

Atf İçin: Başyığıt, B. (2023). Arap zımkı, Karboksımetıl Selüloz ve Maltodekstrin ile Stabilize Edilmiş Su İçinde Yağ Bazlı Emülsiyon Sistemlerinin Stabılite Davranışları. *İğdır Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi*, 13(1), 341-351.

To Cite: Başyığıt, B. (2023). Stability Behaviors of Oil-in-Water Emulsion Systems Stabilized by Gum Arabic, Carboxymethyl Cellulose and Maltodextrin. *Journal of the Institute of Science and Technology*, 13(1), 341-351.

Arap Zımkı, Karboksımetıl Selüloz ve Maltodekstrin ile Stabilize Edilmiş Su İçinde Yağ Bazlı Emülsiyon Sistemlerinin Stabılite Davranışları

Bülent BAŞYİĞİT^{1*}

Öne Çıkanlar:

- Karbonhidratların yapısal özelliklerinin belirlenmesinde FTIR spektroskopisi kullanılmıştır
- Su içinde yağ emülsiyonları farklı karbonhidratlar ile stabilize edilmiştir
- Arap zımkı, emülsiyon sistemlerinde emülgatör olarak ön plana çıkmıştır

ÖZET:

Bu çalışmada Arap zımkı, karboksımetıl selüloz ve maltodekstrin su içinde yağ bazlı emülsiyon sistemlerinde emülgatör olarak kullanılmıştır. Emülgatör olarak seçilen karbonhidratlardaki özel yapılar FTIR spektroskopisi ile araştırılmıştır. Emülsiyonlarda Arap zımkının mevcudiyeti üstün emülsiyon aktivitesi ve emülsiyon stabılitesi ile sonuçlanmıştır. Stabılite indeks için elde edilen görüntülerde yağ damlacıklarının maltodekstrinin emülgatör olarak kullanıldığı emülsiyonlardan kolay bir şekilde ayrıldığı tespit edilmiştir. Ancak Arap zımkı ve karboksımetıl selüloz içeren emülsiyonlarda net bir yağ ayrımı gözlemlenmemiştir. Stabılite katsayısı, Arap zımkı (0.80) kullanılarak hazırlanan emülsiyonlarda karboksımetıl selüloz (0.63) ve maltodekstrin (0.50) ile hazırlanan örneklerden daha yüksek olduğu belirlenmiştir. Stabılite ile ters orantılı olan santrifüj çökme oranı Arap zımkını, karboksımetıl selülozü ve maltodekstrini ihtiva eden örneklerde sırasıyla %10.65, 16.15 ve 23.55 bulunmuştur.

Anahtar Kelimeler:

- Arap zımkı
- Karboksımetıl selüloz
- Maltodekstrin
- FTIR spektroskopisi
- Emülsiyon

Stability Behaviors of Oil-in-Water Emulsion Systems Stabilized by Gum Arabic, Carboxymethyl Cellulose and Maltodextrin

Highlights:

- FTIR spectroscopy was used to determine the structural properties of carbohydrates
- Oil-in-water emulsions were stabilized by different carbohydrates
- Gum arabic came into prominence as an emulsifier in emulsion systems

ABSTRACT:

In this study, gum Arabic, carboxymethyl cellulose and maltodextrin were used as emulsifiers in oil-in-water emulsion systems. Special structures in the carbohydrates selected as emulsifiers were investigated by FTIR spectroscopy. The presence of gum Arabic in emulsions resulted in superior emulsion activity and emulsion stability. In the images obtained for the stability index, the oil droplets were easily separated from the emulsions in which maltodextrin was used as an emulsifier. However, no clear oil separation was observed in emulsions containing gum Arabic and carboxymethyl cellulose. The stability coefficient was higher in emulsions prepared using gum Arabic (0.80) compared to carboxymethyl cellulose (0.63) and maltodextrin (0.50) ones. Centrifugal precipitation rate, which is inversely proportional to stability, was found as 10.65, 16.15, and 23.55% in the samples containing gum Arabic, carboxymethyl cellulose and maltodextrin, respectively.

Keywords:

- Gum Arabic
- Carboxymethyl cellulose
- Maltodextrin
- FTIR spectroscopy
- Emulsion

¹ Bülent BAŞYİĞİT (Orcid ID: 0000-0002-6617-1836), Harran Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Gıda Mühendisliği Bölümü, Şanlıurfa, Türkiye

*Sorumlu Yazar/Corresponding Author: Bülent BAŞYİĞİT, e-mail: bulentbasyigit@harran.edu.tr

GİRİŞ

Emülsiyonlar, birbiri içerisinde tamamen ya da kısmen çözünmeyen iki veya daha fazla sıvının bir arada bulunduğu homojen görünüme sahip heterojen karışımlar olarak bilinmektedir. Bu sistemlerde, sıvı fazlardan bir tanesi sistemin içerisinde yer alan diğer sıvı içerisinde küçük damlacıklar halinde dağılmış durumdadır (Komaiko ve ark., 2016). Emülsiyonların farklı formları olup yağ içinde su, su içinde yağ veya karmaşık bir sistemde çoklu emülsiyon sistemleri bunlara örnek teşkil etmektedir (Dammak ve ark., 2020). Bu formlar gıda, besin takviyeleri, farmasötik, kişisel bakım ve kozmetik sektöründe yer alan birçok ürün grubunun üretimi esnasında prosesin bir parçası olmakta veya nihai ürün olarak pazara sunulmaktadır (McClements ve ark., 2017). Örneğin, emülsiyonlar farmasötik alanında biyolojik aktiviteye sahip olan özel yapıların (vitaminler, besinler, nutrasötikler, antimikrobiyaller ve antioksidanlar vb.) kapsüllenmesinde, çözünürlük gibi teknolojik özelliklerinin geliştirilmesinde ve kontrollü salınımlarında kullanılmaktadır (Bouyer ve ark., 2012; McClements, 2015). Soslar, tatlılar, dondurma, içecekler ve çorbalar gibi yaygın olarak tüketilen gıda ürünlerinin temelini de emülsiyon sistemleri oluşturmaktadır (McClements, 2015).

Gıda endüstrisinde su içinde yağ emülsiyon sistemlerinin kullanımı yaygındır. Bu sistemler diğer emülsiyonlar gibi termodinamik olarak kararsız olup çevresel streslere karşı stabiliteleri düşüktür. Bu yüzden, arzu edilen sistemlerin oluşturulmasında stabilizatör kullanımı makul bir yaklaşım olarak görülmektedir. Stabilizatörler, emülsifikasyon işlemini kolaylaştırmalarının yanı sıra birbiri içerisinde karışmayan sıvı fazlar arasındaki ara yüzey gerilimini azaltarak damlacıkların agregasyonunu engeller ve fiziksel olarak emülsiyonların uzun süre stabil kalmasını sağlarlar (Krstonošić ve ark., 2009; Bai ve ark., 2016). Bir başka ifade ile bu materyaller, aktivitesi ve stabilitesi yüksek emülsiyon sistemlerinin oluşturulmasında kritik rol oynarlar. Emülsiyon aktivitesi, bir stabilizatörün birim ağırlığı başına stabilize edilen ara yüzey alanı ile ifade edilir. Emülsiyon stabilitesi ise bir stabilizatörün önceden belirlenmiş bir süre boyunca girdi olarak kullanıldığı emülsiyonlarda stabiliteyi koruma kabiliyetine karşılık gelmektedir (Li ve ark., 2020). Emülgatörler, koyulaştırıcılar, ajanlar ve olgunlaşma inhibitörleri emülsiyonların stabilitesini geliştirmek için yararlanılan stabilizatörler arasındadır (McClements ve ark., 2017; Kim ve ark., 2020).

Emülsiyonların stabilizasyonu ile ilgili bilimsel literatür verileri incelendiğinde diğer stabilizatörlere kıyasla gıda endüstrisindeki ürün gruplarına paralel olarak emülgatörleri konu alan çalışmalara daha fazla bir eğilimin olduğu söylenebilir (Kim ve ark., 2020). Sentetik yüzey aktif maddeleri günümüzde gıda ürünlerinde yaygın bir şekilde kullanılmaktadır. Bu gruba sorbitan esterleri, yağlı alkol etoksilatları ve sakkaroz esterleri örnek olarak gösterilebilir (Kralova ve Sjöblom, 2009; Lam ve Nickerson, 2013; McClements ve ark., 2017). Bu emülgatörlerin doğrudan veya dolaylı olarak kullanımı, toksisite ve çevre sorunlarını gündeme getirmektedir. Yapılan çalışmalarda da sentetik yüzey aktif maddelerinin hayvanlarda ve insanlarda toksik semptomlara neden olduğu rapor edilmiştir (Cserhádi ve ark., 2002; Liwarska-Bizukoje ve ark., 2005). Sitotoksikite testlerine göre, iyonik olmayan yüzey aktif maddeler katyonik (toksikite en yüksek), anyonik ve amfoterik olanlardan daha düşük toksik etkiye sahip olduğu not edilmiştir (Vlachy ve ark., 2009; Bouyer ve ark., 2012). Bilimsel literatür verilerine paralel olarak sentetik yapılar arasında düşük maliyeti, diğer emülgatörlerle kıyaslandığında yüksek emülsifiye edici özelliği ve düşük toksisitesi nedeniyle iyonik olmayan polioksietilen sorbitan esterler (Tween grubu) bu alanda kullanılan en yaygın yüzey aktif maddeleridir. Ancak, bu sentetik materyallerin de günlük tüketimi Amerika Birleşik Devletleri Gıda ve İlaç Dairesi tarafından maksimum 25 mg/kg olarak sınırlandırılmıştır (McClements, 2014; McClements, 2015; Raikos ve ark., 2017). Tüm bunlardan dolayı hem literatürde hem de endüstride

sentetik emülgatörlere alternatif olarak doğal kaynaklara olan yönelim göz ardı edilemez seviyelerdedir. Doğal kaynaklar içerisinde de sağlık üzerine olumsuz etkilerinden ve çevresel problemlerden dolayı hayvansal kaynaklardan ziyade fosfolipidler, biyosürafaktanlar, polisakaritler, proteinler ve biyopartiküller gibi doğal bitki bazlı alternatifler ön plandadır (Bai ve ark., 2017; Shu ve ark., 2018).

Polisakaritlerin gıda endüstrisinde stabilizatör olarak kullanımı yaygındır. Pektin, nişasta ve selüloz gibi bitkisel kaynaklı karbonhidratların bu alanda kullanımını konu alan çalışmalar literatürde mevcuttur (Leroux ve ark., 2003; Zhu, 2019; Wan ve ark., 2021). Polisakaritlerin kendine özgü doğası nedeniyle emülsiyon içerisindeki sergilemiş olduğu davranışlar da farklılık göstermektedir. Dolayısıyla stabilizatör olarak kullanılması düşünülen materyallerin emülsiyona sağlamış olduğu avantaj ve/veya dezavantajları ortaya koymak önem arz etmektedir.

Bu çalışma kapsamında öncelikle bitkisel kaynaklı 3 polisakaritin (Arap zamkı, karboksimetil selüloz ve maltodekstrin) doğal yapısı FTIR spektroskopisi ile incelenmiştir. Ayrıca, Arap zamkı, karboksimetil selüloz ve maltodekstrin materyallerinin emülsiyon içerisinde sergilemiş olduğu davranışlar emülsiyon aktivitesi, emülsiyon stabilitesi, stabilite indeksi, stabilite katsayısı ve santrifüj çökme oranı analizleri ile araştırılmıştır.

MATERYAL VE METOT

Materyal

Başlangıç materyalleri olan Arap zamkı Sigma-Aldrich (St. Louis, MO, ABD), karboksimetil selüloz ZAG Kimya (İstanbul, Türkiye) ve maltodekstrin Merck (Darmstadt, Almanya) firmalarından temin edilmiştir. Çalışma kapsamında kullanılan kimyasalların analitik saflıkta olmasına dikkat edilmiştir. Aksi bir durum belirtilmedikçe Sigma ve Merck tarafından üretilen kimyasallar kullanılmıştır.

FTIR Spektroskopisi

Arap zamkı, karboksimetil selüloz ve maltodekstrin FTIR cihazına (Shimadzu, Japonya) dikkatli bir şekilde yerleştirilmiştir. Spektrum taraması 4000 ile 600 cm^{-1} aralığında gerçekleştirilmiş olup tarama sırasında çözünürlük değeri 1 cm^{-1} olarak ayarlanmıştır (Lei ve ark., 2018).

Emülsiyon Özellikleri

Emülsiyonların hazırlanması

Öncelikle karbonhidratlardan 0.5 g tartılmış ve 100 mL 10 mM potasyum fosfat tamponu (pH 7.0) içerisinde tamamen çözündürülmüştür. Çözündürülme işleminden sonra su içerisinde yağ emülsiyonlarını (%25, v/v) oluşturmak için hazırlanan solüsyonlar (7.5 mL) mısır yağı (2.5 mL) ile 1 dk boyunca 12.000 rpm'de Ultra-Turrax homojenizatör (Model T18, Staufen, Almanya) kullanılarak karıştırılmıştır (Lee ve ark., 2021).

Emülsiyon aktivitesi ve emülsiyon stabilitesi

Hazırlanan emülsiyonlardan 50 μL alınmış ve daha önceden hazırlanmış 5 mL %0.1 (w/v)'lik sodyum dodesil sülfat ile bir tüp içerisinde homojen bir şekilde karıştırılmıştır. Homojenizasyon işleminden sonra örneklerin emülsiyon aktivitelerini belirlemek için karışımların absorbanı dalga boyu 500 nm'ye ayarlanmış UV-Vis spektrofotometre (Model UV-1280, Shimadzu, Japonya) ile okunmuştur. Emülsiyon stabilitesi için ise homojenizasyondan 10 dk sonra karışımların absorbanı

değeri emülsiyon aktivitesi ile aynı koşullarda tespit edilmiştir. Karbonhidratların emülsiyon aktivitesi ve emülsiyon stabilitesi değerlerini belirlemek için aşağıda verilen Eşitlik 1. ve 2. kullanılmıştır.

$$\text{Emülsiyon aktivitesi} \left(\frac{m^2}{g} \right) = \frac{2 * 2.303 * A_i * SF}{C * \varphi * \theta * 1000} \quad (1)$$

$$\text{Emülsiyon stabilitesi} (dk) = \frac{A_i}{(A_i - A_{10})} * 10 \quad (2)$$

A_i = Homojenizasyon işleminden sonra ölçülen absorban değerleri; SF = Seyreltme faktörü; C = Karbonhidrat konsantrasyonu (5 mg mL⁻¹); φ = Optik yol; θ = Yağ hacim fraksiyonu; A_{10} = Homojenizasyon işleminden 10 dk sonra ölçülen absorban değerleri (Lee ve ark., 2021).

Stabilite indeksi

On mL taze hazırlanmış emülsiyonlar 15 mL hacme sahip santrifüj tüplerine ilave edilmiş ve örnekler 4000 x g'de 5 dk boyunca santrifüjleme işlemine maruz bırakılmıştır. Santrifüj işleminden sonra Arap zamkı, karboksimetil selüloz ve maltodekstrin kullanılarak hazırlanan emülsiyonların tüpler içerisinde hacimsel olarak kapladıkları yağ (üst faz), emülsiyon (orta faz) ve serum (alt faz) fazlarının oranları baz alınarak stabilite indeksi analizi yorumlanmıştır (Wang ve ark., 2016).

Stabilite katsayısı

Taze hazırlanmış emülsiyonlar (10 mL) 2000 x g'de 15 dk süre ile santrifüj edilmiştir. Süre sonunda süpernatantlar alınmış ve 100 kat seyreltilmiştir. Orijinal ve seyreltilmiş örneklerin absorbanı UV-Vis spektrofotometre kullanılarak 750 nm'de okunmuştur. Absorbanslar not edilmiş ve stabilite katsayısını hesaplamak için aşağıda verilen Eşitlik 3.'te ilgili yerlerde yerleştirilmiştir.

$$\text{Stabilite katsayısı} (R) = \frac{A_2}{A_1} \quad (3)$$

A_1 = Orijinal örneğin absorban değeri; A_2 = Seyreltilmiş örneğin absorban değeri (Li ve ark., 2019).

Santrifüj çökme oranı

Örnekler (10 mL) 2500 x g'de 40 dk süre ile santrifüj edildikten sonra süpernatant uzaklaştırılmıştır. Uzaklaştırma işleminden sonra alt kısmında tortu (çökelti) bulunan santrifüj tüpleri 30 dk boyunca ağız kısımları aşağı olacak şekilde tutulmuştur. Süre sonunda santrifüj tüplerinde kalan tortunun (çökeltinin) ağırlığı not edilmiş ve aşağıda verilen formül yardımıyla santrifüj çökme oranı hesaplanmıştır (Li ve ark., 2019).

$$\text{Santrifüj çökme oranı} = \frac{m_2}{m_1} * 100 \quad (4)$$

m_2 = Tortu (çökelti) ağırlığı; m_1 = Başlangıçtaki emülsiyonun (10 mL) ağırlığı.

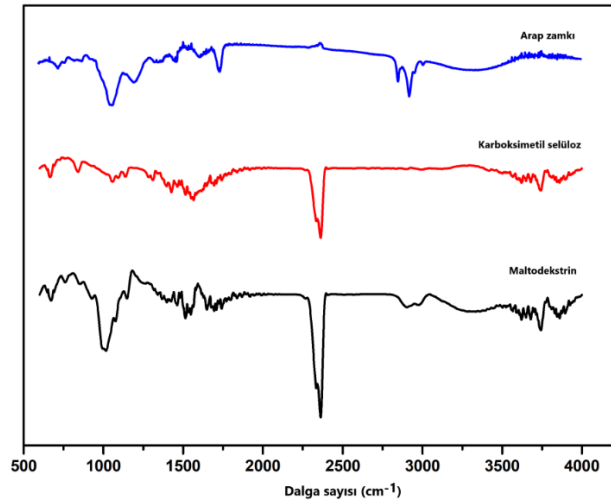
İstatistiksel Analizler

Çalışmalar minimum 2 tekerrürlü olarak yürütülmüştür. Ortalamalar arasındaki istatistiksel farklılıklar SPSS 22 paket programı (SPSS Inc., Şikago, IL, ABD) ile değerlendirilmiş ve t testi $p < 0.05$ istatistiki önem düzeyinde belirlenmiştir. Grafiklerin çiziminde OriginPro 8 (Origin Lab Inc., Northampton, ABD) programından yararlanılmıştır.

BULGULAR VE TARTIŞMA

FTIR Spektroskopisi

Arap zımkı, karboksimetil selüloz ve maltodekstrin örneklerinin FTIR spektrumları Şekil 1'de verilmiştir. Karbonhidratların genel olarak benzer spektrumlar sergilediği tespit edilmiştir. Bu yüzden çalışmanın bu kısmında Arap zımkı, karboksimetil selüloz ve maltodekstrin için ortaya çıkan absorpsiyon bantları genel olarak değerlendirilmiştir. Yaklaşık 3350 ve 2900 cm^{-1} 'de ortaya çıkan pikler sırasıyla karbonhidratların yapısındaki O-H ve C-H germe titreşimleri ile ilişkilendirilebilir. C=O gerilmesi ve N-H bükülmesi ile ilişkili olan bantlar 1600-1700 cm^{-1} dalga boyları arasındadır. Karbonhidratlarla ilgili diğer karakteristik bantlar yaklaşık 1500 cm^{-1} (CH_2 bükme), 1300 cm^{-1} (O-H bükme), 1022-1060 cm^{-1} (C-O germe ve C-O-H bükme) ve 618-920 cm^{-1} (prinoz halkalarının iskelet modu titreşimleri) dalga sayılarında görülmüştür (Bashir ve Haripriya, 2016; Kang ve ark., 2019).



Şekil 1. Karbonhidratların FTIR spektrumları

Emülsiyon Aktivitesi ve Emülsiyon Stabilitesi

Arap zımkı, karboksimetil selüloz ve maltodekstrin örneklerinin emülsiyon aktivitesi ve emülsiyon stabilitesi ile ilgili sonuçlar Çizelge 1'de sunulmuştur. Emülsiyonların hazırlanmasında kullanılan karbonhidrat tipine göre emülsiyon aktivitesi ve emülsiyon stabilitesi değerlerinin farklılık gösterdiği tespit edilmiştir ($p < 0.05$). Arap zımkı ($70.22 \text{ m}^2/\text{g}$) kullanılarak hazırlanan emülsiyonlarda emülsiyon aktivitesi sonuçlarının diğer karbonhidratlarla hazırlanan örneklerden daha yüksek olduğu belirlenmiş olup bu karbonhidratı sırasıyla karboksimetil selüloz ($28.80 \text{ m}^2/\text{g}$) ve maltodekstrin ($12.58 \text{ m}^2/\text{g}$) takip etmiştir. Benzer trend emülsiyon stabilitesi sonuçlarında da gözlemlenmiştir. Bu değer karboksimetil selüloz için 9.41 dk ve maltodekstrin için 4.67 dk olarak ölçülmüştür. Yüzey aktif bileşenlerden olan Arap zımkının emülsiyon oluşturma ve stabilize etme açısından başarısı farklı çalışmalarda konu olarak işlenmiştir. Bai ve ark. (2017) tarafından yürütülen bir çalışmada Arap zımkı, pektin ve mısır lifi gamı örneklerinin emülsiyon içerisinde sergilemiş oldukları davranışlar araştırılmıştır. İlgili karbonhidratların sergilemiş oldukları davranışları değerlendirmek için ara yüzey özellikleri ve nihai emülsiyonların ortalama damlacık çapları incelenmiştir. Emülsiyon içerisinde karbonhidrat miktarı arttırıldığında ara yüzey geriliminin ve damlacık çapının azalma eğiliminde olduğu ve bu özelliklere bağlı olarak stabilitenin arttığı belirtilmiştir. Ara yüzey gerilimindeki ve damlacık çapındaki azalma karbonhidrat tipine bağlı olarak farklılık göstermiş ve emülsiyon içerisinde Arap zımkının ve pektinin benzer davranış sergiledikleri tespit edilmiş ve bu karbonhidratların emülsiyon oluşturmada stabilizatör olarak mısır lifi gamlarına göre daha avantajlı oldukları

belirlenmiştir. Karbonhidratlar arasında emülgatör olarak Arap zamkının ön plana çıkmasının nedeni zincirde yer alan hidrofilik grupların veya proteinlerin varlığına bağlanabilir (Dickinson, 2003). Bu yaklaşım mevcut çalışmanın sonuçları ile de desteklenmektedir. Arap zamkı ve karboksümetil selüloz örneklerine kıyasla daha düşük emülsiyon aktivitesi ve emülsiyon stabilitesi değerleri maltodekstrin kullanılarak hazırlanan emülsiyonlarda tespit edilmiştir. Bu farklılık, maltodekstrinin doğal yapısında var olan hidrofilik grupların sayısı ile ilişkilendirilebilir. Ayrıca, Arap zamkı ve karboksümetil selüloz örneklerinin yağ-su arayüzüne daha hızlı bir şekilde adsorpsiyonu farklılığın diğer bir nedeni olarak verilebilir (Qu ve ark., 2018). Maltodekstrinin daha yavaş adsorpsiyonu emülsiyon sistemlerindeki damlacıklar arası elektrostatik itme kuvvetinin azalmasına neden olur. Bu durumda damlacıklar kolay bir şekilde bir araya gelerek emülsiyonların stabiliteelerini olumsuz yönde etkileyecek davranışlar sergilerler (Sun ve ark., 2021).

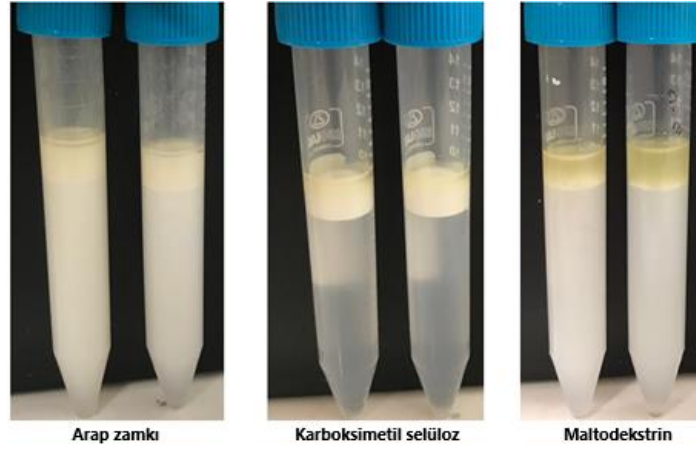
Çizelge 1. Emülsiyon aktivitesi ve emülsiyon stabilitesi

Örnekler	Emülsiyon aktivitesi (m ² /g)	Emülsiyon stabilitesi (dk)
Arap zamkı	70.22±1.15 ^a	25.10±1.32 ^a
Karboksümetil selüloz	28.80±0.52 ^b	9.41±0.25 ^b
Maltodekstrin	12.58±0.37 ^c	4.67±3.98 ^c

Sonuçlar ortalama±standart sapma olarak verilmiş, aynı sütundaki farklı küçük harfler (^{a-c}) örnekler arasındaki istatistiksel farklılıkları ifade etmektedir ($p<0.05$)

Stabilite İndeksi

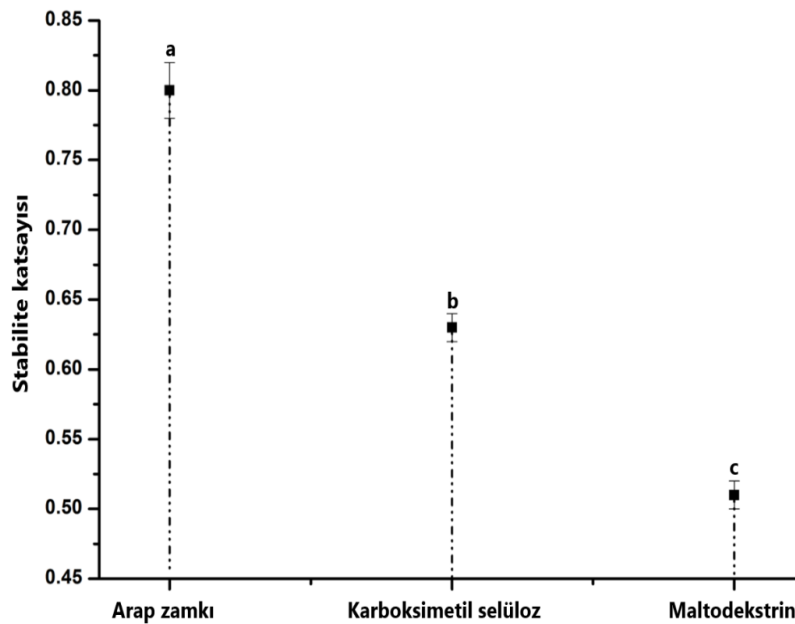
Arap zamkı, karboksümetil selüloz ve maltodekstrin kullanılarak hazırlanan emülsiyonların stabilite indeks sonuçları Şekil 2’de verilmiştir. Stabilite indeksinin değerlendirilmesinde hazırlanan emülsiyonların santrifüjleme işlemi sonrasındaki görüntüleri dikkate alınmıştır. Arap zamkı ve maltodekstrin içeren örneklerde aşağıdan yukarıya doğru sırayla küçük yağ damlacıklarına sahip emülsiyon, krem ve yağ olmak üzere 3 farklı faz gözlemlenmiştir (Şekil 2). Buna karşın karboksümetil selülozun kullanıldığı emülsiyon örneklerinde ise serum, krem ve yağ fazları tespit edilmiştir. Şekil 2’de de görüldüğü üzere ilgili fazların hacimsel değerleri örnekten örneğe farklılık göstermektedir. Maltodekstrin ile hazırlanan örnekler ile kıyaslandığında krem fazının (yağ damlacıkları ve emülgatörü bir arada bulunduran asıl emülsiyon fazı) karboksümetil selüloz içeren emülsiyonlarda daha fazla olduğu söylenebilir. Yağ fazına gelince, emülsifikasyon işleminde maltodekstrinin tercih edilmesi hacimsel olarak yüksek yağ fazına sahip emülsiyonların oluşmasına neden olmuştur. Bu durum, yağ damlacıklarını kaplayan ara yüzey tabakalarının santrifüjleme işlemine bağlı olarak kolay bir şekilde parçalanması ile açıklanabilir. Karboksümetil selülozun varlığı yağ damlacıklarının bir araya gelmesini minimize ettiği tespit edilmiştir; ancak serum fazı için benzer başarı tespit edilmemiştir. Arap zamkının, karboksümetil selüloz gibi yağ damlacıklarının kümelenmesini engellediği belirlenmiştir. Ayrıca, Arap zamkının emülgatör olarak kullanıldığı örneklerde serum fazı gözlemlenmemiştir. Elde edilen veriler yüzey aktif madde özelliği açısından Arap zamkının öne çıktığını açık bir şekilde göstermiştir. Yağ ve serum fazı bir emülsiyonun stabilite indeksini değerlendirmek açısından önemli olup bu fazların olabildiğince minimum seviyelerde olması arzu edilir (McClements, 2007). Daha önce yürütülmüş bir çalışmada Arap zamkı, pektin ve mısır lifi gamı ile hazırlanan emülsiyonlar 7 günlük depolayama tabii tutulmuş ve örneklerde meydana gelen değişimler incelenmiştir. Mısır lifi gamı ile hazırlanan emülsiyonlarda 1. gün sonunda faz ayrımları görülmeye başlanmasına karşın Arap zamkı ve pektin içeren örneklerde depolamanın son gününde dahi net faz ayrımları görülmemiştir (Bai ve ark., 2017). Başka bir çalışmada selüloz nanokristallerin varlığında hazırlanmış olan emülsiyon sistemlerinde stabilite indeks analizi yapılmış ve analiz sonunda yağ fazının net bir şekilde ayrıldığı belirlenmiştir (Wang ve ark., 2016).



Şekil 2. Emülsiyonların stabilite indeksi

Stabilite Katsayısı

Farklı karbonhidratların emülgatör olarak kullanıldığı su içinde yağ emülsiyonlarına ait stabilite katsayısı sonuçları Şekil 3'te sunulmuştur. Karbonhidrat tipinin ilgili parametre üzerine etkisi istatistiksel olarak önemli bulunmuştur ($p<0.05$). Arap zamkı, karboksimetil selüloz ve maltodekstrin ile hazırlanan emülsiyonlar için stabilite katsayısı değeri sırasıyla 0.80, 0.63 ve 0.50 olarak tespit edilmiştir. Li ve ark. (2019) kolza proteini izolatu/Arap zamkı ile hazırlanan emülsiyonlarda stabilite katsayısını araştırmışlar. Yazarlar sadece protein içeren emülsiyonlar için bu değer yaklaşık 0.4 olduğunu rapor etmişlerdir. Emülsiyon içerisine Arap zamkı (%1 ve 3, w/v) ilavesi ile stabilite katsayısının 0.8'in üzerine çıktığı belirlenmiştir. Li ve ark. (2019) stabilite kat sayısının daha yüksek olduğu emülsiyonların daha kararlı yapıda olduğunu bildirmişlerdir. Arap zamkı ile ilgili bu yaklaşım stabilite indeksi ile de desteklenmektedir. Şekil 2 incelendiğinde Arap zamkı ile hazırlanan emülsiyonlarda yağ damlacıklarının askıda kaldığı ve daha stabil emülsiyonların elde edildiği görülmektedir. Bu durum, negatif yüklü Arap zamkının emülsiyon içerisindeki elektrostatik itme kuvvetlerini artırarak agregasyon oluşumunu engellemesi ile açıklanabilir (Aghajanzadeh ve ark., 2017).

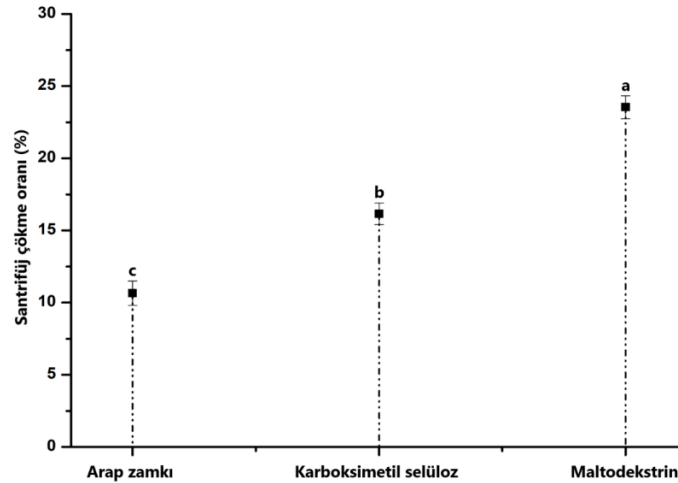


Şekil 3. Emülsiyonların stabilite katsayısı

Sonuçlar ortalama±standart sapma olarak verilmiş, farklı küçük harfler (a-c) örnekler arasındaki istatistiksel farklılıkları ifade etmektedir ($p<0.05$)

Santrifüj Çökme Oranı

Santrifüj çökme oranı ile stabilite katsayısı arasında negatif yönde bir ilişki vardır. Santrifüj çökme oranı yüksek olan emülsiyonların kararlılığı daha düşüktür (Zou ve ark., 2020). Bu oran emülsiyonlarda kullanılan karbonhidrata göre farklılık göstermiş olup sonuçlar istatistiksel olarak önemli bulunmuştur ($p<0.05$). Santrifüj çökme oranı Arap zımkı ile hazırlanan emülsiyonlar için %10.65, karboksimetil selüloz içeren emülsiyonlarda ise %16.15 olarak belirlenmiştir. Emülgatör olarak maltodekstrin kullanımı ile santrifüj çökme oranı %23.55 seviyelerine kadar çıkmıştır. Bilimsel literatürde santrifüj çökme oranı ile ilgili çalışmalar kısıtlı olup literatürde karbonhidratlarla ilgili herhangi bir veri seti tespit edilmiştir. Bu yüzden elde edilen sonuçlar protein örnekleri ile kıyaslanmıştır. Kolza tohumu proteini (%3, w/v) kullanılarak hazırlanan emülsiyonlarda (pH 7) santrifüj çökme oranı %40'ın üzerinde bulunmuştur. Emülsiyonların stabilizasyonunda protein ile birlikte Arap zımkının kullanımı santrifüj çökme oranında önemli seviyelerde düşüşe neden olduğu not edilmiştir. Oransal olarak %1 ve %3 (w/v) Arap zımkı içeren emülsiyon sistemlerinde bu değerin sırasıyla %15 ve %5 seviyelerine kadar düştüğü rapor edilmiştir (Li ve ark., 2019). Başka bir çalışmada kazein-maltodekstrin-soya yağı içeren emülsiyon sistemlerine farklı oranlarda Arap zımkı ilave edilmiş ve örnek içerisindeki Arap zımkının konsantrasyonuna bağlı olarak santrifüj çökme oranının %3-4 arasında değişiklik gösterdiği not edilmiştir (Liu ve ark., 2020). Çalışmalar arasındaki bu dikkate değer farklılık emülsiyonların hazırlanma yöntemi ve emülsiyon sistemini oluşturan materyallerin tipi ile açıklanabilir. Arap zımkının emülsiyon sistemleri içerisinde sergilemiş olduğu davranış damlacıklar arasındaki van-der-Waals ve hidrofobik etkileşimleri önlemede güçlü olması ile açıklanabilir. Bu polisakkaritin emülsiyon içerisindeki davranışları emülsiyon aktivitesi, emülsiyon stabilitesi, stabilite indeksi ve stabilite katsayısı analizlerinde elde edilen veri setleri ile desteklenmektedir. Literatürde de emülsiyonlarda Arap zımkı varlığının santrifüj çökme oranında azaltıcı yönde bir etkiye sahip olduğu belirtilmiştir. Arap zımkının arzu edilen özellikleri yapısında yer alan proteinler ile ilgili olabilir. Randall ve ark. (1988) su içinde yağ emülsiyonlarının stabilizasyonunda emülgatör olarak Arap zımkı kullanmışlar ve bu polisakkaritin sadece %1-2'lik kısmının yağ su ara yüzeyinde adsorbe olduğunu rapor etmişlerdir. Yazarlar adsorbe olan kısımların yaklaşık %20'sini protein yapılarının oluşturduğunu tespit etmişlerdir. Bu oranlardan yola çıkarak Arap zımkının emülsiyonlar içerisinde sergilemiş olduğu üstün özellikler, yapıdaki protein kökenli materyallere atfedilmiştir.



Şekil 4. Emülsiyonların santrifüj çökme oranları

Sonuçlar ortalama±standart sapma olarak verilmiş, farklı küçük harfler (a-c) örnekler arasındaki istatistiksel farklılıkları ifade etmektedir ($p<0.05$)

SONUÇ

Sağlıklı beslenme alışkanlığının arttığı günümüzde insan beslenmesinde vazgeçilmez olan emülsiyonların sağlığı olumsuz yönde etkilemeyecek/mümkünse besinsel değeri olan stabilizatörler kullanılarak elde edilmesi ve pazara sunulması önem arz etmektedir. Bu bağlamda sağlık üzerine pozitif etkisi olan bitkisel orijinli karbonhidratlar ve proteinler son yıllarda ön plana çıkmaktadır. Her besinsel değeri olan materyali stabilizatör olarak değerlendirmek doğru bir yaklaşım değildir. Kullanılan materyalin farklı analiz yöntemleri ile emülsiyon içerisinde sergilemiş olduğu davranışların ortaya konması gerekmektedir. Mevcut çalışmada da karbonhidratların stabilizatör olarak su içinde yağ emülsiyonlarındaki davranışları farklı analiz teknikleri ile incelenmiştir. Karboksümetil selüloz ve maltodekstrin ile kıyaslandığında, Arap zamkı kullanılarak hazırlanan emülsiyonların daha üstün stabiliteye sahip olduğu tespit edilmiştir. Bir başka ifade ile diğer iki karbonhidrat ile karşılaştırıldığında, Arap zamkı emülsiyon sistemlerinde halihazırda kullanılan sentetik muadillerine alternatif olarak ön plana çıkmıştır. Dolayısıyla, çalışma bu haliyle insan sağlığı üzerine olumsuz etkileri olan sentetik emülgatörler yerine doğal yapıların bu alanda kullanımı için yol gösterici niteliktedir. İleride yürütülecek çalışmalarda Arap zamkının ve farklı bitkisel kaynaklı doğal yapıların emülsiyon sistemlerinde sergilemiş olduğu davranışlar sentetik emülgatörler ile karşılaştırılabilir. Emülsifiye edici özellik açısından en az sentetik muadilleri seviyesinde olan doğal yapıların tespit edilmesi ve gıda endüstrisine dahil edilmesi önem arz etmektedir. Bu bağlamda tek bir materyal ile arzu edilen özellikler sağlanamazsa farklı yapılara sahip doğal emülgatörler birlikte kullanılabilir (karbonhidrat-karbonhidrat, karbonhidrat-protein vb.) ve emülsiyon içerisinde sergilemiş oldukları sinerjik /antagonistik etki araştırılabilir.

Çıkar Çatışması

Makale tek yazarlı olup yazar herhangi bir çıkar çatışması olmadığını beyan eder.

Yazar Katkısı

Makale tek yazarlı olup çalışmaya ait verilerin toplanmasından yazım aşamasına kadar tüm süreçler yazar tarafından organize edilmiştir.

KAYNAKLAR

- Aghajanzadeh, S., Ziaifar, A.M. & Kashaninejad, M. (2017). Influence of Thermal Treatment, Homogenization and Xanthan Gum on Physicochemical Properties of Watermelon Juice: A Response Surface Approach. *LWT-Food Science and Technology*, 85, 66–74. <https://doi.org/10.1016/j.lwt.2017.07.007>
- Bai, L., Huan, S., Gu, J. & McClements, D. J. (2016). Fabrication of oil-in-water nanoemulsions by dual-channel microfluidization using natural emulsifiers: Saponins, phospholipids, proteins, and polysaccharides. *Food Hydrocolloids*, 61, 703–711. <https://doi.org/10.1016/j.foodhyd.2016.06.035>
- Bai, L., Huan, S., Li, Z. & McClements, D. J. (2017). Comparison of emulsifying properties of food-grade polysaccharides in oil-in-water emulsions: Gum Arabic, beet pectin, and corn fiber gum. *Food Hydrocolloids*, 66, 144–153. <https://doi.org/10.1016/j.foodhyd.2016.12.019>
- Bashir, M. & HariPriya, S. (2016). Assessment of Physical and Structural Characteristics of Almond Gum. *International Journal of Biological Macromolecules*, 93, 476–482. <https://doi.org/10.1016/j.ijbiomac.2016.09.009>
- Bouyer, E., Mekhloufi, G., Rosilio, V., Grossiord, J.L. & Agnely, F. (2012). Proteins, polysaccharides, and their complexes used as stabilizers for emulsions: alternatives to synthetic surfactants in the pharmaceutical field? *International Journal of Pharmaceutics*, 436(1–2), 359–378. <https://doi.org/10.1016/j.ijpharm.2012.06.052>

- Cserháti, T., Forgács, E. & Oros, G. (2002). Biological activity and environmental impact of anionic surfactants. *Environment International*, 28(5), 337–348. [https://doi.org/10.1016/S0160-4120\(02\)00032-6](https://doi.org/10.1016/S0160-4120(02)00032-6)
- Dammak, I., Sobral, P. J. D. A., Aquino, A., Neves, M. A. D. & Conte-Junior, C. A. (2020). Nanoemulsions: Using Emulsifiers from Natural Sources Replacing Synthetic Ones—A Review. *Comprehensive Reviews in Food Science and Food Safety*, 19(5), 2721–2746. <https://doi.org/10.1111/1541-4337.12606>
- Dickinson, E. (2003). Hydrocolloids at Interfaces and the Influence on the Properties of Dispersed Systems. *Food Hydrocolloids*, 17(1), 25–39. [https://doi.org/10.1016/S0268-005X\(01\)00120-5](https://doi.org/10.1016/S0268-005X(01)00120-5)
- Kang, Y. R., Lee, Y. K., Kim, Y. J. & Chang, Y. H. (2019). Characterization and Storage Stability of Chlorophylls Microencapsulated in Different Combination of Gum Arabic and Maltodextrin. *Food Chemistry*, 272, 337–346. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2018.08.063>
- Kim, W., Wang, Y. & Selomulya, C. (2020). Dairy and Plant Proteins as Natural Food Emulsifiers. *Trends in Food Science & Technology*, 105, 261–272. <https://doi.org/10.1016/j.tifs.2020.09.012>
- Komaiko, J., Sastrosubroto, A. & McClements, D. J. (2016). Encapsulation of ω -3 Fatty Acids in Nanoemulsion-Based Delivery Systems Fabricated from Natural Emulsifiers: Sunflower Phospholipids. *Food Chemistry*, 203, 331–339. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2016.02.080>
- Kralova, I. & Sjöblom, J. (2009). Surfactants Used in Food Industry: A Review. *Journal of Dispersion Science and Technology*, 30(9), 1363–1383. <https://doi.org/10.1080/01932690902735561>
- Krstonošić, V., Dokić, L., Dokić, P. & Dapčević, T. (2009). Effects of Xanthan Gum on Physicochemical Properties and Stability of Corn Oil-in-Water Emulsions Stabilized by Polyoxyethylene (20) Sorbitan Monooleate. *Food Hydrocolloids*, 23(8), 2212–2218. <https://doi.org/10.1016/j.foodhyd.2009.05.003>
- Lam, R. S. H. & Nickerson, M. T. (2013). Food Proteins: A Review on Their Emulsifying Properties Using a Structure–Function Approach. *Food Chemistry*, 141(2), 975–984. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2013.04.038>
- Lee, H. W., Lu, Y., Zhang, Y., Fu, C. & Huang, D., (2021). Physicochemical and Functional Properties of Red Lentil Protein Isolates from Three Origins at Different pH. *Food Chemistry*, 358, 129749. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2021.129749>
- Lei, M., Jiang, F. C., Cai, J., Hu, S., Zhou, R., Liu, G., Wang, Y. H., Wang, H.B., He, J. R. & Xiong, X.G. (2018). Facile Microencapsulation of Olive Oil in Porous Starch Granules: Fabrication, Characterization, and Oxidative Stability. *International Journal of Biological Macromolecules*, 111, 755–761. <https://doi.org/10.1016/j.ijbiomac.2018.01.051>
- Leroux, J., Langendorff, V., Schick, G., Vaishnav, V. & Mazoyer, J. (2003). Emulsion Stabilizing Properties of Pectin. *Food Hydrocolloids*, 17(4), 455–462. [https://doi.org/10.1016/S0268-005X\(03\)00027-4](https://doi.org/10.1016/S0268-005X(03)00027-4)
- Li, K., Fu, L., Zhao, Y. Y., Xue, S. W., Wang, P., Xu, X. L. & Bai, Y. H. (2020). Use of High-Intensity Ultrasound to Improve Emulsifying Properties of Chicken Myofibrillar Protein and Enhance the Rheological Properties and Stability of the Emulsion. *Food Hydrocolloids*, 98, 105275. <https://doi.org/10.1016/j.foodhyd.2019.105275>
- Li, Q., Wang, Z., Dai, C., Wang, Y., Chen, W., Ju, X., Yuan, J. & He, R. (2019). Physical Stability and Microstructure of Rapeseed Protein Isolate/Gum Arabic Stabilized Emulsions at Alkaline pH. *Food Hydrocolloids*, 88, 50–57. <https://doi.org/10.1016/j.foodhyd.2018.09.020>
- Liu, Y., Wei, Z. C., Deng, Y. Y., Dong, H., Zhang, Y., Tang, X. J. & Zhang, M. W. (2020). Comparison of the effects of different food-grade emulsifiers on the properties and stability of a casein-maltodextrin-soybean oil compound emulsion. *Molecules*, 25(3), 458. <https://doi.org/10.3390/molecules25030458>
- Liwarska-Bizukojc, E., Miksch, K., Malachowska-Jutysz, A. & Kalka, J. (2005). Acute Toxicity and Genotoxicity of Five Selected Anionic and Nonionic Surfactants. *Chemosphere*, 58(9), 1249–1253. <https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2004.10.031>
- McClements, D. J. (2007). Critical Review of Techniques and Methodologies for Characterization of Emulsion Stability. *Critical Reviews in Food Science and Nutrition*, 47(7), 611–649. <https://doi.org/10.1080/10408390701289292>

- McClements, D. J. (2014). Nanoparticle-and Microparticle-Based Delivery Systems: Encapsulation, *Protection and Release of Active Compounds*. CRC press.
- McClements, D. J. (2015). Emulsion Stability. In *Food emulsions*. CRC Press.
- McClements D. J., Bai, L. & Chung, C., (2017). Recent Advances in the Utilization of Natural Emulsifiers to Form and Stabilize Emulsions. *Annual Review of Food Science and Technology*, 8(1), 205–236. <https://doi.org/10.1146/annurev-food-030216-030154>
- Qu, W., Zhang, X., Chen, W., Wang, Z., He, R., & Ma, H. (2018). Effects of ultrasonic and graft treatments on grafting degree, structure, functionality, and digestibility of rapeseed protein isolate-dextran conjugates. *Ultrasonics Sonochemistry*, 42, 250-259. <https://doi.org/10.1016/j.ultsonch.2017.11.021>
- Raikos, V., Duthie, G. & Ranawana, V. (2017). Comparing the Efficiency of Different Food-Grade Emulsifiers to Form and Stabilise Orange Oil-in-Water Beverage Emulsions: Influence of Emulsifier Concentration and Storage Time. *International Journal of Food Science & Technology*, 52(2), 348–358. <https://doi.org/10.1111/ijfs.13286>
- Randall, R. C., Phillips, G. O. & Williams, P. A. (1988). The role of the Proteinaceous Component on the Emulsifying Properties of Gum Arabic. *Food Hydrocolloids*, 2(2), 131–140. [https://doi.org/10.1016/S0268-005X\(88\)80011-0](https://doi.org/10.1016/S0268-005X(88)80011-0)
- Shu, G., Khalid, N., Chen, Z., Neves, M. A., Barrow, C. J. & Nakajima, M. (2018). Formulation and Characterization of Astaxanthin-Enriched Nanoemulsions Stabilized Using Ginseng Saponins as Natural Emulsifiers. *Food Chemistry*, 255, 67–74. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2018.02.062>
- Sun, J., Liu, T., Mu, Y., Jing, H., Obadi, M., & Xu, B. (2021). Enhancing the stabilization of β -carotene emulsion using ovalbumin-dextran conjugates as emulsifier. *Colloids and Surfaces A: Physicochemical and Engineering Aspects*, 626, 126806. <https://doi.org/10.1016/j.colsurfa.2021.126806>
- Vlachy, N., Touraud, D., Heilmann, J. & Kunz, W. (2009). Determining the Cytotoxicity of Catanionic Surfactant Mixtures on HeLa cells. *Colloids and Surfaces B: Biointerfaces*, 70(2), 278–280. <https://doi.org/10.1016/j.colsurfb.2008.12.038>
- Wan, Y., Wang, R., Feng, W., Chen, Z. & Wang, T. (2021). High Internal Phase Pickering Emulsions Stabilized by Co-Assembled Rice Proteins and Carboxymethyl Cellulose for Food-Grade 3D Printing. *Carbohydrate Polymers*, 273, 118586. <https://doi.org/10.1016/j.carbpol.2021.118586>
- Wang, W., Du, G., Li, C., Zhang, H., Long, Y. & Ni, Y. (2016). Preparation of Cellulose Nanocrystals from Asparagus (*Asparagus officinalis* L.) and Their Applications to Palm Oil/Water Pickering Emulsion. *Carbohydrate Polymers*, 151, 1–8. <https://doi.org/10.1016/j.carbpol.2016.05.052>
- Zhu, F. (2019). Starch Based Pickering Emulsions: Fabrication, Properties, and Applications. *Trends in Food Science & Technology*, 85, 129–137. <https://doi.org/10.1016/j.tifs.2019.01.012>
- Zou, W., Tang, S., Li, Q., Hu, G., Liu, L., Jin, Y. & Cai, Z. (2020). Addition of Cationic Guar-Gum and Oleic Acid Improved the Stability of Plasma Emulsions Prepared with Enzymatically Hydrolyzed Egg Yolk. *Food Hydrocolloids*, 105, 105827. <https://doi.org/10.1016/j.foodhyd.2020.105827>