

2.ULUSLARARASI GIDA, TARIM VE VETERİNER BİLİMLERİ KONGRESİ

29 ŞUBAT-1 MART 2020
KONYA, TÜRKİYE

KONGRE TAM METİN KİTABI

Editörler
Prof. Dr. Osman ERKMEN
Nurlan AKHMETOV

İSBN 978-605-7811-52-3
İKSADYAYINEVİ

KETEN TOHUMU YAĞININ NOVEL BİR KAPLAMA AJANI OLARAK ROKA TOHUMU GAMI İLE ENKAPSÜLASYONU

ENCAPSULATION OF FLAX SEED OIL BY ROCKET (*ERUCA sativa. M*) SEED GUM AS A NOVEL CARRIER AGENT

Esra AVCI

Yüksek Lisans Öğrencisi, Yıldız Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Gıda Mühendisliği Anabilim Dalı, İstanbul

(Sorumlu Yazar)

Salih KARASU

Doç. Dr., Yıldız Teknik Üniversitesi, Kimya Metalürji Fakültesi, Gıda Mühendisliği, İstanbul

Ayşe KARADAĞ

Dr. Öğr. Üyesi, Yıldız Teknik Üniversitesi, Kimya Metalürji Fakültesi, Gıda Mühendisliği, İstanbul

ÖZET

Doğal ve sentetik olarak elde edilen hidrokolloidler gıda endüstrisinde jelleştirici, stabilizatörler ve emülgatörler olarak kullanılırlar. Sentetik gamların yüksek maliyet, toksisite, çevre kirliliği gibi dezavantajlarının bulunmasından dolayı biyolojik uyumluluk, parçalanabilirlilik ve yenilenebilirlilik gibi birçok açıdan doğal gam arayışlarındaki ilgiyi artırmaktadır. Hidrokolloidler kapsüllerin duvar materyali olarak kullanıldığından dolayı verimli bir kapsülleme tekniği ve uygun kaplama malzemesinin seçimi oldukça önemlidir. Mikrokapsülleme teknikleri arasında en yaygın olan sprey ve dondurarak kurutma yöntemleri ile üretilebilecek sınırlı sayıda kaplama malzemesinin olması literatürdeki eksikliği ortaya koymaktadır. Araştırmacılar yeni bir enkapsülasyon yöntemi veya yeni bir kaplayıcı ajan üretme üzerine yoğunlaşmaktadır. Maltodekstrin, arabik gam gibi yaygın kullanılan duvar malzemeleri oksidasyona karşı koruma, iyi çözünürlülük gibi arzu edilen birçok özelliği karşılasa da salınım, düşük emülsüfiye etme kapasitesi ve artan fiyatlar sebebiyle bitkisel materyallerin alternatif gam olarak kullanılması tercih edilmektedir. Bu nedenle bu tez çalışması içerdiği yüksek miktardaki lifler sayesinde roka çekirdeğinin gıda hidrokolloidi olarak kullanma potansiyelini araştırmaktadır.

Bitkisel omega-3 kaynaklarından keten tohumu yağı oksidasyona karşı duyarlıdır. Bu çalışma elde edilen roka tohumu gamını kullanarak mikroenkapsülasyon yöntemiyle keten tohumu yağının oksidatif stabilitesini artırmayı hedeflemektedir. Roka tohumu gamı ile ilgili daha önce literatürde herhangi bir çalışma bulunmamaktadır. Bu çalışmada roka tohumu gamı ve roka tohumunun diğer duvar malzemeleriyle kombinasyonuyla farklı ve özgün nitelikte mikrokapsüller üretilmiştir. Hazırlanan emülsiyonların katı içeriği literatüre göre % 30 belirlenmiştir. Her emülsiyona enkapsülasyon etkinliğini artırmak amacıyla maltodekstrin eklenmiştir. Emülsiyonların homojenizasyonu için farklı dakikalarda (1-10) ultrases (250W) uygulayıp optimum koşul belirlenmiştir. Süre arttıkça partikül boyutu azalmakta ve sabitlenmektedir. Yağ duvar oranları 1:2 ve 1:4 olarak keten tohumu yağı roka tohumu gamı ile mikroenkapsüle edilerek fizikokimyasal özellikleri, fiziksel ve oksidatif stabiliteleri, ve partikül karakterizasyonu belirlenmiştir. Emülsiyon karakterizasyonu için reolojik özellikleri, damlacık boyutu, zeta potansiyeli ve optik görüntüleri incelenmiştir. Emülsiyonlarda reolojik özellikleri, kalitenin belirlenmesinde önemli bir göstergedir. Farklı yağ duvar oranları ve gam içerikleriyle hazırlanan emülsiyonlardan elde edilen model örneklerin kayma gerilmesi-kayma hızı ilişkileri incelendiğinde kayma incelmesi akış tipi gözlemlenmiştir. Bu akış davranışı O/W emülsiyonlarında arzu edilen bir akış davranışı özelliğidir. Dinamik reolojik özellikleri değerlendirildiğinde artan açısal frekansla roka tohumu eklendikçe *G' ve G''* değerleri arttığı

görülmüştür. Her numune için tüm frekans aralığında *G', G''* dan yüksek çıkmıştır. Bu sonuç roka tohumu gamı ilave edildikçe emülsiyonun katı karakter özelliğini güçlendirmektedir. Sonuçlar keten tohumu yağının enkapsülasyonunda başarılı bir şekilde kullanılabileceğini göstermiştir.

Anahtar Kelimeler: Mikroenkapsülasyon, Stabilizatör, Doğal Gam, Keten Tohumu Yağı

ABSTRACT

Naturally and synthetically obtained hydrocolloids are used in the food industry as gelling, stabilizers and emulsifiers. Since synthetic gums have disadvantages such as high cost, toxicity, environmental pollution, the interest in natural gum have been increased due to many aspects such as biocompatibility, degradability and renewability. Since hydrocolloids are used as wall material of the capsules, and efficient encapsulation techniques and the selection of the appropriate coating material are very important. The limited number of coating materials for spray drying and lyophilization methods, which are the most common microencapsulation techniques, reveals the lack of literature. As commonly used carrier agents, maltodextrin and arabic gum meet many desirable properties such as protection against oxidation and good solubility. However, they have some disadvantages such as their low solid-like structure, low emulsifying capacity and high prices The alternative natural gum should be investigated. Therefore researchers focus on producing a new encapsulation method or a new coating agent. For these reasons, this thesis study explores the potential of using rocket seed as a food hydrocolloid thanks to the high amount of fiber it contains.

Flaxseed oil, which is a source of vegetable omega-3, is sensitive to oxidation. This study aims to increase the oxidative stability of flaxseed oil by the microencapsulation method using the rocket seed gum obtained. There is no previous study about rocket seed gum in the literature. In this study, different and novel microcapsules were produced with the combination of rocket seed gum and rocket seed gum with other wall materials. The solid content of the emulsions prepared was determined as 30% according to the literature. Maltodextrin was added to each emulsion to increase encapsulation efficiency. For the homogenization of the emulsions, ultrasound (250W) was applied at the different time periods (1-10) and the optimum condition was determined. As time increases, the particle size decreases and stabilizes. The oil wall ratios were 1: 2 and 1: 4, and flaxseed oil was microencapsulated with the rocket seed gum and its physicochemical properties, physical and oxidative stability, and particle characterization were determined. Rheological properties, droplet size, zeta potential and optical images were investigated for emulsion characterization. Rheological properties in emulsions are an important indicator in determining physicochemical quality. When shear stress-shear rate relationships of model samples obtained from emulsions prepared with different oil wall ratios and gum contents were examined, shear-thinning was observed. This flow behavior is a desirable flow behavior feature in O/W emulsions. When dynamic rheological properties are evaluated, *G'* and *G''* values increase as the rocket seed is added with increasing angular frequency. For each sample, *G'* was higher than *G''* in the whole frequency range. This result showed that the solid character of the emulsion increased as increased rocket seed gum concentration. When the results are evaluated, it is revealed that the rocket seed gum has a hydrocolloid feature.

Keywords: Microencapsulation, Stabilizer, Natural Gum, Flaxseed Oil

1. GİRİŞ

Gıda katkı maddesi olarak bilinen hidrokolloidler, yapılarının hidrofilik kısımları nedeniyle gıda endüstrisinde koyulaştırıcı, jelleştirici, doku ajanları, stabilizatörler ve emülgatörler olarak kullanılmaktadır (Jafari, Assadpoor et al. 2008, Wang, Shi et al. 2018). 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 (Li and Nie 2016). Ancak sentetik gamların gıda endüstrisinde kullanılmasının bazı dezavantajları bulunmaktadır. Bunlardan bazıları yüksek maliyet, vücuda toksisite, çevre kirliliği ve yenilenemez kaynaklardır. Bu nedenle sentetik gamlar yerine gıda endüstrisinde doğal gam kaynaklarının biyolojik olarak uyumlu ve parçalanabilirliği, kolay elde edilebilirliği, düşük maliyetli ve toksik olmaması yönünden tercih edilmektedir. Son zamanlarda yeni doğal gam arayışlarındaki ilgide bu yönde artmaktadır.

Hidrokolloidler, yenilebilir, biyolojik olarak parçalanabildikleri ve çekirdek ile çevresi arasında bir bariyer oluşturabildiklerinden kapsüllerin duvar materyali olarak kullanılır (Nedovic, Kalusevic et al. 2011). Kapsüllemenin nedeni, aroma ve uçucu yağ gibi uçucu aktif maddelerin buharlaşmasının ve bozulmasının önlenmesidir. 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 (Achinna and Kuna 2010, Vemmer and Patel 2013). Spreyle kurutma ve dondurarak kurutma yöntemi, gıda endüstrisinde mikro kapsülleme için en yaygın yöntemdir. Bu teknoloji iyi kurulmuş ve oldukça ucuz olmasına rağmen, sprey kurutma yöntemi için sınırlı sayıda kaplama malzemesi mevcuttur (Tatar, Tunç et al. 2014).

Son yıllarda, araştırmacılar bitki materyallerinin kaplamalarda kullanılmasına odaklanmıştır (Kunkun, Ye et al. 2012). Arabik gam, sprey kurutma ile 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 bir çok özellik sunsa da, salınım ve artan fiyatlar açısından yerini alabilecek alternatif duvar malzemelerini aramaya yöneltmektedir. Yaygın duvar malzemelerinden bir diğeri ise maltodekstirindir. 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 (Charve and Reineccius 2009, Carneiro, Tonon et al. 2013).

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 (Jafari, Assadpoor et al. 2008, Wang, Shi et al. 2018). Tüm bunlar göz önüne alınarak literatürdeki bu eksikliği gidermek adına roka tohumundan gam elde edilmesi amaçlanmıştır.

Roka türkiye'nin akdeniz bölgesinde yaygın olarak yetiştirilen bir bitkidir. Roka çekirdeği yüksek miktarda lif içerir, bu yüzden doğal gıda hidrokolloidi olarak kullanma potansiyeline sahiptir. 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 (Kaushik, Dowling et al. 2016). ALA'nın toplam yağ asitlerinin yaklaşık % 57'sini oluşturur (Carneiro, Tonon et al. 2013). 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 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 gamı 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 katkı maddesi kazandırması amaçlanmaktadır.

2. MATERYAL ve METOT

Marketten temin edilen roka tohumu, gam üretimi için (Salarbashi and Tafaghodi 2018)'e göre modifiye edilerek elde edilen roka tohumu gamı kullanılmıştır. Roka tohumlarının jel yapıları granüllerden çıkması için damıtık su ilave ederek 2 saat boyunca 80°C'de manyetik karıştırıcıda karıştırılmıştır. Bu özütleme sonucunda gerekli seyreltmeler yapılarak dibe doğru çöken roka tohumları çözeltiden süzülerek alındı. Ardından çözelti buharlaştırıldı. Buharlaştırmanın sonucu olarak kalan çözeltiye 1:2 etil alkol ilavesiyle çözelti içindeki gam, yoğunluk farkı nedeniyle yukarı doğru artarak, yüzeyde toplanmaya başlar. Toplanan gam bir kapta kuruması için 1 gün boyunca 50°C'de fırında bırakıldı. Roka tohumu gamı kurutularak elde edilmiştir.

2.1. Emülsiyon Hazırlama

Elde edilen roka tohumu gamı (RG) ve arabik gam (AG) 25°C'de damıtılmış suya ilave edilerek karışım tamamen çözülene kadar manyetik karıştırıcıda çözdürülmüştür. Enkapsülasyon etkinliğinin artırılması için her emülsiyona maltodekstrin (MD) ilave edilmiştir. Literatür baz alınarak (Carneiro, Tonon et al. 2013) keten tohumu yağ ilavesiyle oluşturulan yaklaşık %30 katı içerikli yağ su karışımları oda sıcaklığında ultraturax homojenizatörü (Hg-15a, Daıhan Scientific) ile hazırlanmıştır. Emülsiyonların homojenizasyonu için farklı dakikalarda (1-10) ultrases (250W) uygulayıp optimum koşul belirlenmiştir. Süre arttıkça partikül boyutu azalmakta ve sabitlenmektedir. Yağ duvar oranları 1:2 ve 1:4 şeklindedir. Roka tohumu gamı ile arabik gam kompleksi 1:3 oranında uygulanmıştır. Emülsiyon formülasyonu Tablo 1'de gösterilmiştir.

Tablo 1: Emülsiyon formülasyonu

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

2.2. Emülsiyon Karakterizasyonu

2.2.1. Reolojik Analizler

Elde edilen emülsiyonların akış davranış ve dinamik reolojik özellikleri, stres ve sıcaklık kontrollü peltier ısıtma sistemine sahip bir reometre (anton paar, mcr 302, austria) ile belirlenmiştir. Tüm reolojik analizler 25ºC'de gerçekleştirilmiştir.

2.2.1.1.Akış Davranış Reolojik Özellikler

1:2 ve 1:4 yağ:duvar oranlarında hazırlanan emülsiyonlar farklı gam konsantrasyonları (3, 2,25, ve 0,75) içermektedir. Emülsiyon viskozite özellikleri, paralel plaka konfigürasyonu (çap 50 mm, aralık 0.5 mm) kullanılarak oda sıcaklığında 0-100 (1/s) kesme hızı aralığında belirlendi. Her örnekten reometre plakasına yaklaşık 2 g yerleştirildi ve analiz, istenen sıcaklığa ulaşıldıktan sonra gerçekleştirildi. Her örnek iki kez tekrarlandı. 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.

$$\tau = K\gamma^n \qquad \text{Denklem 1}$$

Eşitlik τ, kayma gerilimi (*Pa*), K kıvam katsayısı (Pas^n), γ kesme hızı (*1/s*) ve n, akış davranışı indeksini gösterir.

2.2.1.2.Dinamik Reolojik Analizler

Emülsiyon örneklerinin dinamik reolojik analizleri paralel plate konfigürasyonu kullanılarak gerçekleştirilmiştir. Öncelikle liner viskoelastik bölgeyi belirlemek amacıyla amplitute sweep testi %0,1 ve %100 strain 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 özellikler ile ilgili parametreler Power Law model ve lineer olmayan regresyon kullanılarak belirlenmiştir (Yoo and Rao 1996);

$$G' = Kx(\omega)^{n'} \qquad \text{Denklem 2}$$

$$G'' = Kx(\omega)^{n''} \qquad \text{Denklem 3}$$

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.

2.2.2. Damlacık Boyutu ve Zeta Potansiyelinin Belirlenmesi

Emülsiyonların koloidal dağılım stabilitelerini belirlemek amacıyla zeta potansiyeli, ζ-potansiyel elektroforezi olan bir parçacık mikro-elektroforez cihazı (Zetasizer Nanozs, Malvern Instruments, Ltd., Worcestershire, UK) ile karakterize edilmiştir. Emülsiyon damlacık boyutu statik ışık saçılımı prensibi ile çalışan parçacık boyut analiz cihazı (Mastersizer 3000, Malvern Instruments Ltd., Malvern, Worcestershire, UK) kullanılarak yapılmıştır. Sauter ortalama çapı olan D_{32} olarak ifade edilmiştir.

2.2.3. Optik Mikroskop Görüntüleri

Emülsiyonların mikro yapısı, bağlı bir kamera ile donatılmış bir optik mikroskop kullanılarak incelenmiştir. Bu amaçla, lamel üzerine bir damla emülsiyon yerleştirilip hava veya kabarcık olmamasını sağlayan lam ile düzeltilerek 40x objektif büyütmede görüntülenmiştir.

2.3. Liyofilizasyon Yöntemiyle Mikroenkapsülasyon

Hazırlanan emülsiyonlar laboratuvar tipi dondurarak kurutucu (Beta 1-8 lscplus, christ) kullanılarak, mikrokapsüllenmiş ürüne dönüştürülmüştür.

2.4. Mikropartikül Karakterizasyonu

2.4.1. Nem ve Renk Değerlerinin Belirlenmesi

Elde edilen kapsüllenmiş örneklerin nem değerleri MA-50.R (RADWAG) kullanılarak belirlenmiştir.

Renk değerleri ise Chroma Metre CR- 410 (KONICA MINOLTA) kullanılarak ölçülmüştür.

3. BULGULAR VE TARTIŞMA

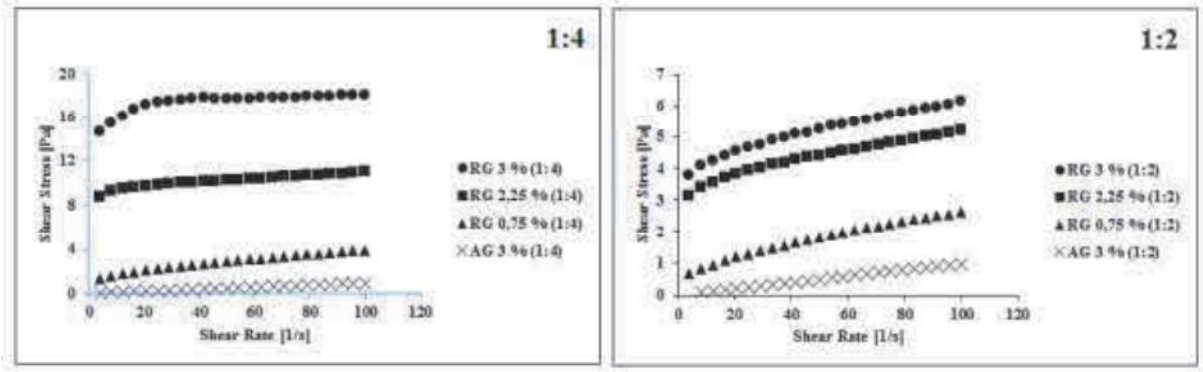
3.1. Emülsiyon Karakterizasyonu

Farklı tiplerde üretilen emülsiyonların damlacık boyutu, zeta potansiyeli ve pH'sı tablo 2'de gösterilmiştir.

Tablo 2: Emülsiyon D_{32} ,PDI, ζ-potansiyel ve pH değeri

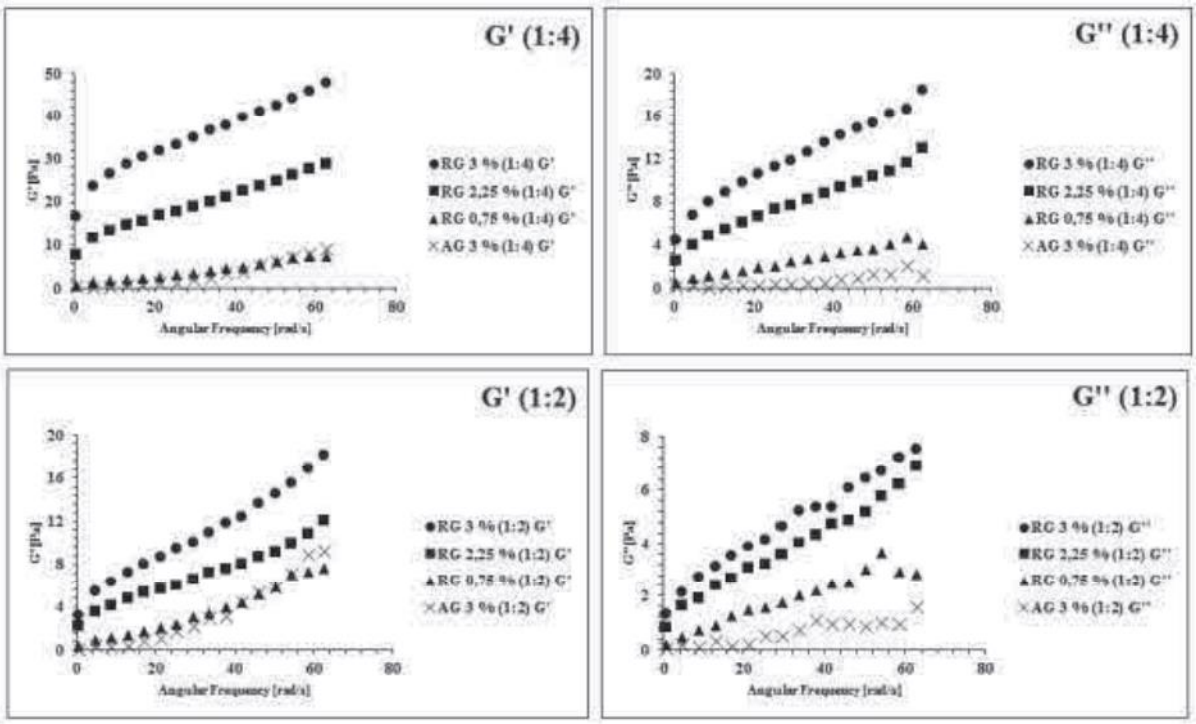
	Emülsiyon	D_{32} (nm)	PDI	ζ-Potansiyel (mV)	Conductivity	pH
1:2	RG 3	3736	1,00±0,00	-29,9±0,65	0,021±0,01	5,05±0,05
	RG 2,25	4770	1,00±0,00	-31,9±0,74	0,011±0,00	5,09±0,05
	RG 0,75	2481	1,00±0,00	-27,5±2,20	0,017±0,01	4,96±0,00
	AG 3	1945	0,91±0,13	-29,9±0,86	0,018±0,01	4,91±0,00
1:4	RG 3	2871	0,65±0,49	-25,7±1,22	0,010±0,00	5,31±0,05
	RG 2,25	3049	1,00±0,00	-30,7±0,82	0,014±0,01	5,20±0,05
	RG 0,75	2834	1,00±0,00	-26,5±0,65	0,007±0,00	5,01±0,00
	AG 3	5321	0,59±0,19	-26,4±0,81	0,014±0,01	4,91±0,00

Bir emülsiyonun viskozitesi mikro kapsülleme için büyük önem taşır. Tüm emülsiyonlar kayma inceltici davranış göstermiştir. Her karışımın viskozite ve kayma hızı arasındaki ilişkiyi kesin olarak belirlemek için (Power Law) sıvı olarak karakterize edilmiş, akış davranışı indeks değeri (n) 1'den daha düşük olduğu görülmüştür. Power Law modeli için sabitlerin (K ve n) hesaplanan değerleri ve belirleme katsayısı (R^2) tablo 3'te bildirilmektedir. Bu çalışmada tüm emülsiyonların psödoplastik sıvılar olarak davrandığını göstermiştir. Farklı duvar malzemeleri kombinasyonuyla üretilen emülsiyonların akış davranışları Şekil l'de gösterilmektedir. RG konsantrasyonu arttıkça emülsiyonlarda viskozitenin yükseldiği görülmektedir. Bu durum roka tohumu gamının daha yüksek viskozitesinden sorumlu olabilen uzun zincirlere sahip dallanmış bir yapı gösterdiği ve diğer duvar malzemeleriyle etkileşimlerinin bulunduğu için gıda maddelerinde koyulaştırıcı bir ajan olarak kullanılabileceğini ortaya koymaktadır. Roka tohumu gamı, arabik gam ve maltodekstrin kombinasyonun (Carneiro, Tonon et al. 2013) sağladığı viskoziteden daha yüksek bir viskozite sağladığı görülmektedir.



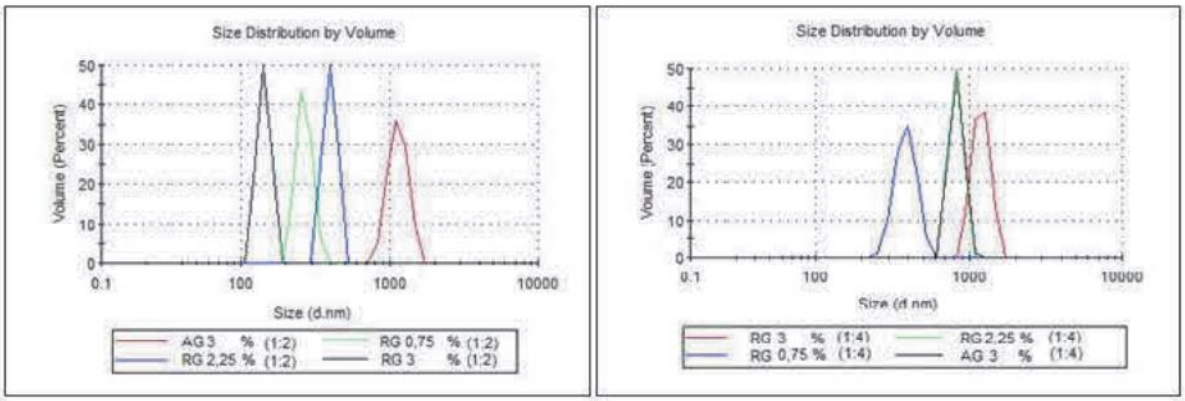
Şekil 1: Emülsiyonların akış davranışları

Emülsiyonların viskoelastik özelliklerini karakterize etmek için dinamik reolojik testler yapıldı. Şekil 2'de gösterildiği gibi artan açısal frekansla roka tohumu eklendikçe *G' ve G''* değerleri arttığı görülmüştür. Her numune için tüm frekans aralığında *G', G''*' dan yüksek çıkmıştır. Bu sonuç roka tohumu gamı ilave edildikçe emülsiyonun katı karakter özelliğini güçlendirmektedir.



Şekil 2: Emülsiyonların viskoelastik grafikleri

Keten tohumu yağının ve farklı duvar malzemesi kombinasyonlarının homojenleştirilmesi, damlacık çapı 1.9 ila 5.3 µm arasında değişen emülsiyonlarla sonuçlanmıştır. Şekil 3'ye göre, eğrilerin hepsi bimodal dağılımı göstermiştir.



Şekil 3: Damlacık boyutu dağılımı

Farklı duvar malzemelerinin kullanımının emülsiyon damlacık büyüklüğü üzerinde önemli etkisi olmuştur (Tablo 2). Yağ:duvar oranlarının artmasıyla MD:AG ile hazırlanan emülsiyon, diğer materyallere kıyasla en büyük damlacıklara sahipken, MD:RG:AG karışımından hazırlanan emülsiyon daha küçük olduğunu göstermiştir. Bu sonuç, MD'in artışıyla aralarında güçlü bir etkileşim olduğu ve damlacıkların hareketine karşı daha büyük bir direnç anlamına

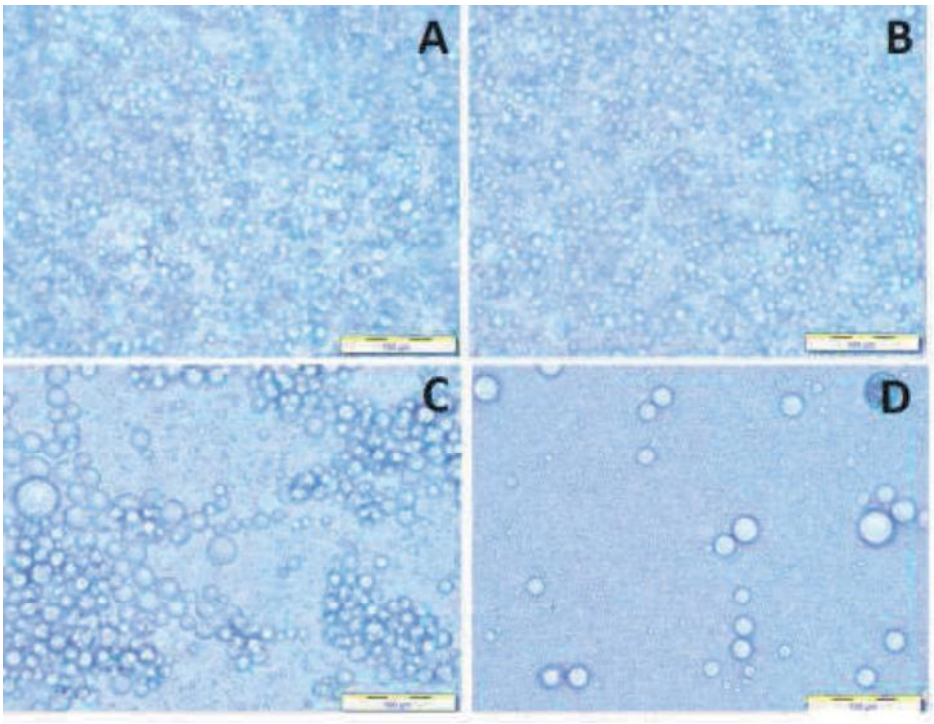
gelen, birleşmeyi önleyen ve daha küçük çaplara yol açan MD:RG emülsiyonu tarafından sunulan en yüksek viskozite ile ilişkili olabilir.

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 da damlacık boyutunun sadece emülsiyon viskozitesinden değil, aynı zamanda her malzeme tipinin emülsifiye edici özelliklerinden ötürüdür.

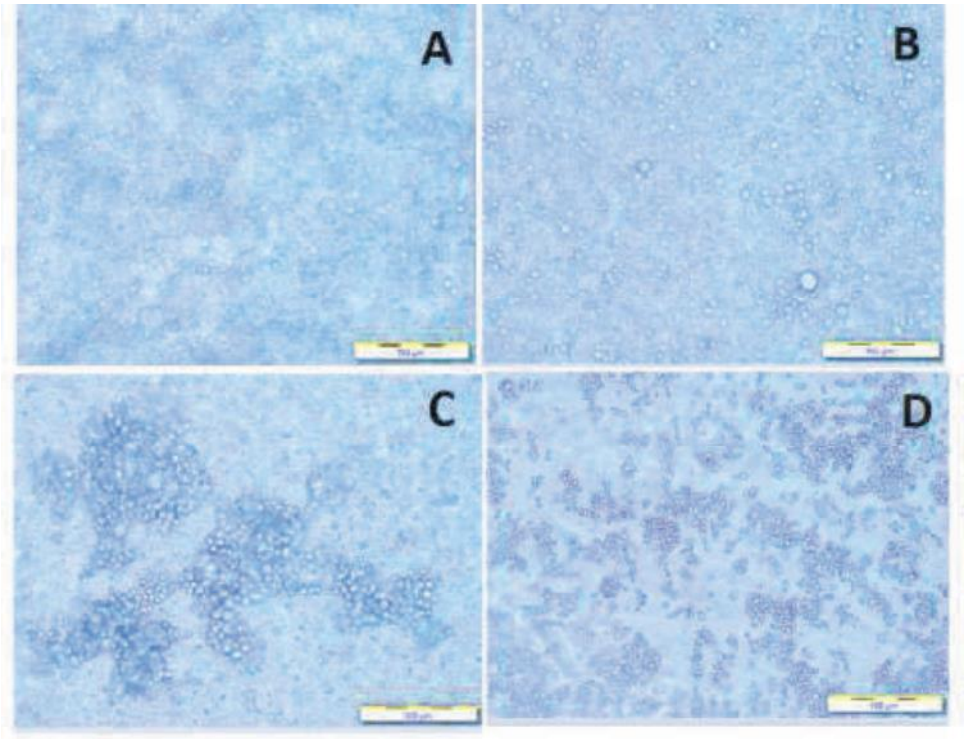
Tablo 3: Emülsiyonların *Power Law* modeli ile akış davranış ve viskoelastik özellikleri

		$\sigma = K\gamma^n$			$G' = K'(\omega)^{n'}$			$G'' = K''(\omega)^{n''}$		
Y:D	Emüls.	K	n	R^2	K'	n'	R^2	K''	n''	R^2
1:2	RG 3	2,757±0,02	0,168±0,01	0,989±0,00	2,063±1,74	0,548±0,34	0,985±0,01	0,786±0,02	0,533±0,03	0,982±0,01
	RG 2,25	2,281±0,84	0,172±0,01	0,991±0,00	1,874±2,32	0,558±0,72	0,627±0,50	0,397±0,02	0,666±0,04	0,979±0,01
	RG 0,75	0,274±0,05	0,490±0,04	0,998±0,00	0,097±0,12	1,184±0,55	0,985±0,02	0,154±0,16	0,842±0,35	0,928±0,05
	AG 3	0,016±0,00	0,913±0,05	0,999±0,00	0,002±0,00	2,067±0,16	0,993±0,01	0,015±0,02	1,163±0,40	0,872±0,02
1:4	RG 3	14,06±1,33	0,057±0,02	0,924±0,04	14,66±0,73	0,269±0,01	0,980±0,00	3,262±0,03	0,396±0,00	0,979±0,01
	RG 2,25	7,894±0,35	0,068±0,01	0,989±0,00	5,548±1,00	0,382±0,04	0,976±0,01	1,578±0,04	0,482±0,01	0,982±0,01
	RG 0,75	0,622±0,03	0,393±0,00	0,996±0,00	0,166±0,07	0,924±0,17	0,983±0,01	0,189±0,00	0,760±0,01	0,981±0,00
	AG 3	0,011±0,00	0,963±0,04	0,999±0,00	0,002±0,00	2,072±0,07	0,996±0,00	0,001±2,22	1,960±0,02	0,881±0,11

Emülsiyonların optik mikroskopta görüntülenen mikro yapışı şekil 4 ve 5'te gösterilmiştir. Mikro-grafikler, damlacık boyutu dağılımında elde edilen sonuçları doğrulamaktadır.



Şekil 4: 1:2 (Y:D)'nin mikro yapısal görüntülerinde A: RG % 3- B: RG % (2,25 – AG 0,75) - C: RG % (0,75 – AG 2,25), D : AG % 3 ifade etmektedir.



Şekil 5: 1:4 (Y:D)'nin mikro yapısal görüntülerinde A: RG % 3- B: RG % (2,25 – AG 0,75) - C: RG % (0,75 – AG 2,25), D : AG % 3 ifade etmektedir.

3.2. Mikropartikül Karakterizasyonu

Dondurarak kurutucudan sonra elde edilen mikrokapsüllerin nem, renk ve verimlilik değerleri Tablo 4'te gösterilmiştir. Düşük neme sahip (<%3) mikropartiküllerin enkapsülasyon verimlilikleri %90'nın üzerindedir.

Tablo 4: Mikropartiküllerin renk, nem ve enkapsülasyon verimlilik değerleri

Y:D	Emülsiyon	*L**	*a**	*b**	Nem	Enk Verimlilik (%)
1:2	RG 3	81,93±0,76	-1,69±0,02	24,96±0,23	2,526±0,006	91,67
	RG 2,25	85,65±1,32	-3,16±0,08	20,39±0,54	2,404±0,098	91,39
	RG 0,75	90,10±0,25	-4,19±0,05	18,21±0,37	2,569±0,614	90,53
	AG 3	95,09±0,36	-7,66±0,04	19,76±0,17	2,310±0,168	94,56
1:4	RG 3	82,11±0,52	-2,72±0,04	22,84±0,43	3,457±0,096	90,36
	RG 2,25	87,69±0,09	-3,45±0,37	18,91±0,13	3,409±0,007	91,64
	RG 0,75	88,6±1,22	-4,54±0,03	14,80±0,37	2,961±0,663	90,56
	AG 3	93,75±1,86	-5,52±0,03	10,91±0,10	2,458±0,17	93,53

Keten tohumu yağı kapsülleme verimi (Kaushik, Dowling et al. 2016) ile benzerlik göstermektedir. Bu çalışmada elde edilen nem değerleri ise literatüre göre yaklaşık %60 daha düşük bir değerde bulunmuştur.

4. Sonuç

Emülsiyonların damlacık boyutu dağılımları, morfolojik görüntüleri, viskozite ve viskoelastik özellikleri incelendiğinde sonuçlar keten tohumu yağının enkapsülasyonunda roka tohumu

gamı ve diğer duvar malzemeleriyle kombinasyonu bir duvar malzemesi olarak başarılı bir şekilde kullanılabileceğini göstermiştir.

KAYNAKÇA

Achinna, P. and A. Kuna (2010). "Microencapsulation technology: A review." J Res Angrau **38**.

Carneiro, H. C. F., R. V. Tonon, C. R. F. Grosso and M. D. Hubinger (2013). "Encapsulation efficiency and oxidative stability of flaxseed oil microencapsulated by spray drying using different combinations of wall materials." Journal of Food Engineering **115**(4): 443-451.

Charve, J. and G. Reineccius (2009). "Encapsulation Performance of Proteins and Traditional Materials for Spray Dried Flavors." Journal of agricultural and food chemistry **57**: 2486-2492.

Jafari, S. M., E. Assadpoor, Y. He and B. Bhandari (2008). "Encapsulation Efficiency of Food Flavours and Oils during Spray Drying." Drying Technology **26**(7): 816-835.

Kaushik, P., K. Dowling, S. McKnight, C. J. Barrow and B. Adhikari (2016). "Microencapsulation of flaxseed oil in flaxseed protein and flaxseed gum complex coacervates." Food Research International **86**: 1-8.

Kunkun, Z., T. Ye, J. Liu, Z. Peng, S. Xu, J. Lei, H. Deng and B. Li (2012). "Nanogels fabricated by lysozyme and sodium carboxymethyl cellulose for 5-fluorouracil controlled release." International journal of pharmaceutics **441**.

Li, J.-M. and S.-P. Nie (2016). "The functional and nutritional aspects of hydrocolloids in foods." Food Hydrocolloids **53**: 46-61.

Nedovic, V., A. Kalusevic, V. Manojlovic, S. Levic and B. Bugarski (2011). "An overview of encapsulation technologies for food applications." Procedia Food Science **1**: 1806-1815.

Salarbashi, D. and M. Tafaghodi (2018). "An update on physicochemical and functional properties of newly seed gums." International Journal of Biological Macromolecules **119**: 1240-1247.

Tatar, F., M. T. Tunç, M. Dervisoglu, D. Cekmecelioglu and T. Kahyaoglu (2014). "Evaluation of hemicellulose as a coating material with gum arabic for food microencapsulation." Food Research International **57**: 168-175.

Vemmer, M. and A. Patel (2013). "Review of encapsulation methods suitable for microbial biological control agents." Biological Control **67**: 380–389.

Wang, S., Y. Shi and L. Han (2018). "Development and evaluation of microencapsulated peony seed oil prepared by spray drying: Oxidative stability and its release behavior during in-vitro digestion." Journal of Food Engineering **231**: 1-9.

Yoo, B. and M. A. Rao (1996). "CREEP AND DYNAMIC RHEOLOGICAL BEHAVIOR OF TOMATO CONCENTRATES: EFFECT OF CONCENTRATION AND FINISHER SCREEN SIZE." Journal of Texture Studies **27**(4): 451-459.