,985±0,01^{Aa}	0,786±0,02^{Ab}	0,533±0,03^{Ba}	0,982±0,01^{Aa}
	RG 2,25-AG 0,75	1,874±2,32^{ABb}	0,558±0,72^{Ba}	0,627±0,50^{Bb}	0,397±0,02^{Bb}	0,666±0,04^{Ba}	0,979±0,01^{Aa}
	RG 0,75-AG 2,25	0,097±0,12^{Ba}	1,184±0,55^{Ba}	0,985±0,02^{Aa}	0,154±0,16^{Ca}	0,842±0,35^{Aba}	0,928±0,05^{Ba}
	AG 3	0,002±0,00^{Ba}	2,067±0,16^{Aa}	0,993±0,01^{Aa}	0,015±0,02^{Da}	1,163±0,40^{Ab}	0,872±0,02^{Ca}
1:4	**RG 3**	14,657±0,73^{Aa}	0,269±0,01^{Ca}	0,980±0,00^{Ba}	3,262±0,03^{Aa}	0,396±0,00^{Db}	0,979±0,01^{Aa}
	RG 2,25-AG 0,75	5,548±1,00^{Ba}	0,382±0,04^{Ca}	0,976±0,01^{Ba}	1,578±0,04^{Ba}	0,482±0,01^{Cb}	0,982±0,01^{Aa}
	RG 0,75-AG 2,25	0,166±0,07^{Ca}	0,924±0,17^{Ba}	0,983±0,01^{Ba}	0,189±0,00^{Ca}	0,760±0,01^{Ba}	0,981±0,00^{Aa}
	AG 3	0,002±0,00^{Ca}	2,072±0,07^{Aa}	0,996±0,00^{Aa}	0,001±2,22^{Da}	1,960±0,02^{Aa}	0,881±0,11^{Ba}

Sonuçlar ortalama ± standart sapma olarak sunulmuştur. Büyük harfler, aynı Y:D'deki farklı formülasyon, küçük harfler ise farklı Y:D (1:2 ve 1:4)'deki aynı formülasyon için karşılaştırılmıştır. Farklı harfler $p \leq 0.05$ seviyesinde örnekler arasında anlamlı bir fark olduğunu gösterir. (* Y:yağ, D:duvar, AG: arabik gam, MD: maltodekstrin, RG: roka tohumu gamı, G': elastik modülü, G'': viskoz modülü, K', K'': kıvam katsayıları, n', n'': akış davranış indeksleri)

3.1.5 Emülsiyonun Stabilitesi

Enkapsülasyon aşamalarının en önemli basamağı stabil bir emülsiyon oluşturmaktır. Nihai kapsül ürünün özelliklerini belirlemek için emülsiyonun fiziksel stabilitesi önem arz etmektedir [154].

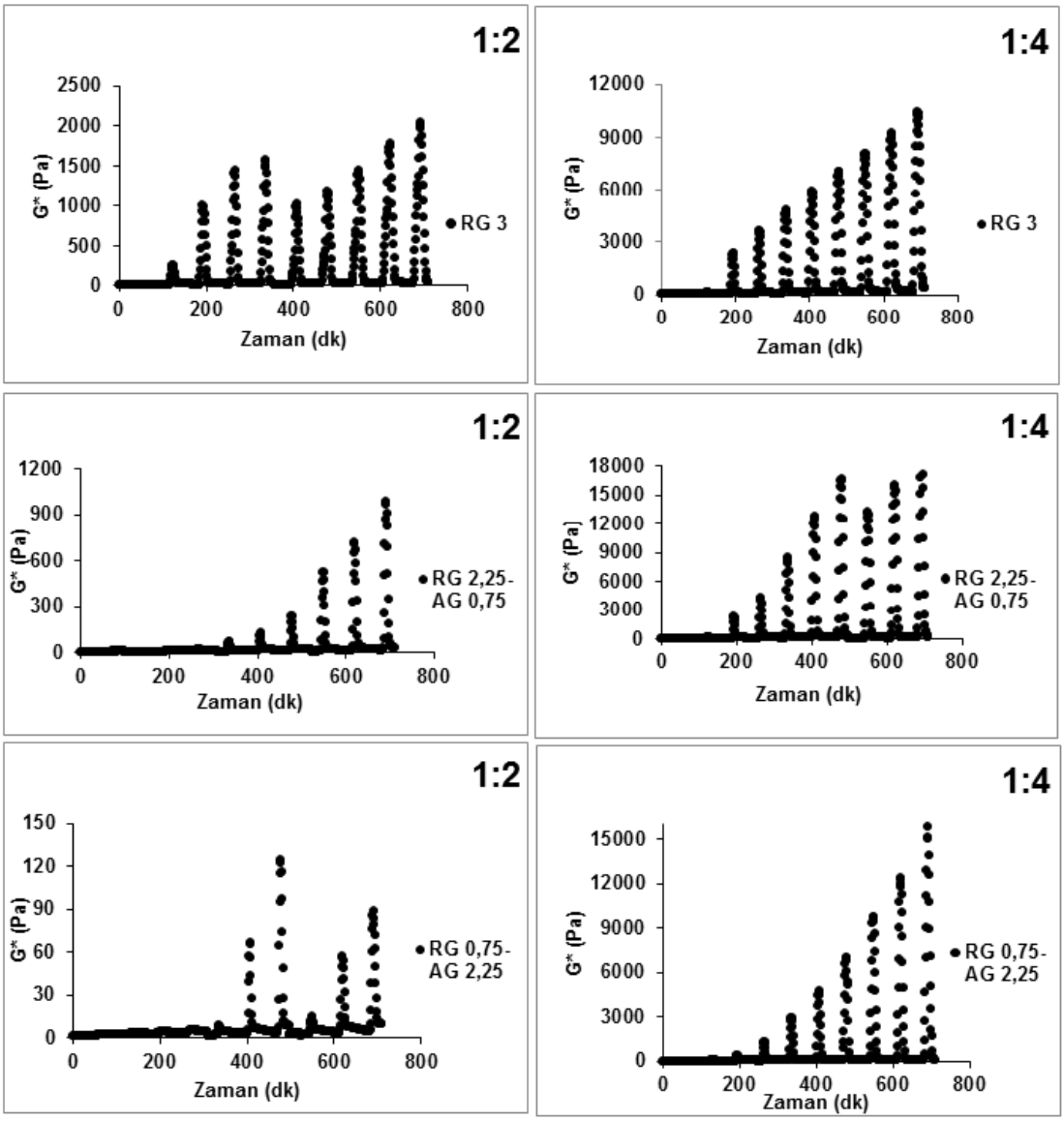
Reolojik ölçümler (kararlı durum, kontrollü stres ve salınım ölçümleri) emülsiyonların kararlılığı hakkında bilgi vermektedir. Örneğin, depolama modülü G'ile temsil edilen elastik davranışları, G''ile temsil edilen viskoz davranışlarından daha güçlü olduğunda emülsiyonlar nispeten daha kararlıdır [155].Bu yüzden emülsiyonların yapısal değişimi, G' ve G''*yi* izleyen bir frekans taraması kullanılarak gözlemlenebilir.

Emülsiyonlar, depolama sırasında, özellikle sıcaklık dalgalanması dolayısıyla fiziksel dengesizlik gösterebilir. Termal döngü testi, farklı sıcaklık koşulları altında emülsiyonların G've G'' değişiklikler hakkında değerli veriler verir [156].

Bu çalışmada emülsiyon stabilitesi[123] tarafından çalışılan ve yeni bir yöntem olan termal döngü testi ile belirlenmiştir. Örneklerin belli değer aralığında, sıcaklıkları azaltılarak ve arttırılarak bir termal döngü uygulanmıştır. Bu termal döngülerin sergilediği kararlılıklar incelenmiştir. Düşük (5-23°C) ve yüksek sıcaklık (23-45°C) koşulları altında G' ve G'' değerleri ile termal değişime karşı varyasyonları ölçülür. Daha düşük varyasyon daha yüksek stabiliteyi gösterir. Yüksek sıcaklık termal döngülerinin değerlendirilmesi stabiliteleri hakkında daha iyi sonuçlar verdiğinden ve ürünün sıcaklığa duyarlı olmasından ötürü bu çalışmada yüksek sıcaklık termal döngüsü kullanılmıştır.

Termal döngü testinde G^* değerlerinin eğrileri Şekil 3.6'da gösterilmiştir. Termal döngüler sırasında, G^* değerlerindeki değişiklik yapısal deformasyonu göstermektedir.

Yüksek sıcaklık termal döngü testi sırasında, roka tohumu gamının miktarı azaldıkça örneklerde G^*değerlerinde dramatik bir değişiklik gözlenmiştir. G^* değerindeki artış belli döngüden sonraki stabilitenin bozulduğunu ifade etmektedir. Roka tohumu gamının stabilite sağladığı açıkça Şekil 3.6'da görülmektedir.



Şekil 3. 6 Emülsiyonların yüksek sıcaklık altında termal döngü eğrileri

(* Y:yağ, D:duvar, AG: arabik gam, MD: maltodekstrin, RG: roka tohumu gamı)

3.2 Mikrokapsül Karakterizasyonu

3.2.1 Mikrokapsülün Nem ve Su Aktivitesi İçeriği

Kurutulmuş gıdaların raf ömrünün belirlenmesinde nem içeriği ve su aktivitesi önemli bir faktördür[157]. Depolama boyunca kurutulmuş ürünlerin nem içerikleri %5'ten ve su aktivitesinin 0,2'den daha düşük olması toz partiküllerin stabil kaldığının göstergesidir [158]. Gıda endüstrisinde % 3-4 nem içeriği kurutulmuş tozlar için maksimum nem içerikleridir[159, 160].

Yaptığımız çalışmada mikroenkapsüle edilmiş örneklerin nem değerleri % 2,404-3,457 arasında değişmiştir. Yağ:duvar oranının artışıyla nem içeriklerinin arttığı Tablo 3.5'te görülmektedir. Enkapsülasyon yöntemi, süresi ve enkapsülasyonda kullanılan taşıyıcı ve çekirdek malzemelerinin türü gibi birçok faktör, toz ürünlerin nem içeriklerini etkiler. Formülasyonda bulunan bileşenlerin su tutma kapasitesi ile, nem değerlerinin arasındaki ilişki sonucu özellikle RG miktarı arttıkça 1:4 oranında yağ içeren örneklerin daha yüksek nem içeriğine sahip olması beklenen bir durumdur. Bu durum dondurarak kurutma işlemiyle ilişkilendirilebilir. Çünkü donmuş emülsiyonlardaki kuru madde içeriği ne kadar yüksek olursa, su moleküllerinin dağılmaya karşı direnci o kadar yüksek olur, böylece dondurarak kurutma işlemi sırasında kütle transferini azaltır. Bu nedenle, MD konsantrasyonu arttıkça emülsiyonları dehidre ederken daha az su giderimi gerçekleşmesiyle nem değerindeki artışı mümkün kılmaktadır. Ayrıca yağ duvar oranının artışıyla su aktivitesinde istatistiksel olarak pek fark olmasada MD'deki moleküler yapısındaki her hidroksil grupların bir veya daha fazla su molekülüne bağlanma olasılığı vardır. Bu yüzden MD konsantrasyonundaki bir artışın tozların su aktivitesini azaltacağı beklenmiştir.

Benzer bir çalışmada keten tohumu yağının keten tohumu proteini ve gamı ile enkapsüle edilmiş ve enkapsülasyon yöntemi olarak dondurarak ve püskürtülerek kurutma yöntemleri kullanılmıştır [21]. 1:2-1:3 ve 1:4 yağ:duvar oranında kurutulmuş olan örneklerin nem oranları dondurarakta % 4,47 ile 4,18 arasındayken püskürterekte % 3,7 ile 3,18'dir. Su aktivitelerileri ise yaklaşık 0,3 civarındadır. Sonuçlar incelendiğinde enkapsülasyon yöntemi ve çekirdek: duvar oranlarının nem ve su aktivitesini önemli derecede etkilediği görülmektedir.

Çalışmamızda elde edilen toz ürünlerin su aktivitesi ise 1:2 (Y:D)' de 0,097 ile 0,184 arasındayken 1:4 (Y:D)'de 0,061 ile 0,078 arasında değişen değerler tespit edilmiştir (Tablo 3.5). Farklı kaplama materyallerin ve formülasyonların istatistiksel açıdan etkilerinin önemli olmadığı saptanmıştır.

Tablo 3. 5 Mikropartikülün nem ve su aktivitesi içerikleri

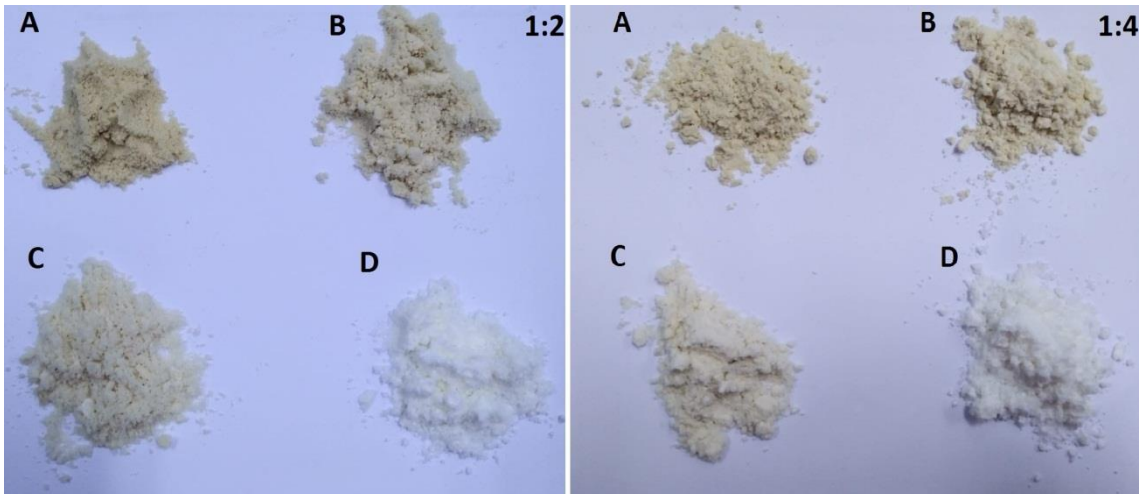
Y:D	Örnek	Nem (%)	Su Aktivitesi
1:2	**RG 3**	2,526±0,006^{Ab}	0,184±0,098^{Aa}
	RG 2,25-AG 0,75	2,404±0,098^{Ab}	0,145±0,093^{Aa}
	RG 0,75-AG 2,25	2,569±0,614^{Aa}	0,097±0,076^{Aa}
	AG 3	2,310±0,168^{Aa}	0,112±0,078^{Aa}
1:4	**RG 3**	3,457±0,096^{Aa}	0,078±0,069^{Aa}
	RG 2,25-AG 0,75	3,409±0,007^{Aa}	0,071±0,06^{Aa}
	RG 0,75-AG 2,25	2,961±0,663^{Ba}	0,068±0,067^{Aa}
	AG 3	2,458±0,170^{Ca}	0,061±0,063^{Aa}

Sonuçlar ortalama ± standart sapma olarak sunulmuştur. Büyük harfler, aynı Y:D'deki farklı formülasyon, küçük harfler ise farklı Y:D (1:2 ve 1:4)'deki aynı formülasyon için karşılaştırılmıştır. Farklı harfler $p \leq 0.05$ seviyesinde örnekler arasında anlamlı bir fark olduğunu gösterir. (* Y:yağ, D:duvar, AG: arabik gam, MD: maltodekstrin, RG: roka tohumu gamı)

3.2.2 Mikropartikül Renk Tayini

Mikrokapsüllerin renk değerleri Tablo 3.6'da gösterilmektedir. Roka tohumu gamının azalmasıyla toz örneklerde parlaklığın (L*) arttığı ve sarılığın (b*) düştüğü gözlenmiştir. Renk görüntüleri Şekil 3.7'de gösterilmiştir.

.



Şekil 3. 7 Mikrokapsüllerin renk görüntüleri

(A: RG 3, B: RG 2,25- AG 0,75, C: RG 0,75-AG 2,25, D: AG 3)

Benzer bir çalışmada dondurularak kurutulmuş mikrokapsüllerin taşıyıcı matrisindeki maltodekstrinin yüksek konsantrasyonundaki toz görüntüleri incelendiğinde daha parlak ve beyazımsı olduğu görülmektedir [115].

Diğer yapılan bir çalışmada ise benzer sonuçlar görülmektedir. Keten tohumu yağının dondurularak kurutulması sonucunda 87,3 ila 90,6 arasında değişen L^* değerleri, −0,5 ile 0,3 arasında a^* değerleri ve 11,2 ile 20,3 arasındadeğişen b^* değerleri tespit edilmiştir[116].

Tablo 3. 6 Mikropartikülün L*,a*,b* değerleri

Y:D	Örnek	*L**	*a**	*b**
1:2	**RG 3**	81,93±0,76^{Da}	-1,69±0,02^{Aa}	24,96±0,23^{Aa}
	RG 2,25-AG 0,75	85,65±1,32^{Cb}	-3,16±0,08^{Ba}	20,39±0,54^{Ba}
	RG 0,75-AG 2,25	90,10±0,25^{Ba}	-4,19±0,05^{Ca}	18,21±0,37^{Ca}
	AG 3	95,09±0,36^{Aa}	-7,66±0,04^{Db}	19,76±0,17^{Da}
1:4	**RG 3**	82,11±0,52^{Ca}	-2,72±0,04^{Ab}	22,84±0,43^{Ab}
	RG 2,25-AG 0,75	87,69±0,09^{Ba}	-3,45±0,37^{Ba}	18,91±0,13^{Bb}
	RG 0,75-AG 2,25	88,60±1,22^{Bb}	-4,54±0,03^{Ca}	14,80±0,37^{Cb}
	AG 3	93,75±1,86^{Aa}	-5,52±0,03^{Da}	10,91±0,10^{Db}

Sonuçlar ortalama ± standart sapma olarak sunulmuştur. Büyük harfler, aynı Y:D'deki farklı formülasyon, küçük harfler ise farklı Y:D (1:2 ve 1:4)'deki aynı formülasyon için karşılaştırılmıştır. Farklı harfler p ≤ 0.05 seviyesinde örnekler arasında anlamlı bir fark olduğunu gösterir. (* Y: yağ, D:duvar, AG: arabik gam, MD: maltodekstrin, RG: roka tohumu gamı, L*:parlaklık, a*:kırmızı-yeşil, b*:sarı-mavi koordinatları)

3.2.3 Enkapsülasyon Etkinliği

Keten tohumu yağının dondurarak kurutma tekniği ile elde edilen mikropartiküllerin enkapsülasyon etkinlikleri Tablo 3.7'de gösterilmiştir. Enkapsülasyon etkinliği kapsüllenmemiş yağ ve deforme olmuş kapsül yüzeyinden çıkan yağ oranı hakkında bilgi vermektedir [161]. Enkapsülasyon etkinliği hesaplanırken keten tohumu yağı uçucu olmadığından toplam yağ başlangıçtaki yağa eşit kabul edilip enkapsülasyon etkinliği toplam yağdan yüzey yağının çıkarılması sonrası, her örnek için kuru madde üzerindenhesaplanmıştır. Sonuçlar incelendiğinde yağ/duvar oranı ve duvar formülasyonlarının enkapsülasyon

etkinliklerinde büyük farklılıklar görülmemiştir (Tablo 3.7). Tablo1.1'de özetlendiği gibi dondurarak kurutma yöntemi püskürterek kurutma yöntemine göre daha düşük enkapsülasyon etkinliği ile sonuçlanmaktadır.

Tablo 3. 7 Mikrokapsülün enkapsülasyon etkinliği değerleri

Y:D	Örnek	Enkapsülasyon Etkinliği (%)
1:2	**RG 3**	47,152±6,019^{Aa}
	RG 2,25-AG 0,75	39,871± 5,978^{Aa}
	RG 0,75-AG 2,25	50,603±8,899^{Aa}
	AG 3	52,367± 3,43^{Aa}
1:4	**RG 3**	43,249± 1,912^{Aa}
	RG 2,25-AG 0,75	40,100± 6,262^{Aa}
	RG 0,75-AG 2,25	38,142± 8,144^{Ab}
	AG 3	40,269±0,416^{Ab}

Sonuçlar ortalama ± standart sapma olarak sunulmuştur. Büyük harfler, aynı Y:D'deki farklı formülasyon, küçük harfler ise farklı Y:D (1:2 ve 1:4)'deki aynı formülasyon için karşılaştırılmıştır. Farklı harfler $p \leq 0.05$ seviyesinde örnekler arasında anlamlı bir fark olduğunu gösterir. (* Y:yağ, D:duvar, AG: arabik gam, MD: maltodekstrin, RG: roka tohumu gamı)

Keten tohumu yağının enkapsülasyonu ile ilgili benzer çalışmalar incelendiğinde kurutma yöntemi, kaplama materyali ve formülasyonu, emülsiyon stabilitesi, damlacık boyutu, çekirdek ve duvar oranı, yüzey morfolojilerinin enkapsülasyon etkinliğini üzerine etkisi bildirilmiştir[18, 118].

Yaptığımız çalışmada elde dilen mikropartiküllerin yüzey morfolojileri düzensiz ve gözenekli bir yapıya sahip olmasından da anlaşılacağı gibi yüzeydeki yağın fazla olması muhtemeldir. Enkapsülasyon etkinlikleri % 38,142-52,367 arasında

değişmektedir. Her ne kadar istatistiksel olarak anlamlı farklar olmasa da, 1:2 yağ:duvar örneklerinde AG yerine RG kullanılması bir miktar EE yi azaltmıştır. Bu durum AG'nin daha yüksek yüzey aktif özelliğe sahip olması, su-yağ ara yüzeyinde daha fazla birikeceğinden dolayı yağı yüzeye çıkmasına engel olması ile ilişikli olabilir.

Benzer bir çalışmada keten tohumu gamı ve keten tohumu protein izolatı ile kaplanan keten tohumu yağının yağ/duvar oranı 1:2 olan örneklerinde enkapsülasyon etkinliğinin düşük çıkmasını (%58,49) gözenekli yapıya sahip olması ve yeterli duvar materyalinin kullanılmamasından kaynaklandığını rapor etmişlerdir[21].

Benzer başka bir çalışmada keten tohumu yağı zein ile kaplanmıştır. 1:4 ve 1:12 yağ/duvar oranlarında keten tohumu yağının enkapsülasyonu için dondurularak elde edilen mikrokapsüllerin enkapsülasyon etkinliklerinin düşük (% 32,68 ve 59,63) bulunmuştur. Bunun nedenini kaplama materyalinin yeterli gelmemesi ile açıklanmıştır [114].

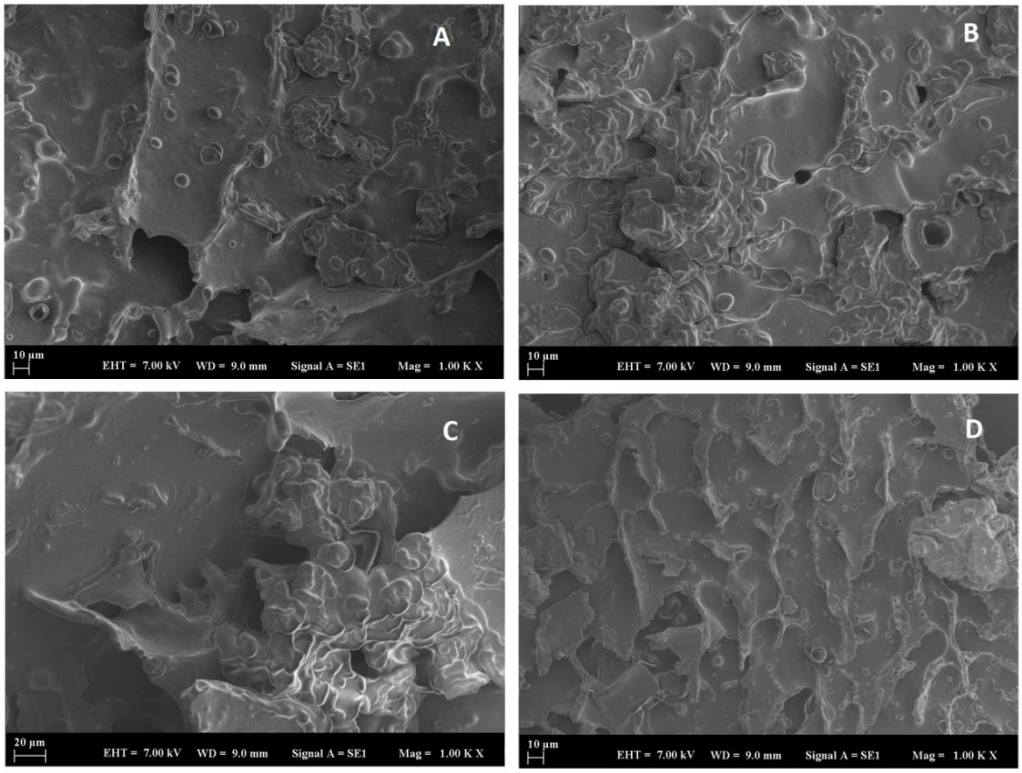
Sonuçları analiz ederken, 1:2 yağ/duvar oranında % 3 AG formülasyonunun enkapsülasyon etkinliğinin diğer formülasyonlara göre yüksek olması damlacık boyutunun (1,945 µm) diğer formülasyona göre düşük olmasıyla da ilişkilendirilebilir. Damlacık boyutunun küçülmesi ve kaplama materyali oranının artması yağın yüzeye geçişini zorlaştıracağından enkapsülasyon etkinliğinin artmasına sebep olmaktadır[104].

Aynı şekilde 1:4 çekirdek/duvar oranındaki % 3 AG formülasyonun enkapsülasyon etkinliği 1:2'ye göre damlacık boyutu artışıyla azalmaktadır. Roka tohumu gam içeren formülasyonların (RG 3 ve RG 2,25) 1:2 orandaki damlacık boyutlarının (Tablo 3.1) daha yüksek olmasına rağmen arabik gama benzer enkapsülasyon etkinliği ile sonuçlanmıştır. Benzer sonuç enkapsülasyon etkinlikleri % 62 ile 95 arasında değişen keten tohumu yağının enkapsülasyonunda gözlenmiştir[18].

3.2.4 Taramalı Elektron Mikroskobu Analizi (SEM)

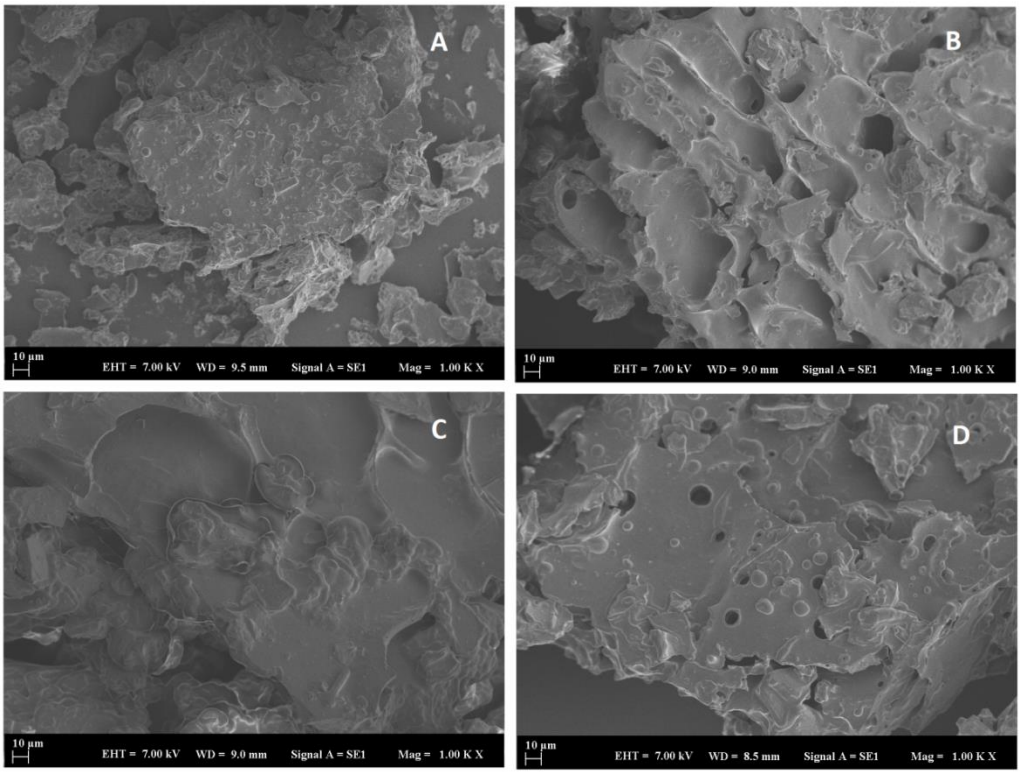
Elde edilen mikrokapsüllerin taramalı elektron mikroskobunda her örnek için 7 kV' da 100 kat büyültülerek alınan görüntüleri Şekil 3.8 ve 3.9'da gösterilmektedir. Şekiller incelendiğinde mikrokapsüllerin yüzey yapısının düzensiz, gözenekli ve pürüzlü bir şekle sahip oldukları görülmektedir. Mikrokapsüllerin yüzey morfolojisi, kabuğun çekirdek malzeme özelliklerine ve mikrokapsülleme işlemine bağlıdır. Dondurarak kurutma sonrası yapılan öğütme işleminin başlangıçtaki hücre benzeri yapıyı ve duvar özelliklerini kısmen koruyarak düzensiz boyut ve şekle sahip partiküllerin oluşmasına neden olduğu düşünülmektedir. Gözenekli yapının oluşmasının nedeni donma sırasında oluşan buz kristallerinin sublimasyonla buharlaşması sonucudur. Bu nedenle partiküller dondurarak kurutma ile elde edilmeden önce kritik nokta olan sublimasyon ve donma aşaması parçacıkların morfolojilerini etkileyebilecekleri düşünülmelidir.

Özellikle roka tohumu gamının olmadığı sadece arabik gamla elde edilen mikrokapsüllerin yüzeylerinde yer yer deliklerin ve boşlukların olduğu belirlenmiştir. Çalışmamızda örnekler arasında yüzey morfolojisinde küçük farklılıklar gözlenmiştir. Örneğin RG (Şekil 3.8-9 A,B ve C) içeren dondurularak kurutulmuş mikrokapsüller, AG içerenlerden daha deliksiz yüzeylere sahiptir.



Şekil 3. 8 Y:D (1:2) Mikrokapsüllerin SEM görüntüleri

(A: RG 3, B: RG 2,25- AG 0,75, C: RG 0,75-AG 2,25, D: AG 3,* Y:yağ, D:duvar, AG: arabik gam, MD: maltodekstrin, RG: roka tohumu gamı)



Şekil 3. 9 Y:D (1:4) Mikrokapsüllerin SEM görüntüleri
(A: RG 3, B: RG 2,25- AG 0,75, C: RG 0,75-AG 2,25, D: AG 3,* Y:yağ, D:duvar, AG: arabik gam, MD: maltodekstrin, RG: roka tohumu gamı)

Dondurarak kurutma yöntemiyle elde edilen yağ kapsülleme çalışmalarında benzer morfolojik gözlemler rapor edilmiştir [162, 163]. Farklı şekle sahip morfolojilerin koruyucuları kıyaslandığında düzensiz şekilli mikrokapsüller basınç ve ışığa karşı mükemmel, ısıya karşı iyi, oksijen ve neme karşı ise orta seviyede olduğu ifade edilmiştir[164].

Benzer sonuçları bulunan bir çalışmada sprey ve dondurarak kurutma yöntemleriyle hazırlanan fitosterol ester ve limonen ile birlikte balık yağını kapsüllemişlerdir. Mikrokapsüllerin morfolojik yapıları incelendiğinde püskürtülerek kurutulmuş örneklerin aksine, dondurarak kurutulmuş örnekler düzensiz, keskin ve kırık cam benzeri yüzeylere sahip olduğunu belirlemişlerdir. Bunun nedenini ise öğütmenin bir sonucunu yansıttığını bildirmişlerdir[165].

Literatür, partiküllerin morfolojilerinin değişen oranlar ve/veya duvar malzemesi türleri ile kontrol edilebildiğini göstermektedir.Keten tohumu yağının zein ile enkapsülasyonu çalışmasında sprey ve dondurarak kurutma yöntemleri

kıyaslanmıştır. Dondurarak kurutulan mikrokapsüllerin daha düzensiz ve gözenekli bir yapıya sahip olduğu ve yağların bir kısmı yüzeyde kalarak düşük enkapsülasyon etkinliğiyle sonuçlandığı rapor edilmiştir [114].

Farklı maltodekstrin konsantrasyonları içeren dondurularak kurutulmuş keten tohumu yağının mikropartikül görüntüleri ise benzer diğer bir sonuçtur [115].Yapılan bir araştırmada dondurarak kurutma yöntemiyle mikroenkapsülasyon işleminde farklı taşıyıcılar olarak maltodekstrin ve trehaloz kullanılarak elde edilen tozların proses verimliliği ve teknolojik özellikleri üzerindeki etkisi araştırılmıştır. Maltodekstrinin iyi bir kapsülleyici olduğunu daha pürüzsüz, trehalozlu kapsüllerin ise daha pürüzlü bir yapıya sahip olmasıyla desteklemiştir. Taşıyıcı bileşimi ve yağ/duvar oranın morfolojilerinin üzerine etkilerini vurgulamış ve taşıyıcı/çekirdek oranın artışıyla morfolojilerinin iyileştiğini ifade etmişlerdir[166]. Benzer morfolojik yapılar, dondurarak kurutma yöntemi ile yapılan mikroenkapsülasyon çalışmalarında da gözlenmiştir. [167]tarafından dondurarak kurutma yöntemiyle elde edilen zeytinyağı-limon suyu mikrokapsüllerinin, düzensiz ve çöküntülü bir yüzey yapısına sahip olduğunu bildirmişlerdir. Donma esnasındaki uzaklaşan suyun mikrokapsül yüzeyinde delikler meydana getirdiğini ifade etmişlerdir. Keten tohumu yağının mikroenkapsülasyonunda taşıyıcı olarak keten tohumu gamı ve proteini kullanılarak püskürterek ve dondurak kurutulmuş. Dondurularak kurutulmuş mikrokapsüllerin, suyun süblimleşmesi nedeniyle oluşan yüzeyde gözenekler veya boşluklar içeren topaklı bir yapıya sahip olduğunu tespit etmişlerdir[21].Farklı kurutma metotlarıyla enkapsüle edilen balık yağının yüzey yapıları incelendiğinde dondurarak kurutulan örnekler daha pürüzlü bir yapıya sahiptir. Çalışmada kurutma metotlarının seçimi toz morfolojilerinin üzerinde oldukça etkili olduğu vurgulanmıştır[168]. Aroma enkapsülasyonunda arabik gam mükemmel emülsifikasyon ve film oluşturma özellikleri ile bilinir. Sınırlı kullanılabilirliği nedeniyle arabik gam için alternatif olarak jelatin ile birlikte kullanımı araştırıldığı bir çalışmada limonen kapsülleme için taşıyıcı olarak kombinasyonlarının kullanımını önermişlerdir. Arabik gam, jelatin ve sakkaroz kombinasyonuyla elde edilen mikropartikülün cam benzeri yüzeye sahip olduğunu bildirmişlerdir [78].

3.2.5 Oksidatif Stabilite

Elde edilen mikropartiküllerin ve kontrol örneği olarak kapsüllenmemiş keten tohumu yağının oksidasyona karşı dayanıklılıkları Oxitest Cihazı kullanılarak belirlenmiştir. Örneklerin stabilitelerinin değerlendirilmesinde IP (indüklenme periyotları) değerleri baz alınmıştır. Örneklerin 90°C'de IP değerleri Tablo 3.8' de gösterilmiştir. Kontrol örneği (keten tohumu yağı) zamana bağlı olarak çok hızlı bir şekilde bozunma gösterdiği IP değerinden (3.02 saat) de anlaşılmaktadır. Bir başka çalışmada, soğuk preslenmiş keten tohumu yağının oksidatif stabilite indeksinin 110 °C'de 2,4 saat olduğu bildirilmiştir [169]. Duvar malzemelerinden yeni bir gam olan roka tohumu gamının konsantrasyonu artıkça oksidasyon stabilitesinde istatistiksel olarak anlamlı oranda artış gözlenmiştir.Yağ:duvar oranı 1:2 olan ve RG kullanılmayan AG3 örneğinin IP değeri (3.06 saat) kontrole çok yakın olmuştur, dolayısıyla bu formülasyonun yağı oksidasyona göre anlamlı derecede korumadığı söylenebilir. Keten tohumu yağının sprey ve dondurarak kurutulduğu bir çalışmada mikropartiküllerin oksidatif stabiliteleri incelendiğinde dondurularak elde edilen mikrokapsüllerin gözenekli yapısından dolayı keten tohumu gamı ve keten tohumu proteini izolatı duvar malzemeleri tarafından oksidasyona karşı korunmadığı belirlenmiştir. Ayrıca spreyle kurutulmuş mikrokapsüllerin nispeten daha kararlı olduğu görülmüştür. Spesifik olarak, spreyle kurutulmuş mikrokapsüllerde, çekirdek: duvar oranı 1:4 olan formülasyon, oksidasyona karşı en yüksek kararlılığı sergilerken 1:2 olan düşük oksidasyon kararlılığı göstermiştir [21]. Çalışmamızda, yağ oranının daha az, duvar malzemesinin daha çok olduğu 1:4 örneğinde ise stabilite de kısmen artış gözlenmiştir (4.34 saat). Ancak formülasyona RG eklenmesi ve miktarındaki artış ile oksidatif stabiltede önemli derecede artışlar gözlenmiştir. Örneğin, % 3 roka tohumu gamı eklenen örneklerde, 1:4 yağ:duvar oranında IP değeri kontrol örneğininkinden 5,73 kat, 1:2 örneğinde ise 3.12 kat daha yüksek olmuştur. Sonuç olarak roka tohumu gamının duvar malzemesi olarak kullanımında oksidasyona karşı önemli ölçüde direnç göstermiştir.

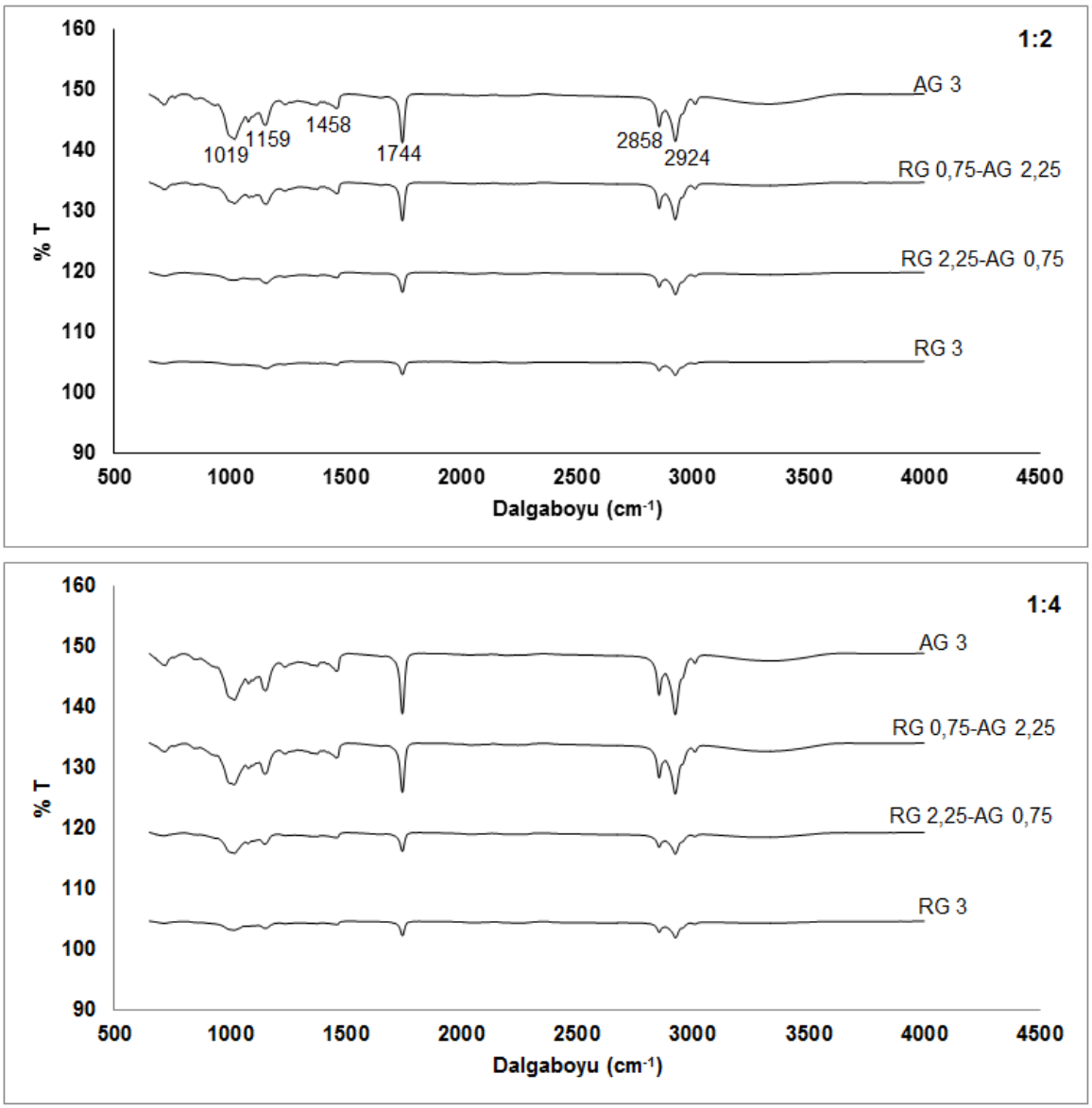
Tablo 3. 8 Örneklerin indüklenme periyotları (IP)

Y:D	Örnek	IP
	Kontrol	$3,02^{E}$
1:2	**RG 3**	$9,44^{Ab}$
	RG 2,25-AG 0,75	$7,21^{Bb}$
	RG 0,75-AG 2,25	$5,29^{Cb}$
	AG 3	$3,06^{Db}$
1:4	**RG 3**	$17,32^{Aa}$
	RG 2,25-AG 0,75	$15,11^{Ba}$
	RG 0,75-AG 2,25	$5,42^{Ca}$
	AG 3	$4,34^{Da}$

Sonuçlar ortalama ± standart sapma olarak sunulmuştur. Büyük harfler, aynı Y:D'deki farklı formülasyon, küçük harfler ise farklı Y:D (1:2 ve 1:4)'deki aynı formülasyon için karşılaştırılmıştır. Farklı harfler $p \leq 0.05$ seviyesinde örnekler arasında anlamlı bir fark olduğunu gösterir. (*Y:yağ,D:duvar, AG: arabik gam, MD: maltodekstrin, RG: roka tohumu gamı, IP: indüklenme periyodu)

3.2.6 Fourier Dönüşümlü Kızılötesi Spektroskopisi (FTIR) Analizi

Kapsüllenmiş keten tohumu yağının farklı taşıyıcı matrislerinde karakterize etmek için FTIR spektroskopisi uygulanmıştır. Farklı yağ duvar oranları ve konsantrasyonlarındaki örneklere ait FTIR-ATR spektrumları (4000-650 cm-1) Şekil 3.10'da verilmiştir. Genel olarak piklerin çoğunluğu duvar malzemelerin konsantrasyonuna bağlı olarakoluşmuştur.



Şekil 3. 10 Mikrokapsüllerin FTIR spektrumları

(* Y:yağ, D:duvar, AG: arabik gam, MD: maltodekstrin, RG: roka tohumu gamı)

Spektrumlar incelendiğinde keten tohumu yağını karakterize eden 1744 cm^{-1} civarında bulunan geniş bant ve 2924-2858 cm^{-1}'deki bantların sırasıyla C=O gerilmesi ve CH_2 gerilmesiyle ilişkilendirilmiştir. Mikropartiküllere ait pik zirvesi 2924 cm^{-1} olarak saptanmıştır. Bu pik taşıyı matriksi içerisindeki keten tohumu yağının varlığını göstermektedir[21, 170, 171].

1019 cm^{-1} ve 1159 cm^{-1} bulunan bant arabik gama işaret etmektedir. Arabik gamı karakterize eden bantların 1017 cm^{-1}'de civarında C-O gerilmesinin bulunduğu

bildirilmiştir. Arabik gam spektrumundaki bantlarda 1370 cm^{-1}'de CH_3 bükülmesi, 1450 cm^{-1}'de C-H bükülmesi ve 1600 cm^{-1}'de C=O gerilmesi tespit edilmiştir[172]. Ayrıca arabik gam çalışmalarında benzer profillerin görüldüğü ve 1141 ve 1070 cm^{-1} civarında bulunan bandın C-O gerilmesi ve 1613 cm^{-1}'deC=O gerilmesi olduğu doğrulanmaktadır[173, 174].

Enkapsülasyonda taşıyıcı olarak kullanılan arabik gam ve maltodekstrinin birlikte kullanımı ile elde edilen mikropartiküllerin spektrumlarının benzer profiller sergilediği bildirilmiştir[172].

1458 ve 2924 cm^{-1} civarında bulunan geniş bant, maltodekstrin varlığını doğrulamaktadır. 2925 cm^{-1} (C-H), 1653 cm^{-1} (C=O gerilme), 1457 cm^{-1} (CH_2 eğilme) ve 1371 cm^{-1} (O-H eğilme), [173, 175]tarafından bildirilmiştir.

RG' nın AG ile pik yoğunlukları-şiddeti karşılaştırıldığında, tüm mikrokapsüller için hidroksil ve karbonil piklerinin yoğunlukları önemli ölçüde azalmıştır. Sonuç olarak keten tohumu yağının roka tohumu gamıyla etkileşim göstererek mikrokapsüllemenin etkili bir şekilde gerçekleştirildiği saptanmıştır.

4
SONUÇ VE ÖNERİLER

Gerçekleştirilen bu çalışma kapsamında omega-3 kaynaklardan birisi olan keten tohumu yağının dondurarak kurutma yöntemiyle mikroenkapsülasyonu amacıyla maltodekstrin varlığında roka tohumu gamının literatürde en yaygın kullanılan arabik gam ilearklı kombinasyonunlarının duvar materyali olarak kullanımı irdelenmiştir. Roka tohumu gamının alternatif kaplayıcı ajan olarak kullanımı araştırılmıştır. Literatür baz alınarak her bir bileşenin kullanım miktarları, yapılan ön denemeler ile belirlenmiştir. Belirlenen formülasyonlarda su içerisinde yağ emülsiyonları oluşturularak dondurarak kurutma yöntemiyle mikrokapsüller elde edilmiştir. Emülsiyon ve mikrokapsüllerin karakterizasyonu için gerekli analizler yürütülmüştür.

a) Emülsiyonların yüksek sıcaklık değerlerinde (23-45°C) belli bir süreden sonra stabilitelerinin bozulmaya başladığı tespit edilmiştir.
b) Roka tohumu gamının ilave edildiği emülsiyonların tümü, Newton tipi olmayan akış davranış özelliği sergilediği belirlenmiştir. Dinamik reoljik özelliklerinde ise roka tohumu gamının daha kıvamlı ve katı karakteristik bir yapı sağladığı belirlenmiştir.
c) Emülsiyonların damlacık büyüklüğü dağılımları ise monomodal dağılım göstermiştir. Kurutma sonucu elde edilen mikropartiküllerin yüzey morfolojileri düzensiz ve gözenekli yapıya sahip olduğu görüldü.
d) Parlak ve beyazımsı elde edilen mikrokapsüllerin nem miktarı ve su aktivitesi literatürdeki örneklerle karşılaştırıldığı zaman kabul edilebilir bir seviyede olduğu saptandı.
e) Oksidatif stabilite açısından değerlendirildiğinde roka tohumu gamının konsantrasyonu arrtıkça oksidasyona karşı dirençte artış gösterdi.
f) FTIR analizi sonucunda keten tohumu yağının roka tohumu gamıyla etkileşim göstererek mikrokapsüllemenin belirli bir şekilde gerçekleştirildiği anlaşıldı.

g) Mikrokapsüllerin enkapsülasyon etkinlikleri % 38-52 arasında değişim gösterdi. Örnekler arasında istatistiksel olarak anlamlı bir fark değildi.

Sonuçlar değerlendirildiğinde roka tohumu gamının enkapsülayon işlemlerinde potansiyel duvar malzemesi olarak kullanımı ortaya konulmuştur. Roka tohumu gamının daha güçlü bir taşıyıcı ajan olarak kullanılması için emülsifikasyon işleminde farklı parametrelerin denenmesi ile damlacık boyutunun azalmasının sağlanması, farklı duvar materyaller ile formülasyonların oluşturulması ve enkapsülasyon için yeterli yağ/duvar oranının denenmesi gerekmektedir.

Roka tohumu gamı su içinde yağ emülsiyonlarında yüksek kıvam artırma, jelleşme kapasitesi, gelişmiş viskoelastik özellikler ve kayma inceltme davranışı sağlama konusunda bu çalışma ile kullanım potansiyelini ortaya koymuştur. Bu doğrultuda roka tohumu gamı mayonez ve salata sosları gibi yüksek yağ içeriğine sahip su içinde yağ emülsiyonlarının yağ içeriğini azaltmak adına ileriki aşamalarda roka tohumu gamının bir yağ ikamesi olarak kullanım potansiyeli de araştırılabilir.

KAYNAKÇA

[1] P. A. Williams ve G. O. Phillips, "1 - Introduction to food hydrocolloids," Handbook of Hydrocolloids (Second Edition), G. O. Phillips ve P. A. Williams, eds., pp. 1-22: Woodhead Publishing, 2009.

[2] J.-M. Li ve S.-P. Nie, "The functional and nutritional aspects of hydrocolloids in foods," Food Hydrocolloids, vol. 53, pp. 46-61, 2016/02/01/, 2016.

[3] P. R. Bhushette ve U. S. Annapure, "Physicochemical, functional and rheological investigation of Soymida febrifuga exudate gum," International Journal of Biological Macromolecules, vol. 111, pp. 1116-1123, 2018/05/01/, 2018.

[4] M. Dabestani, R. Kadkhodaee, G. O. Phillips ve S. Abbasi, "Persian gum: A comprehensive review on its physicochemical and functional properties," Food Hydrocolloids, vol. 78, pp. 92-99, 2018/05/01/, 2018.

[5] S. Balaghi, M. A. Mohammadifar ve A. Zargaraan, "Physicochemical and Rheological Characterization of Gum Tragacanth Exudates from Six Species of Iranian Astragalus," Food Biophysics, vol. 5, no. 1, pp. 59-71, 2010/03/01, 2010.

[6] L. Wang, H.-M. Liu, C.-Y. Zhu, A.-J. Xie, B.-J. Ma ve P.-Z. Zhang, "Chinese quince seed gum: Flow behaviour, thixotropy and viscoelasticity," Carbohydrate Polymers, vol. 209, pp. 230-238, 2019/04/01/, 2019.

[7] P. A. Dakia, C. Blecker, C. Robert, B. Wathelet ve M. Paquot, "Composition and physicochemical properties of locust bean gum extracted from whole seeds by acid or water dehulling pre-treatment," Food Hydrocolloids, vol. 22, no. 5, pp. 807-818, 2008/07/01/, 2008.

[8] E. Dickinson, "Hydrocolloids at interfaces and the influence on the properties of dispersed systems," Food Hydrocolloids, vol. 17, no. 1, pp. 25-39, 2003/01/01/, 2003.

[9] Y. Brummer, W. Cui ve Q. Wang, "Extraction, purification and physicochemical characterization of fenugreek gum," Food Hydrocolloids, vol. 17, no. 3, pp. 229-236, 2003/05/01/, 2003.

[10] J. P. Doyle, G. Lyons ve E. R. Morris, "New proposals on "hyperentanglement" of galactomannans: Solution viscosity of fenugreek gum under neutral and alkaline conditions," Food Hydrocolloids, vol. 23, no. 6, pp. 1501-1510, 2009/08/01/, 2009.

[11] P. V. Gadkari, S. Tu, K. Chiyarda, M. J. T. Reaney ve S. Ghosh, "Rheological characterization of fenugreek gum and comparison with other galactomannans," International Journal of Biological Macromolecules, vol. 119, pp. 486-495, 2018/11/01/, 2018.

[12] V. Nedovic, A. Kalusevic, V. Manojlovic, S. Levic ve B. Bugarski, "An overview of encapsulation technologies for food applications," Procedia Food Science, vol. 1, pp. 1806-1815, 2011/01/01/, 2011.

[13] M. Vemmer ve A. V. Patel, "Review of encapsulation methods suitable for microbial biological control agents," Biological Control, vol. 67, no. 3, pp. 380-389, 2013/12/01/, 2013.

[14] F. Tatar, M. T. Tunç, M. Dervisoglu, D. Cekmecelioglu ve T. Kahyaoglu, "Evaluation of hemicellulose as a coating material with gum arabic for food microencapsulation," Food Research International, vol. 57, pp. 168-175, 2014/03/01/, 2014.

[15] S. Gouin, "Microencapsulation: industrial appraisal of existing technologies and trends," Trends in Food Science & Technology, vol. 15, no. 7, pp. 330-347, 2004/07/01/, 2004.

[16] S. Beikzadeh, A. Khezerlou, S. M. Jafari, Z. Pilevar ve A. M. Mortazavian, "Seed mucilages as the functional ingredients for biodegradable films and edible coatings in the food industry," Advances in Colloid and Interface Science, vol. 280, pp. 102164, 2020/06/01/, 2020.

[17] J. Charve ve G. A. Reineccius, "Encapsulation Performance of Proteins and Traditional Materials for Spray Dried Flavors," Journal of Agricultural and Food Chemistry, vol. 57, no. 6, pp. 2486-2492, 2009/03/25, 2009.

[18] H. C. F. Carneiro, R. V. Tonon, C. R. F. Grosso ve M. D. Hubinger, "Encapsulation efficiency and oxidative stability of flaxseed oil microencapsulated by spray drying using different combinations of wall materials," Journal of Food Engineering, vol. 115, no. 4, pp. 443-451, 2013/04/01/, 2013.

[19] S. M. Jafari, E. Assadpoor, Y. He ve B. Bhandari, "Encapsulation Efficiency of Food Flavours and Oils during Spray Drying," Drying Technology, vol. 26, no. 7, pp. 816-835, 2008/07/01, 2008.

[20] A. Koocheki, S. M. A. Razavi ve M. A. Hesarinejad, "Effect of Extraction Procedures on Functional Properties of Eruca sativa Seed Mucilage," Food Biophysics, vol. 7, no. 1, pp. 84-92, 2012/03/01, 2012.

[21] P. Kaushik, K. Dowling, S. McKnight, C. J. Barrow ve B. Adhikari, "Microencapsulation of flaxseed oil in flaxseed protein and flaxseed gum complex coacervates," Food Research International, vol. 86, pp. 1-8, 2016/08/01/, 2016.

[22] H. Kiani, M. E. Mousavi, H. Razavi ve E. R. Morris, "Effect of gellan, alone and in combination with high-methoxy pectin, on the structure and stability of doogh, a yogurt-based Iranian drink," Food Hydrocolloids, vol. 24, no. 8, pp. 744-754, 2010/11/01/, 2010.

[23] M. A. Brennan, I. Merts, J. Monro, J. Woolnough ve C. S. Brennan, "Impact of Guar and Wheat Bran on the Physical and Nutritional Quality of Extruded Breakfast Cereals," Starch - Stärke, vol. 60, no. 5, pp. 248-256, 2008/05/01, 2008.

[24] F. Javidi, S. M. A. Razavi, F. Behrouzian ve A. Alghooneh, "The influence of basil seed gum, guar gum and their blend on the rheological, physical and sensory properties of low fat ice cream," Food Hydrocolloids, vol. 52, pp. 625-633, 2016/01/01/, 2016.

[25] M. Krystyjan, M. Sikora, G. Adamczyk ve P. Tomasik, "Caramel sauces thickened with combinations of potato starch and xanthan gum," Journal of Food Engineering, vol. 112, no. 1, pp. 22-28, 2012/09/01/, 2012.

[26] S. Parija, M. Misra ve A. K. Mohanty, "STUDIES OF NATURAL GUM ADHESIVE EXTRACTS: AN OVERVIEW," Journal of Macromolecular Science, Part C, vol. 41, no. 3, pp. 175-197, 2001/07/31, 2001.

[27] V. Rana, P. Rai, A. K. Tiwary, R. S. Singh, J. F. Kennedy ve C. J. Knill, "Modified gums: Approaches and applications in drug delivery," Carbohydrate Polymers, vol. 83, no. 3, pp. 1031-1047, 2011/01/30/, 2011.

[28] H. Mirhosseini ve B. T. Amid, "A review study on chemical composition and molecular structure of newly plant gum exudates and seed gums," Food Research International, vol. 46, no. 1, pp. 387-398, 2012/04/01/, 2012.

[29] M. A. Cerqueira, Á. M. Lima, J. A. Teixeira, R. A. Moreira ve A. A. Vicente, "Suitability of novel galactomannans as edible coatings for tropical fruits," Journal of Food Engineering, vol. 94, no. 3, pp. 372-378, 2009/10/01/, 2009.

[30] A. Lazaridou, C. G. Biliaderis ve M. S. Izydorczyk, "Structural characteristics and rheological properties of locust bean galactomannans: a comparison of samples from different carob tree populations," Journal of the Science of Food and Agriculture, vol. 81, no. 1, pp. 68-75, 2001/01/01, 2001.

[31] G. Robinson, S. B. Ross-Murphy ve E. R. Morris, "Viscosity-molecular weight relationships, intrinsic chain flexibility, and dynamic solution properties of guar galactomannan," Carbohydrate Research, vol. 107, no. 1, pp. 17-32, 1982/09/01/, 1982.

[32] M. Rinaudo, "Main properties and current applications of some polysaccharides as biomaterials," Polymer International, vol. 57, no. 3, pp. 397-430, 2008/03/01, 2008.

[33] C. Liu, F. Lei, P. Li, J. Jiang ve K. Wang, "Borax crosslinked fenugreek galactomannan hydrogel as potential water-retaining agent in agriculture," Carbohydrate Polymers, vol. 236, pp. 116100, 2020/05/15/, 2020.

[34] J. X. Jiang, L. W. Zhu, W. M. Zhang ve R. C. Sun, "Characterization of Galactomannan Gum from Fenugreek (Trigonella foenum-graecum) Seeds and Its Rheological Properties," International Journal of Polymeric Materials and Polymeric Biomaterials, vol. 56, no. 12, pp. 1145-1154, 2007/09/12, 2007.

[35] N. D. Işıklı ve E. Karababa, "Rheological characterization of fenugreek paste (çemen)," Journal of Food Engineering, vol. 69, no. 2, pp. 185-190, 2005/07/01/, 2005.

[36] O. K. Achi ve N. I. Okolo, "The chemical composition and some physical properties of a water-soluble gum from Prosopis africana seeds," International Journal of Food Science & Technology, vol. 39, no. 4, pp. 431-436, 2004/04/01, 2004.

[37] A. M. Estévez, C. Sáenz, M. L. Hurtado, B. Escobar, S. Espinoza ve C. Suárez, "Extraction methods and some physical properties of mesquite (Prosopis chilensis (Mol) Stuntz) seed gum," Journal of the Science of Food and Agriculture, vol. 84, no. 12, pp. 1487-1492, 2004/09/01, 2004.

[38] C. I. Beristain, H. S. García ve E. J. Vernon-Carter, "Spray-dried Encapsulation of Cardamom (Elettaria cardamomum) Essential Oil with Mesquite (Prosopis juliflora) Gum," LWT - Food Science and Technology, vol. 34, no. 6, pp. 398-401, 2001/09/01/, 2001.

[39] D. M. Jiménez-Aguilar, A. E. Ortega-Regules, J. D. Lozada-Ramírez, M. C. I. Pérez-Pérez, E. J. Vernon-Carter ve J. Welti-Chanes, "Color and chemical stability of spray-dried blueberry extract using mesquite gum as wall material," Journal of Food Composition and Analysis, vol. 24, no. 6, pp. 889-894, 2011/09/01/, 2011.

[40] V. D. Prajapati, G. K. Jani, N. G. Moradiya, N. P. Randeria ve B. J. Nagar, "Locust bean gum: A versatile biopolymer," Carbohydrate Polymers, vol. 94, no. 2, pp. 814-821, 2013/05/15/, 2013.

[41] M. R. Segura-Campos, N. Ciau-Solís, G. Rosado-Rubio, L. Chel-Guerrero ve D. Betancur-Ancona, "Chemical and Functional Properties of Chia Seed (Salvia hispanica L.) Gum," International Journal of Food Science, vol. 2014, pp. 241053, 2014/03/23, 2014.

[42] M. I. Capitani, L. J. Corzo-Rios, L. A. Chel-Guerrero, D. A. Betancur-Ancona, S. M. Nolasco ve M. C. Tomás, "Rheological properties of aqueous dispersions of chia (Salvia hispanica L.) mucilage," Journal of Food Engineering, vol. 149, pp. 70-77, 2015/03/01/, 2015.

[43] Y. P. Timilsena, R. Adhikari, S. Kasapis ve B. Adhikari, "Molecular and functional characteristics of purified gum from Australian chia seeds," Carbohydrate Polymers, vol. 136, pp. 128-136, 2016/01/20/, 2016.

[44] M. d. l. P. Salgado-Cruz, G. Calderón-Domínguez, J. Chanona-Pérez, R. R. Farrera-Rebollo, J. V. Méndez-Méndez ve M. Díaz-Ramírez, "Chia (Salvia hispanica L.) seed mucilage release characterisation. A microstructural and image analysis study," Industrial Crops and Products, vol. 51, pp. 453-462, 2013/11/01/, 2013.

[45] L. Bai, S. Huan, Z. Li ve D. J. McClements, "Comparison of emulsifying properties of food-grade polysaccharides in oil-in-water emulsions: Gum arabic, beet pectin, and corn fiber gum," Food Hydrocolloids, vol. 66, pp. 144-153, 2017/05/01/, 2017.

[46] S. Coelho, S. Moreno-Flores, J. L. Toca-Herrera, M. A. N. Coelho, M. Carmo Pereira ve S. Rocha, "Nanostructure of polysaccharide complexes," Journal

of Colloid and Interface Science, vol. 363, no. 2, pp. 450-455, 2011/11/15/, 2011.

[47] A. M. Islam, G. O. Phillips, A. Sljivo, M. J. Snowden ve P. A. Williams, "A review of recent developments on the regulatory, structural and functional aspects of gum arabic," Food Hydrocolloids, vol. 11, no. 4, pp. 493-505, 1997/10/01/, 1997.

[48] A. G. Estrada-Fernández, A. Román-Guerrero, R. Jiménez-Alvarado, C. Lobato-Calleros, J. Alvarez-Ramirez ve E. J. Vernon-Carter, "Stabilization of oil-in-water-in-oil (O1/W/O2) Pickering double emulsions by soluble and insoluble whey protein concentrate-gum Arabic complexes used as inner and outer interfaces," Journal of Food Engineering, vol. 221, pp. 35-44, 2018/03/01/, 2018.

[49] S. W. Cui, Food carbohydrates: chemistry, physical properties, and applications: CRC press, 2005.

[50] B. Singh, A. Kumar ve Rohit, "Synthesis and characterization of alginate and sterculia gum based hydrogel for brain drug delivery applications," International Journal of Biological Macromolecules, vol. 148, pp. 248-257, 2020/04/01/, 2020.

[51] K. Y. Qian, S. W. Cui, Y. Wu ve H. D. Goff, "Flaxseed gum from flaxseed hulls: Extraction, fractionation, and characterization," Food Hydrocolloids, vol. 28, no. 2, pp. 275-283, 2012/08/01/, 2012.

[52] V. D. Prajapati, G. K. Jani, N. G. Moradiya ve N. P. Randeria, "Pharmaceutical applications of various natural gums, mucilages and their modified forms," Carbohydrate Polymers, vol. 92, no. 2, pp. 1685-1699, 2013/02/15/, 2013.

[53] Y. Liu, F. Lei, L. He, W. Xu ve J. Jiang, "Physicochemical characterization of galactomannans extracted from seeds of Gleditsia sinensis Lam and fenugreek. Comparison with commercial guar gum," International Journal of Biological Macromolecules, 2020/04/27/, 2020.

[54] G. Garg ve V. Sharma, "Eruca sativa (L.): Botanical Description, Crop Improvement, and Medicinal Properties," Journal of Herbs, Spices & Medicinal Plants, vol. 20, no. 2, pp. 171-182, 2014/04/03, 2014.

[55] J. Barillari, D. Canistro, M. Paolini, F. Ferroni, G. F. Pedulli, R. Iori ve L. Valgimigli, "Direct Antioxidant Activity of Purified Glucoerucin, the Dietary Secondary Metabolite Contained in Rocket (Eruca sativa Mill.) Seeds and Sprouts," Journal of Agricultural and Food Chemistry, vol. 53, no. 7, pp. 2475-2482, 2005/04/01, 2005.

[56] M. W. Mumtaz, H. Mukhtar, U. A. Dilawer, S. M. Hussain, M. Hussain, M. Iqbal, A. Adnan ve J. Nisar, "Biocatalytic transesterification of Eruca sativa oil for the production of biodiesel," Biocatalysis and Agricultural Biotechnology, vol. 5, pp. 162-167, 2016/01/01/, 2016.

[57] J. Varga, S. A. Apahidean, A. Lujerdean ve A. Bunea, "Study of Some Agrotehnological Characteristics of Rocket (Eruca sativa Mill)," Bulletin of University of Agricultural Sciences and Veterinary Medicine Cluj-Napoca.

Horticulture; Vol 66, No 1 (2009): Bulletin of University of Agricultural Sciences and Veterinary Medicine Cluj-Napoca. Horticulture, 2010.

[58] P. Golkar ve M. A. Bakhtiari, "Evaluation of genetic diversity in the world collection of Eruca sativa L. using oil content, fatty acids and molecular markers," Industrial Crops and Products, vol. 148, pp. 112280, 2020/06/01/, 2020.

[59] N. Altwaijry, T. A. El-Masry, B. Alotaibi, E. Tousson ve A. Saleh, "Therapeutic effects of rocket seeds (Eruca sativa L.) against testicular toxicity and oxidative stress caused by silver nanoparticles injection in rats," Environmental Toxicology, vol. n/a, no. n/a, 2020/04/15, 2020.

[60] R. Newkirk, "Flax feed industry guide," Flax Canada, pp. 1-24, 2015.

[61] M. Vaisey-Genser ve D. H. Morris, "Introduction: history of the cultivation and uses of flaxseed," Flax, pp. 13-33: CRC Press, 2003.

[62] A. Ansari, J. Razmjoo ve H. Karimmojeni, "Mycorrhizal colonization and seed treatment with salicylic acid to improve physiological traits and tolerance of flaxseed (Linum usitatissimum L.) plants grown under drought stress," Acta Physiologiae Plantarum, vol. 38, no. 2, pp. 34, 2016/01/11, 2016.

[63] K. Singh, D. Mridula, J. Rehal ve P. Barnwal, "Flaxseed: a potential source of food, feed and fiber," Critical reviews in food science and nutrition, vol. 51, no. 3, pp. 210-222, 2011.

[64] H. İşleroğlu, Z. Yıldırım ve M. Yıldırım, "Flaxseed as a functional food," Journal of Agricultural Faculty of Gaziosmanpasa University, vol. 22, no. 2, pp. 23-30, 2005.

[65] Z.-S. Zhang, L.-J. Wang, D. Li, S.-S. Jiao, X. D. Chen ve Z.-H. Mao, "Ultrasound-assisted extraction of oil from flaxseed," Separation and Purification Technology, vol. 62, no. 1, pp. 192-198, 2008.

[66] P. Kaushik, K. Dowling, C. J. Barrow ve B. Adhikari, "Microencapsulation of omega-3 fatty acids: A review of microencapsulation and characterization methods," Journal of Functional Foods, vol. 19, pp. 868-881, 2015/12/01/, 2015.

[67] O. Shadyro, A. Sosnovskaya ve I. Edimecheva, "Effect of biologically active substances on oxidative stability of flaxseed oil," Journal of Food Science and Technology, vol. 57, no. 1, pp. 243-252, 2020/01/01, 2020.

[68] S. A. Vieira, G. Zhang ve E. A. Decker, "Biological Implications of Lipid Oxidation Products," Journal of the American Oil Chemists' Society, vol. 94, no. 3, pp. 339-351, 2017/03/01, 2017.

[69] E. N. Frankel, Lipid oxidation: Elsevier, 2014.

[70] A. Kolakowska, "Lipid oxidation in food systems," Chemical and functional properties of food lipids, pp. 133-165, 2003.

[71] F. Tian, E. A. Decker ve J. M. Goddard, "Controlling lipid oxidation of food by active packaging technologies," Food & function, vol. 4, no. 5, pp. 669-680, 2013.

[72] R. Arshady, “Microcapsules for food,” Journal of Microencapsulation, vol. 10, no. 4, pp. 413-435, 1993/01/01, 1993.

[73] A. Gharsallaoui, G. Roudaut, O. Chambin, A. Voilley ve R. Saurel, “Applications of spray-drying in microencapsulation of food ingredients: An overview,” Food Research International, vol. 40, no. 9, pp. 1107-1121, 2007/11/01/, 2007.

[74] W. McKernan ve M. WM, “Microencapsulation in the flavour industry. II,” 1973.

[75] S. Gouin, “Microencapsulation: industrial appraisal of existing technologies and trends,” Trends in food science & technology, vol. 15, no. 7-8, pp. 330-347, 2004.

[76] M. Augustin, L. Sanguansri, C. Margetts ve B. Young, “Microencapsulating food ingredients,” Food Australia, vol. 53, no. 6, pp. 220-223, 2001.

[77] C. Brazel, “Microencapsulation: offering solutions for the food industry,” Cereal foods world, vol. 44, no. 6, pp. 388-393, 1999.

[78] V. Kaushik ve Y. H. Roos, “Limonene encapsulation in freeze-drying of gum Arabic–sucrose–gelatin systems,” LWT - Food Science and Technology, vol. 40, no. 8, pp. 1381-1391, 2007/10/01/, 2007.

[79] K. G. H. Desai ve H. Jin Park, “Recent developments in microencapsulation of food ingredients,” Drying technology, vol. 23, no. 7, pp. 1361-1394, 2005.

[80] C. Vega ve Y. Roos, “Invited review: spray-dried dairy and dairy-like emulsions—compositional considerations,” Journal of dairy science, vol. 89, no. 2, pp. 383-401, 2006.

[81] M. Koç, M. Sakin ve F. KAYMAK-ERTEKİN, “Mikroenkapsülasyon ve Gıda Teknolojisinde Kullanımı,” Pamukkale University Journal of Engineering Sciences, vol. 16, no. 1, 2010.

[82] N. Łozińska, A. Głowacz-Różyńska, W. Artichowicz, Y. Lu ve C. Jungnickel, “Microencapsulation of fish oil – determination of optimal wall material and encapsulation methodology,” Journal of Food Engineering, vol. 268, pp. 109730, 2020/03/01/, 2020.

[83] S. A. Hogan, E. D. O'Riordan ve M. O'Sullivan, “Microencapsulation and oxidative stability of spray-dried fish oil emulsions,” Journal of Microencapsulation, vol. 20, no. 5, pp. 675-688, 2003/01/01, 2003.

[84] M. A. Alcântara, A. E. A. d. Lima, A. L. M. Braga, R. V. Tonon, M. C. Galdeano, M. d. C. Mattos, A. I. S. Brígida, R. Rosenhaim, N. A. d. Santos ve A. M. T. d. M. Cordeiro, “Influence of the emulsion homogenization method on the stability of chia oil microencapsulated by spray drying,” Powder Technology, vol. 354, pp. 877-885, 2019/09/01/, 2019.

[85] S. C. Chew, C. P. Tan ve K. L. Nyam, “Microencapsulation of refined kenaf (Hibiscus cannabinus L.) seed oil by spray drying using β-cyclodextrin/gum arabic/sodium caseinate,” Journal of Food Engineering, vol. 237, pp. 78-85, 2018/11/01/, 2018.

[86] M. Premi ve H. K. Sharma, “Effect of different combinations of maltodextrin, gum arabic and whey protein concentrate on the encapsulation behavior and oxidative stability of spray dried drumstick (Moringa oleifera) oil,” International Journal of Biological Macromolecules, vol. 105, pp. 1232-1240, 2017/12/01/, 2017.

[87] W. Kolanowski, M. Ziolkowski, J. Weißbrodt, B. Kunz ve G. Laufenberg, “Microencapsulation of fish oil by spray drying--impact on oxidative stability. Part 1,” European Food Research and Technology, vol. 222, no. 3-4, pp. 336-342, 2006.

[88] M. S. Álvarez Cerimedo, M. Cerdeira, R. J. Candal ve M. L. Herrera, “Microencapsulation of a Low-trans Fat in Trehalose as Affected by Emulsifier Type,” Journal of the American Oil Chemists' Society, vol. 85, no. 9, pp. 797-807, 2008/09/01, 2008.

[89] C. Wandrey, A. Bartkowiak ve S. E. Harding, "Materials for encapsulation," Encapsulation technologies for active food ingredients and food processing, pp. 31-100: Springer, 2010.

[90] J. Sun, W.-y. Liu, M.-q. Feng, X.-l. Xu ve G.-h. Zhou, “Characterization of olive oil emulsions stabilized by flaxseed gum,” Journal of Food Engineering, vol. 247, pp. 74-79, 2019/04/01/, 2019.

[91] A. Santana, L. Kurozawa, R. Oliveira ve K. Park, “Spray Drying of Pequi Pulp: Process Performance and Physicochemical and Nutritional Properties of the Powdered Pulp,” Brazilian Archives of Biology and Technology, vol. 59, 2016.

[92] P. Robert, P. García ve C. Fredes, "Drying and preservation of polyphenols," Advances in technologies for producing food-relevant polyphenols, pp. 281-302: CRC Press/Taylor and Francis Group, USA, 2017.

[93] Z. Aksoylu Özbek ve P. Günç Ergönül, “Optimisation of wall material composition of freeze–dried pumpkin seed oil microcapsules: Interaction effects of whey protein, maltodextrin, and gum Arabic by D–optimal mixture design approach,” Food Hydrocolloids, vol. 107, pp. 105909, 2020/10/01/, 2020.

[94] D. Wallick, "Cellulose Polymers in Microencapsulation of Food Additives," Microencapsulation in the Food Industry, pp. 181-193: Elsevier, 2014.

[95] M. Akhtar ve E. Dickinson, “Whey protein–maltodextrin conjugates as emulsifying agents: An alternative to gum arabic,” Food Hydrocolloids, vol. 21, no. 4, pp. 607-616, 2007/06/01/, 2007.

[96] S. Akhavan Mahdavi, S. M. Jafari, E. Assadpoor ve D. Dehnad, “Microencapsulation optimization of natural anthocyanins with maltodextrin, gum Arabic and gelatin,” International Journal of Biological Macromolecules, vol. 85, pp. 379-385, 2016/04/01/, 2016.

[97] J. S. F. de Araújo, E. L. de Souza, J. R. Oliveira, A. C. A. Gomes, L. R. V. Kotzebue, D. L. da Silva Agostini, D. L. V. de Oliveira, S. E. Mazzetto, A. L. da Silva ve M. T. Cavalcanti, “Microencapsulation of sweet orange essential oil

(Citrus aurantium var. dulcis) by liophylization using maltodextrin and maltodextrin/gelatin mixtures: Preparation, characterization, antimicrobial and antioxidant activities," International Journal of Biological Macromolecules, vol. 143, pp. 991-999, 2020/01/15/, 2020.

[98] R. V. d. B. Fernandes, S. V. Borges ve D. A. Botrel, "Gum arabic/starch/maltodextrin/inulin as wall materials on the microencapsulation of rosemary essential oil," Carbohydrate Polymers, vol. 101, pp. 524-532, 2014/01/30/, 2014.

[99] M. I Ré, "Microencapsulation by spray drying," Drying technology, vol. 16, no. 6, pp. 1195-1236, 1998.

[100] I. Siemons, R. G. A. Politiek, R. M. Boom, R. G. M. van der Sman ve M. A. I. Schutyser, "Dextrose equivalence of maltodextrins determines particle morphology development during single sessile droplet drying," Food Research International, vol. 131, pp. 108988, 2020/05/01/, 2020.

[101] P. H. Campelo, E. L. do Carmo, R. D. Zacarias, M. I. Yoshida, V. P. Ferraz, R. V. de Barros Fernandes, D. A. Botrel ve S. V. Borges, "Effect of dextrose equivalent on physical and chemical properties of lime essential oil microparticles," Industrial Crops and Products, vol. 102, pp. 105-114, 2017/08/01/, 2017.

[102] A. Abd Ghani, S. Adachi, H. Shiga, T. L. Neoh, S. Adachi ve H. Yoshii, "Effect of different dextrose equivalents of maltodextrin on oxidation stability in encapsulated fish oil by spray drying," Bioscience, biotechnology, and biochemistry, vol. 81, no. 4, pp. 705-711, 2017.

[103] N. Malik, S. Muttakin, E. Lopez-Quiroga, N. J. Watson, P. J. Fryer, S. Bakalis ve O. Gouseti, "Microstructure and reconstitution of freeze-dried gum Arabic at a range of concentrations and primary drying temperatures," Food Hydrocolloids, vol. 104, pp. 105712, 2020/07/01/, 2020.

[104] R. Tonon, C. Grosso ve M. Hubinger, "Influence of emulsion composition and inlet air temperature on the microencapsulation of flaxseed oil by spray drying," Food Research International, vol. 44, pp. 282-289, 01/31, 2011.

[105] J. F. Kennedy, G. O. Phillips ve P. A. Williams, Gum arabic: Royal Society of Chemistry, 2012.

[106] Y.-J. Jeon, T. Vasanthan, F. Temelli ve B.-K. Song, "The suitability of barley and corn starches in their native and chemically modified forms for volatile meat flavor encapsulation," Food Research International, vol. 36, no. 4, pp. 349-355, 2003.

[107] G. A. Reineccius, "Spray-drying of food flavors," ACS Publications, 1988.

[108] D. Kanakdande, R. Bhosale ve R. S. Singhal, "Stability of cumin oleoresin microencapsulated in different combination of gum arabic, maltodextrin and modified starch," Carbohydrate Polymers, vol. 67, no. 4, pp. 536-541, 2007/02/19/, 2007.

[109] S. Krishnan, R. Bhosale ve R. S. Singhal, "Microencapsulation of cardamom oleoresin: Evaluation of blends of gum arabic, maltodextrin and a modified starch as wall materials," Carbohydrate Polymers, vol. 61, no. 1, pp. 95-102, 2005/07/04/, 2005.

[110] S. Krishnan, A. C. Kshirsagar ve R. S. Singhal, "The use of gum arabic and modified starch in the microencapsulation of a food flavoring agent," Carbohydrate Polymers, vol. 62, no. 4, pp. 309-315, 2005/12/14/, 2005.

[111] H. Arshad, T. M. Ali ve A. Hasnain, "Comparative study on efficiency of nutmeg microencapsulation (freeze-drying method) using native and OSA sorghum starch as wall materials in combination with gum arabic," Cereal Chemistry, vol. 97, no. 3, pp. 589-600, 2020/05/01, 2020.

[112] L. B. Pham, B. Wang, B. Zisu, T. Truong ve B. Adhikari, "Microencapsulation of flaxseed oil using polyphenol-adducted flaxseed protein isolate-flaxseed gum complex coacervates," Food Hydrocolloids, vol. 107, pp. 105944, 2020/10/01/, 2020.

[113] P. B. Tambade, M. Sharma, A. K. Singh ve B. Surendranath, "Flaxseed Oil Microcapsules Prepared Using Soy Protein Isolate and Modified Starch: Process Optimization, Characterization and In Vitro Release Behaviour," Agricultural Research, 2020/03/17, 2020.

[114] S. Quispe-Condori, M. D. A. Saldaña ve F. Temelli, "Microencapsulation of flax oil with zein using spray and freeze drying," LWT - Food Science and Technology, vol. 44, no. 9, pp. 1880-1887, 2011/11/01/, 2011.

[115] S. A. Fioramonti, A. C. Rubiolo ve L. G. Santiago, "Characterisation of freeze-dried flaxseed oil microcapsules obtained by multilayer emulsions," Powder Technology, vol. 319, pp. 238-244, 2017/09/01/, 2017.

[116] A. C. Karaca, M. Nickerson ve N. H. Low, "Microcapsule production employing chickpea or lentil protein isolates and maltodextrin: Physicochemical properties and oxidative protection of encapsulated flaxseed oil," Food Chemistry, vol. 139, no. 1, pp. 448-457, 2013/08/15/, 2013.

[117] S. Liu, N. H. Low ve M. T. Nickerson, "Entrapment of Flaxseed Oil Within Gelatin-Gum Arabic Capsules," Journal of the American Oil Chemists' Society, vol. 87, no. 7, pp. 809-815, 2010/07/01, 2010.

[118] R. V. Tonon, R. B. Pedro, C. R. F. Grosso ve M. D. Hubinger, "Microencapsulation of Flaxseed Oil by Spray Drying: Effect of Oil Load and Type of Wall Material," Drying Technology, vol. 30, no. 13, pp. 1491-1501, 2012/10/01, 2012.

[119] M. A. Alcântara, I. de Lima Brito Polari, B. R. L. de Albuquerque Meireles, A. E. A. de Lima, J. C. da Silva Junior, É. de Andrade Vieira, N. A. dos Santos ve A. M. T. de Magalhães Cordeiro, "Effect of the solvent composition on the profile of phenolic compounds extracted from chia seeds," Food Chemistry, vol. 275, pp. 489-496, 2019/03/01/, 2019.

[120] S. M. Jafari, Y. He ve B. Bhandari, "Production of sub-micron emulsions by ultrasound and microfluidization techniques," Journal of Food Engineering, vol. 82, no. 4, pp. 478-488, 2007/10/01/, 2007.

[121] S. M. Jafari, E. Assadpoor, Y. He ve B. Bhandari, "Re-coalescence of emulsion droplets during high-energy emulsification," Food Hydrocolloids, vol. 22, no. 7, pp. 1191-1202, 2008/10/01/, 2008.

[122] B. Yoo ve M. A. Rao, "CREEP AND DYNAMIC RHEOLOGICAL BEHAVIOR OF TOMATO CONCENTRATES: EFFECT OF CONCENTRATION AND FINISHER SCREEN SIZE," Journal of Texture Studies, vol. 27, no. 4, pp. 451-459, 1996/09/01, 1996.

[123] Z. H. Tekin, E. Avci, S. Karasu ve O. S. Toker, "Rapid determination of emulsion stability by rheology-based thermal loop test," LWT, vol. 122, pp. 109037, 2020/03/01/, 2020.

[124] D. J. McClements, "Critical Review of Techniques and Methodologies for Characterization of Emulsion Stability," Critical Reviews in Food Science and Nutrition, vol. 47, no. 7, pp. 611-649, 2007/09/27, 2007.

[125] J. Floury, A. Desrumaux ve J. Lardières, "Effect of high-pressure homogenization on droplet size distributions and rheological properties of model oil-in-water emulsions," Innovative Food Science & Emerging Technologies, vol. 1, no. 2, pp. 127-134, 2000/06/01/, 2000.

[126] E. K. Silva, V. M. Azevedo, R. L. Cunha, M. D. Hubinger ve M. A. A. Meireles, "Ultrasound-assisted encapsulation of annatto seed oil: Whey protein isolate versus modified starch," Food Hydrocolloids, vol. 56, pp. 71-83, 2016/05/01/, 2016.

[127] R. Tonon, R. Pedro, C. Grosso ve M. Hubinger, "Microencapsulation of Flaxseed Oil by Spray Drying: Effect of Oil Load and Type of Wall Material," Drying Technology, vol. 30, pp. 1491, 09/17, 2012.

[128] B. B. Paulo, I. D. Alvim, G. Reineccius ve A. S. Prata, "Performance of oil-in-water emulsions stabilized by different types of surface-active components," Colloids and Surfaces B: Biointerfaces, vol. 190, pp. 110939, 2020/06/01/, 2020.

[129] E. C. Frascareli, V. M. Silva, R. V. Tonon ve M. D. Hubinger, "Effect of process conditions on the microencapsulation of coffee oil by spray drying," Food and Bioproducts Processing, vol. 90, no. 3, pp. 413-424, 2012/07/01/, 2012.

[130] A. A. D. Meirelles, A. L. R. Costa ve R. L. Cunha, "Cellulose nanocrystals from ultrasound process stabilizing O/W Pickering emulsion," International Journal of Biological Macromolecules, vol. 158, pp. 75-84, 2020/09/01/, 2020.

[131] F. Holgado, G. Márquez-Ruiz, M. Victoria Ruiz-Méndez ve J. Velasco, "Influence of oil droplet size on the oxidative stability of the free and encapsulated fractions of freeze-dried microencapsulated sunflower oil,"

International Journal of Food Science & Technology, vol. 55, no. 2, pp. 833-840, 2020/02/01, 2020.

[132] Q. Zhao, Z. Long, J. Kong, T. Liu, D. Sun-Waterhouse ve M. Zhao, "Sodium caseinate/flaxseed gum interactions at oil–water interface: Effect on protein adsorption and functions in oil-in-water emulsion," Food Hydrocolloids, vol. 43, pp. 137-145, 2015/01/01/, 2015.

[133] C. Qiu, M. Zhao ve D. J. McClements, "Improving the stability of wheat protein-stabilized emulsions: Effect of pectin and xanthan gum addition," Food Hydrocolloids, vol. 43, pp. 377-387, 2015/01/01/, 2015.

[134] V. Vajihinejad, S. P. Gumfekar, B. Bazoubandi, Z. Rostami Najafabadi ve J. B. P. Soares, "Water Soluble Polymer Flocculants: Synthesis, Characterization, and Performance Assessment," Macromolecular Materials and Engineering, vol. 304, no. 2, pp. 1800526, 2019/02/01, 2019.

[135] L. Day, M. Xu, P. Hoobin, I. Burgar ve M. A. Augustin, "Characterisation of fish oil emulsions stabilised by sodium caseinate," Food Chemistry, vol. 105, no. 2, pp. 469-479, 2007/01/01/, 2007.

[136] A. Koocheki, R. Kadkhodaee, S. A. Mortazavi, F. Shahidi ve A. R. Taherian, "Influence of Alyssum homolocarpum seed gum on the stability and flow properties of O/W emulsion prepared by high intensity ultrasound," Food Hydrocolloids, vol. 23, no. 8, pp. 2416-2424, 2009/12/01/, 2009.

[137] C. Chung ve D. J. McClements, "Structure–function relationships in food emulsions: Improving food quality and sensory perception," Food Structure, vol. 1, no. 2, pp. 106-126, 2014/04/01/, 2014.

[138] B. Ozturk ve D. J. McClements, "Progress in natural emulsifiers for utilization in food emulsions," Current Opinion in Food Science, vol. 7, pp. 1-6, 2016/02/01/, 2016.

[139] C. Qiu, M. Zhao, E. A. Decker ve D. J. McClements, "Influence of anionic dietary fibers (xanthan gum and pectin) on oxidative stability and lipid digestibility of wheat protein-stabilized fish oil-in-water emulsion," Food Research International, vol. 74, pp. 131-139, 2015/08/01/, 2015.

[140] G. Bortnowska, J. Balejko, G. Tokarczyk, A. Romanowska-Osuch ve N. Krzemińska, "Effects of pregelatinized waxy maize starch on the physicochemical properties and stability of model low-fat oil-in-water food emulsions," Food Hydrocolloids, vol. 36, pp. 229-237, 2014/05/01/, 2014.

[141] R. G. Utrilla-Coello, M. E. Rodríguez-Huezo, H. Carrillo-Navas, C. Hernández-Jaimes, E. J. Vernon-Carter ve J. Alvarez-Ramirez, "In vitro digestibility, physicochemical, thermal and rheological properties of banana starches," Carbohydrate Polymers, vol. 101, pp. 154-162, 2014/01/30/, 2014.

[142] S. Polavarapu, C. M. Oliver, S. Ajlouni ve M. A. Augustin, "Physicochemical characterisation and oxidative stability of fish oil and fish oil–extra virgin olive oil microencapsulated by sugar beet pectin," Food Chemistry, vol. 127, no. 4, pp. 1694-1705, 2011/08/15/, 2011.

[143] R. A. Buffo, G. A. Reineccius ve G. W. Oehlert, "Factors affecting the emulsifying and rheological properties of gum acacia in beverage emulsions," Food Hydrocolloids, vol. 15, no. 1, pp. 53-66, 2001/01/01/, 2001.

[144] V. M. Silva, G. S. Vieira ve M. D. Hubinger, "Influence of different combinations of wall materials and homogenisation pressure on the microencapsulation of green coffee oil by spray drying," Food Research International, vol. 61, pp. 132-143, 2014/07/01/, 2014.

[145] C. Turchiuli, M. T. Jimenez Munguia, M. Hernandez Sanchez, H. Cortes Ferre ve E. Dumoulin, "Use of different supports for oil encapsulation in powder by spray drying," Powder Technology, vol. 255, pp. 103-108, 2014/03/01/, 2014.

[146] V. Y. Ixtaina, L. M. Julio, J. R. Wagner, S. M. Nolasco ve M. C. Tomás, "Physicochemical characterization and stability of chia oil microencapsulated with sodium caseinate and lactose by spray-drying," Powder Technology, vol. 271, pp. 26-34, 2015/02/01/, 2015.

[147] E. İbanoğlu, "Rheological behaviour of whey protein stabilized emulsions in the presence of gum arabic," Journal of Food Engineering, vol. 52, no. 3, pp. 273-277, 2002/05/01/, 2002.

[148] S. Saeidy, A. Nasirpour, G. Djelveh, A.-V. Ursu, A. Marcati, C. Gardarin, C. Laroche, C. Delattre, G. Pierre, J. Keramat ve P. Michaud, "Rheological and functional properties of asafoetida gum," International Journal of Biological Macromolecules, vol. 118, pp. 1168-1173, 2018/10/15/, 2018.

[149] M. Sikora, N. Badrie, A. K. Deisingh ve S. Kowalski, "Sauces and Dressings: A Review of Properties and Applications," Critical Reviews in Food Science and Nutrition, vol. 48, no. 1, pp. 50-77, 2008/01/02, 2008.

[150] Z. Ma, J. I. Boye, K. Swallow, L. Malcolmson ve B. K. Simpson, "Techno-functional characterization of salad dressing emulsions supplemented with pea, lentil and chickpea flours," Journal of the Science of Food and Agriculture, vol. 96, no. 3, pp. 837-847, 2016/02/01, 2016.

[151] M. J. Martin-Piñero, M. C. García, J. Muñoz ve M.-C. Alfaro-Rodriguez, "Influence of the welan gum biopolymer concentration on the rheological properties, droplet size distribution and physical stability of thyme oil/W emulsions," International Journal of Biological Macromolecules, vol. 133, pp. 270-277, 2019/07/15/, 2019.

[152] M. A. Hesarinejad, M. Sami Jokandan, M. A. Mohammadifar, A. Koocheki, S. M. A. Razavi, M. T. Ale ve F. R. Attar, "The effects of concentration and heating-cooling rate on rheological properties of Plantago lanceolata seed mucilage," International Journal of Biological Macromolecules, vol. 115, pp. 1260-1266, 2018/08/01/, 2018.

[153] M. A. Hesarinejad, E. Shekarforoush, F. Rezayian Attar ve S. Ghaderi, "The dependency of rheological properties of Plantago lanceolata seed mucilage as a novel source of hydrocolloid on mono- and di-valent salts,"

International Journal of Biological Macromolecules, vol. 147, pp. 1278-1284, 2020/03/15/, 2020.

[154] A. Rezvankhah, Z. Emam-Djomeh ve G. Askari, "Encapsulation and delivery of bioactive compounds using spray and freeze-drying techniques: A review," Drying Technology, vol. 38, no. 1-2, pp. 235-258, 2020/01/02, 2020.

[155] F. Ortega, H. Ritacco ve R. G. Rubio, "Interfacial microrheology: particle tracking and related techniques," Current opinion in colloid & interface science, vol. 15, no. 4, pp. 237-245, 2010.

[156] S. Karasu, O. S. Toker, M. T. Yilmaz, S. Karaman ve E. Dertli, "Thermal loop test to determine structural changes and thermal stability of creamed honey: Rheological characterization," Journal of food engineering, vol. 150, pp. 90-98, 2015.

[157] A. A. Santana, D. M. Cano-Higuita, R. A. de Oliveira ve V. R. N. Telis, "Influence of different combinations of wall materials on the microencapsulation of jussara pulp (Euterpe edulis) by spray drying," Food Chemistry, vol. 212, pp. 1-9, 2016/12/01/, 2016.

[158] C. Turchiuli, M. Fuchs, M. Bohin, M. E. Cuvelier, C. Ordonnaud, M. N. Peyrat-Maillard ve E. Dumoulin, "Oil encapsulation by spray drying and fluidised bed agglomeration," Innovative Food Science & Emerging Technologies, vol. 6, no. 1, pp. 29-35, 2005/03/01/, 2005.

[159] U. Klinkesorn, P. Sophanodora, P. Chinachoti, E. A. Decker ve D. J. McClements, "Characterization of spray-dried tuna oil emulsified in two-layered interfacial membranes prepared using electrostatic layer-by-layer deposition," Food Research International, vol. 39, no. 4, pp. 449-457, 2006/05/01/, 2006.

[160] A. Goyal, V. Sharma, M. K. Sihag, S. K. Tomar, S. Arora, L. Sabikhi ve A. K. Singh, "Development and physico-chemical characterization of microencapsulated flaxseed oil powder: A functional ingredient for omega-3 fortification," Powder Technology, vol. 286, pp. 527-537, 2015/12/01/, 2015.

[161] J. D. Estrada Andino, "Production and processing of a functional yogurt fortified with microencapsulated omega-3 and vitamin E," 2011.

[162] E. S. Rodriguez, L. M. Julio, C. Henning, B. W. K. Diehl, M. C. Tomás ve V. Y. Ixtaina, "Effect of natural antioxidants on the physicochemical properties and stability of freeze-dried microencapsulated chia seed oil," Journal of the Science of Food and Agriculture, vol. 99, no. 4, pp. 1682-1690, 2019/03/15, 2019.

[163] Z. Aksoylu Özbek ve P. Günç Ergönül, "Optimisation of wall material composition of freeze–dried pumpkin seed oil microcapsules: Interaction effects of whey protein, maltodextrin, and gum Arabic by D–optimal mixture design approach," Food Hydrocolloids, pp. 105909, 2020/04/25/, 2020.

[164] N. Vasisht, "Chapter 16 - Selection of Materials for Microencapsulation," Microencapsulation in the Food Industry, A. G. Gaonkar, N. Vasisht, A. R. Khare ve R. Sobel, eds., pp. 173-180, San Diego: Academic Press, 2014.

[165] Q. Chen, F. Zhong, J. Wen, D. McGillivray ve S. Y. Quek, "Properties and Stability of Spray-Dried and Freeze-Dried Microcapsules Co-Encapsulated with Fish Oil, Phytosterol Esters, and Limonene," Drying Technology, vol. 31, no. 6, pp. 707-716, 2013/04/26, 2013.

[166] R. González-Ortega, M. Faieta, C. di Mattia, L. Valbonetti ve P. Pitti, "Microencapsulation of olive leaf extract by freeze-drying: Effect of carrier composition on process efficiency and technological properties of the powders," Journal of Food Engineering, pp. 110089, 2020/04/21/, 2020.

[167] K. A. Silva, M. A. Z. Coelho, V. M. A. Calado ve M. H. M. Rocha-Leão, "Olive oil and lemon salad dressing microencapsulated by freeze-drying," LWT - Food Science and Technology, vol. 50, no. 2, pp. 569-574, 2013/03/01/, 2013.

[168] S. H. Anwar ve B. Kunz, "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, vol. 105, no. 2, pp. 367-378, 2011/07/01/, 2011.

[169] A. Mohanan, M. T. Nickerson ve S. Ghosh, "Oxidative stability of flaxseed oil: Effect of hydrophilic, hydrophobic and intermediate polarity antioxidants," Food Chemistry, vol. 266, pp. 524-533, 2018/11/15/, 2018.

[170] S. Hadad ve S. A. H. Goli, "Improving Oxidative Stability of Flaxseed Oil by Encapsulation in Electrospun Flaxseed Mucilage Nanofiber," Food and Bioprocess Technology, vol. 12, no. 5, pp. 829-838, 2019/05/01, 2019.

[171] K. Suri, B. Singh, A. Kaur, M. P. Yadav ve N. Singh, "Influence of microwave roasting on chemical composition, oxidative stability and fatty acid composition of flaxseed (Linum usitatissimum L.) oil," Food Chemistry, pp. 126974, 2020/05/05/, 2020.

[172] R. V. d. B. Fernandes, S. V. Borges, E. K. Silva, Y. F. da Silva, H. J. B. de Souza, E. L. do Carmo, C. R. de Oliveira, M. I. Yoshida ve D. A. Botrel, "Study of ultrasound-assisted emulsions on microencapsulation of ginger essential oil by spray drying," Industrial Crops and Products, vol. 94, pp. 413-423, 2016/12/30/, 2016.

[173] Y.-R. Kang, Y.-K. Lee, Y. J. Kim ve Y. H. Chang, "Characterization and storage stability of chlorophylls microencapsulated in different combination of gum Arabic and maltodextrin," Food Chemistry, vol. 272, pp. 337-346, 2019/01/30/, 2019.

[174] A. Tiwari, "Gum Arabic-Graft-Polyaniline: An Electrically Active Redox Biomaterial for Sensor Applications," Journal of Macromolecular Science, Part A, vol. 44, no. 7, pp. 735-745, 2007/05/01, 2007.

[175] H. Tabani, M. Mahyari, A. Sahragard, A. R. Fakhari ve A. Shaabani, "Evaluation of sulfated maltodextrin as a novel anionic chiral selector for

the enantioseparation of basic chiral drugs by capillary electrophoresis," ELECTROPHORESIS, vol. 36, no. 2, pp. 305-311, 2015/01/01, 2015.

TEZDEN ÜRETİLMİŞ YAYINLAR

İletişim Bilgisi: esravci93@hotmail.com

Uluslararası Bilimsel Toplantılarda Sunulan ve Bildiri Kitabında Basılan Bildiriler

[1] E. Avcı, S. Karasu, ve A. Karadağ, ‘’Keten tohumu yağının novel bir kaplama ajanı olarak roka tohumu gamı ile enkapsülasyonu’’ 2.Uluslararası Gıda, Tarım ve Hayvancılık Kongresi, 1(2): 60-71, 2020.