

ULTRASES İLE MODİFİYE EDİLEN AQUAFABA PROTEİN KONSANTRATININ VEGAN MAYONEZ ÜRETİMİNDE KULLANIMI

Yaren Didem ESENDEMİR^{a,b}, Semanur YILDIZ^{a,b,c,*}, Hatice SİÇRAMAZ^{a,b}

^a Sakarya Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Gıda Mühendisliği Bölümü, Sakarya, Türkiye

^b Sakarya Üniversitesi, Sürdürülebilir Gıda İşleme Laboratuvarı (SuProLab), Sakarya, Türkiye

^c Sakarya Üniversitesi, Araştırma, Geliştirme ve Uygulama merkezi (SARGEM), Sakarya, Türkiye

Geliş / Received 07.12.2024; Kabul / Accepted: 13.02.2025; Online baskı / Published online: 20.02.2025

Esendemir, Y. D., Yıldız, S., Sıçramaz, H. (2025). Ultrases ile modifiye edilen aquafaba protein konsantratının vegan mayonez üretiminde kullanımı. GIDA (2025) 50 (2) 147-164 doi: 10.15237/gida.GD24114

Esendemir, Y. D., Yıldız, S., Sıçramaz, H. (2025). Utilization of ultrasound-modified aquafaba protein concentrate in vegan mayonnaise production. GIDA (2025) 50 (2) 147-164 doi: 10.15237/gida.GD24114

ÖZ

Bu çalışma, aquafaba proteinlerinin ultrases (US) teknolojisiyle fonksiyonel özelliklerinin geliştirilerek vegan mayonez üretiminde emülgatör olarak kullanımını incelemektedir. Doğal formdaki aquafaba protein konsantratına (AQ) %80 genlikte 5, 15 ve 25 dakika US uygulanmış ve en yüksek emülsiyon stabilitesi (%9.28) 5 dakikalık sonikasyonla elde edilmiştir (AQUS-5). FTIR ve SEM analizleri, yapısal ve fiziksel değişiklikleri ortaya koymuştur. %70 yağ ve %10 emülgatör (AQ/AQUS-5 ve nohut unu) içeren formülasyonla M-AQ (doğal aquafaba içerikli) ve M-AQUS-5 (modifiye aquafaba içerikli) mayonezler üretilmiş olup kontrol grubu mayonezinde (M) %80 yağ ve %10 yumurta sarısı kullanılmıştır. Depolamanın başlangıcında M mayonezinin sertlik (91 g) ve emülsiyon stabilitesi (5.19%) değerleri M-AQ (78.3 g ve 3.87%) ve M-AQUS-5 (74.5 g ve 4.44%) örneklerinden daha yüksek olduğu belirlenmiştir. Depolama sonunda ise, emülsiyon stabilitesi açısından M-AQ (6.31%) ve M-AQUS-5 (5.53%) örnekleri M mayonezine (3.70%) göre daha istikrarlı bulunmuştur. Bu çalışmada, modifiye aquafaba proteinlerinin yağ oranı azaltılmış vegan gıda ürünü geliştirme potansiyeli ortaya konulmuştur.

Anahtar kelimeler: ultrases, aquafaba, bitkisel protein, emülgatör, kalite özellikleri, depolama

UTILIZATION OF ULTRASOUND-MODIFIED AQUAFABA PROTEIN CONCENTRATE IN VEGAN MAYONNAISE PRODUCTION

ABSTRACT

This study investigates the use of aquafaba proteins as emulsifiers in vegan mayonnaise production by improving their functional properties by ultrasound (US) technology. The natural form of aquafaba protein concentrate (AQ) was sonicated at 80% amplitude for 5, 15, and 25 minutes, with the highest emulsion stability (9.28%) achieved after 5 minutes (AQUS-5). FTIR and SEM analyses revealed structural and physical changes. Mayonnaise formulations containing 70% oil and 10% emulsifier (AQ/AQUS-5 and chickpea flour) were prepared, while the control (M) used 80% oil and 10% egg yolk. Initially, M mayonnaise exhibited higher hardness (91 g) and emulsion stability (5.19%)

* Sorumlu yazar / Corresponding author

✉: semanury@sakarya.edu.tr

☎: +90 (264) 295 5853

☎: +90 (264) 295 5601

Yaren Didem Esendemir; ORCID no: 0009-0001-8357-4960

Semanur Yıldız; ORCID no: 0000-0002-1845-7813

Hatice Sıçramaz; ORCID no: 0000-0002-5943-9566

than M-AQ (78.3 g and 3.87%) and M-AQUS-5 (74.5 g and 4.44%). However, at the end of storage, M-AQ (6.31%) and M-AQUS-5 (5.53%) showed greater emulsion stability than M (3.70%). This study highlights the potential of modified aquafaba proteins in developing reduced-fat vegan food products.

Keywords: ultrasound, aquafaba, plant protein, emulsifier, quality properties, storage

GİRİŞ

Günümüzde gelişen bilinçli tüketici profili, değişen beslenme alışkanlıkları ve hayvansal proteinlere yönelik olumsuz algılar sebebiyle bitkisel kaynaklı alternatif gıda katkı maddelerinin geliştirilmesi kritik bir önem kazanmıştır. Özellikle, vegan ve vejetaryen gibi farklı beslenme rejimlerini benimseyen tüketici gruplarının beklentilerini karşılamak adına gıda sanayiinde kullanılan hayvansal kaynaklı katkı maddelerine alternatif çözümler geliştirilmesi önemli bir gereklilik haline gelmiştir (Erdoğan ve Gürbüz, 2023). Gıda katkı maddeleri, koruma ve stabilizasyon gibi teknolojik amaçlarla gıdaya eklenmekte olup (Yüceer vd., 2020) özellikle yumurta sarısı, süt tozu, jelatin, kolajen ve peynir altı suyu gıda sanayiinde geniş bir kullanım alanı bulan hayvansal kaynaklı katkıları arasında yer almaktadır. Ancak, bu durum hayvansal içerikli ürün tüketmek istemeyen bireyler için kısıtlayıcı bir unsur oluşturmaktadır. Bu sebeple, bitkisel kaynaklı ve protein bazlı katkı maddelerinin geliştirilmesi ve teknofonksiyonel özelliklerinin araştırılması konuları dikkat çekmektedir.

Gıda sanayi atık ve yan ürünlerinin değerlendirilmemesi, çevresel ve ekonomik kayıplara yol açarken içerdiği değerli bileşenlerin kaybına da neden olmaktadır (Badıllı vd., 2020). Bu yan ürünlerin sürdürülebilirlik ve döngüsel ekonomi çerçevesinde değerlendirilmesi ekonomik açıdan katma değer yaratmanın yanı sıra, çevre kirliliğini azaltma, ürün çeşitliliğini artırma ve değerli bileşenleri geri kazanma gibi birçok avantaj sunmaktadır (Ratu vd., 2023). Sürdürülebilirlik, toplumsal ve doğal kaynakların etkin kullanımı ile bu kaynakların geleceğe aktarılmasını hedefleyen bir süreç olup (Gladwin vd., 1995; Güneş vd., 2022) gıda sektöründe de giderek önem kazanmaktadır. Bu bağlamda, protein açısından zengin bitkisel kaynaklı yan ürünlerin geri kazanılarak hayvansal katkılara alternatif olarak kullanılması, hayvansal protein tüketimini sınırlayan bireylerin gereksinimlerine

hitap eden sürdürülebilir çözümler sunma potansiyeli taşımaktadır.

Gıda sistemlerinde yoğunluk farkı nedeniyle karışmayan bileşenlerle homojen bir emülsiyon yapısının elde edilmesi emülgatör ajanlar yardımıyla sağlanmaktadır (Kocacık vd., 2021). Proteinler ise yapılarındaki hidrofilik ve hidrofobik gruplar nedeniyle gıda sistemlerinde emülgatör olarak rol almakta ve stabil bir emülsiyon yapısının oluşmasına katkı sunmaktadırlar (Yüceer vd., 2020). Günümüzde gıda endüstrisinde yumurta sarısı emülgatör olarak yaygın bir şekilde kullanılsa da tüketici beklentilerini karşılama ve artan dünya nüfusunun hammadde arayışına cevap verme gibi amaçlar bilim dünyasını bitkisel bazlı yeni kaynaklar bulma konusunda araştırmalar yapmaya yönlendirmiştir. Bu kapsamda, protein içeren bitkisel kaynaklı gıda sanayi yan ürünlerinden bitkisel protein eldesi, üretilen bitkisel protein izolat ve konsantratlarının emülsiyon oluşturma gibi fonksiyonel özelliklerinin geliştirilmesi ve bu alternatif proteinlerin emülsiyon tipi gıda sistemlerinde emülgatör nitelikli katkı maddesi girdisi olarak kullanılması önemli bir yaklaşım olarak karşımıza çıkmaktadır.

Türkiye'de en yaygın olarak üretilen ve ekilen baklagillerden biri olan nohut, yüksek protein içeriği nedeniyle değerli bir alternatif bitkisel protein kaynağı olarak kabul edilmektedir (Stantiall vd., 2018). Su (aqua) ve baklagiller (faba) anlamına gelen Latince kelimelerden türetilen aquafaba, nohut, bezelye, mercimek ve fasulye gibi baklagillerin kaynatılması ve süzülmesiyle elde edilen kıvamlı sıvıyı ifade etmektedir (He vd., 2021). Konserve endüstrisinde nohut haşlama sonrasında yan ürün olarak açığa çıkan haşlama suyu aquafaba olarak adlandırılmakta ve kuru bazda yaklaşık %18 düzeyinde protein içermekte olup (Meurer vd., 2020), nohut bazlı aquafaba emülgatör özelliklere sahip protein içeriğinden dolayı çeşitli gıda formülasyonları için umut verici

bitkisel bir katkı maddesi olarak kullanılma potansiyeli taşımaktadır. Ayrıca, aquafaba ayrıldıktan sonra nohut danelerinin de yine formülasyona dahil edilmesi hem besinsel açıdan hem de ürüne kıvam kazandırma açısından avantaj sunacağı için farklı beslenme tercihlerini benimseyen bireylerin taleplerini karşılayabilecek niteliktedir.

Nohut proteini gibi bitki bazlı proteinler köpürme, emülsifikasyon ve jel oluşumu gibi tekno-fonksiyonel özellikler sunarak hayvansal proteinlerin yerini alabilecek veya kullanımını azaltabilecek alternatifler haline gelmektedirler; ancak, bitkisel proteinler genellikle hayvansal proteinlere kıyasla daha zayıf teknofonksiyonel özellikler sergilemektedir (Stantiall vd., 2018). Bu özellikleri geliştirmek için araştırmacılar, ultrases (US) teknolojisi de dahil olmak üzere yenilikçi ve çevre dostu teknolojileri araştırmaktadırlar. Ultrases, insan işitmesinin üzerindeki frekanslardaki ses dalgalarıdır. Ultrases prosesinin temel etki mekanizması mekanik titreşimlere ve akustik kaviteasyona dayanmaktadır. Akustik kaviteasyon, ultrases dalgalarının ortam içerisinde yaratmış olduğu basınç farklarına bağlı olarak oluşan, gelişen ve kritik bir noktaya ulaştığında patlayan mikro baloncukların etkisiyle bölgesel sıcaklık ve basınç farklılıkları ile kesme kuvvetlerinin ve türbülans etkisinin oluşumunu kapsamaktadır (Tiwari ve Mason, 2012; Barbosa-Cánovas vd., 2022). Bu kaviteasyon etkisi, proteinlerin konformasyonel yapısında değişikliklere sebebiyet vermekte ve yapıda gömülü olarak bulunan hidrofobik grupları açığa çıkarmaktadır. Bu modifikasyon etkisiyle birlikte bitkisel proteinlerin emülsiyon oluşturma ve çözünürlük gibi teknofonksiyonel özelliklerinde gelişme kaydedilebilmektedir. Ancak, bu teknolojinin etkili kullanımını sağlamak için uygun proses parametrelerinin seçimine yönelik daha fazla araştırmaya ihtiyaç duyulmaktadır.

Bu çalışma, sürdürülebilir gıda üretim sistemlerinin geliştirilmesi ve vegan beslenme rejimi için ürün çeşitliliğinin artırılması ihtiyaçlarına paralel olarak, gıda sanayii yan ürünlerden bitkisel bazlı gıda katkı maddesinin geliştirilmesine ve emülsiyon tipi gıda sistemlerine

entegrasyonuna odaklanmaktadır. Bu çalışmanın amacı, i) Nohut haşlama suyundan elde edilen aquafaba proteinlerinin ultrases prosesi ile modifikasyonunun, ii) Modifiye edilmiş ve edilmemiş aquafaba proteinleri ve haşlanmış nohut danelerinden elde edilen nohut ununun kullanımıyla vegan ve yağı azaltılmış mayonez formülasyonu geliştirilmesinin, iii) Depolama süresince mayonez kalite özelliklerindeki değişimin araştırılmasıdır. Bu kapsamda, ultrases prosesinin aquafaba proteinlerinin emülsiyon oluşturma aktivitesi ve stabilitesi üzerine etkisinin incelenmesi; aquafaba proteinlerinin ve nohut ununun vegan ve yağı azaltılmış mayonez üretiminde yumurta ikamesi olarak kullanılma potansiyelinin değerlendirilmesi ve depolama süresince mayonezlerde renk, emülsiyon stabilitesi ve tekstürel özellikler özelindeki değişikliklerin araştırılması hedeflenmiştir. Bu çalışma, gıda sanayi yan ürünlerinin değerlendirilerek döngüsel ekonomi çerçevesinde yeniden ekonomiye kazandırılması ve sürdürülebilir gıda üretim sistemlerinin geliştirilmesi süreçlerine katkı sunmayı amaçlamaktadır.

MATERYAL VE YÖNTEM

Materyal

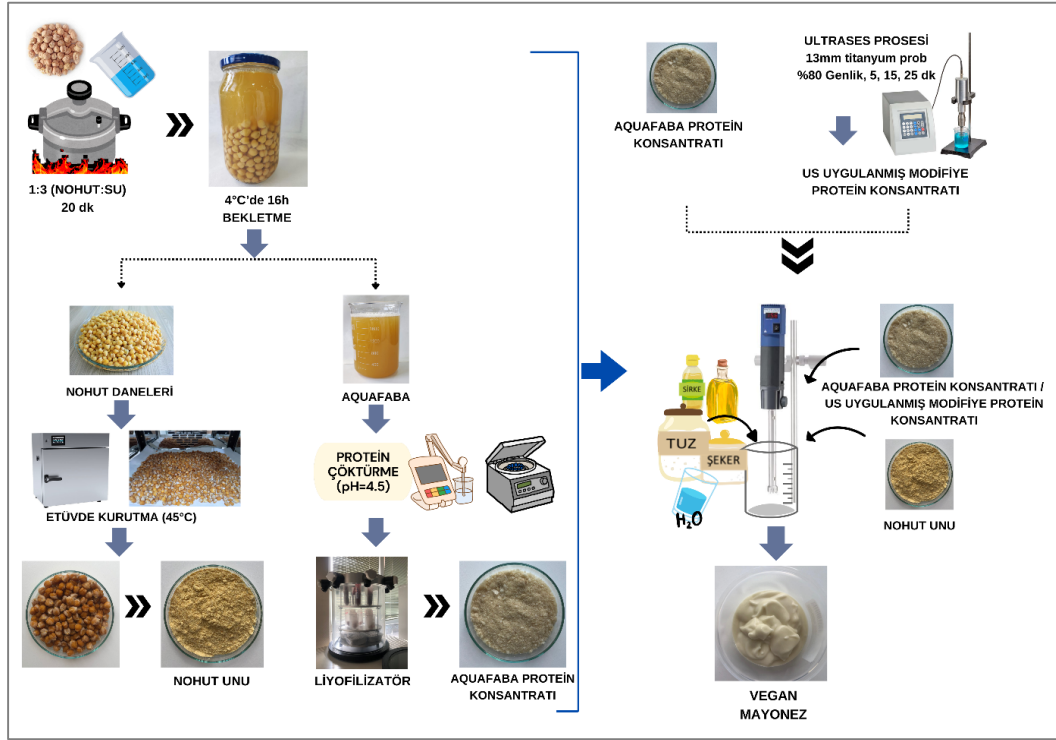
Analizlerde kullanılan dipotasyum fosfat (K_2HPO_4), potasyum dihidrojen fosfat (KH_2PO_4) ve sodyum dodesil sülfat (SDS) Sigma'dan (Merck KGaA, Darmstadt, Germany) temin edilmiş olup aquafaba ve mayonez üretiminde kullanılan nohut, yumurta, ayçiçek yağı, sirke, su, tuz, şeker, gibi diğer malzemeler yerel bir marketten (Sakarya) satın alınmıştır.

Aquafaba ve Nohut Unu Eldesi

Nohuttan aquafaba eldesi Stantiall vd. (2018) metoduna göre gerçekleştirilmiştir. Bu kapsamda, nohut baklagili öncelikle 16 saat kadar suda bekletilmiş ve ardından süzülerek en az 3 kez yıkanmıştır. Yıkanan nohut daneleri üzerine katı:sıvı oranı 1:3 olacak şekilde içilebilir nitelikteki steril su ilave edilerek bir düdüklü tencerede 20 dk haşlanmıştır. Haşlanmış nohut, suyu ile birlikte cam bir kaba aktararak soğumaya bırakılmış ve 24 saat sonra nohut daneleri bir süzgeç yardımıyla ayrılarak haşlama suyu

(aquafaba) elde edilmiştir. Geriye kalan nohut daneleri ise 45°C sıcaklıkta fanlı etüvde 2 gün süresince kurutulmuş ve sonrasında laboratuvar tipi bir blender (Waring, 8011S, Connecticut,

USA) aracılığıyla toz forma getirilerek elde edilen nohut unu 4°C'de hava almayacak şekilde buzdolabı koşullarında muhafaza edilmiştir (Şekil 1).



Şekil 1. Aquafaba protein konsantratlarının ve nohut ununun elde edilmesine ve vegan mayonez üretimine ilişkin şematik gösterim

Figure 1. Schematic representation of the production of aquafaba protein concentrates, chickpea flour and vegan mayonnaise

Aquafaba Protein Konsantratının Üretimi

Nohut danelerinden süzülen ve ayrılan haşlama suyunun pH değeri 1 N HCl kullanılarak izoelektronik noktaya (pH 4.5) getirilmiş ve 24652 x g devirde 10 dk santrifüjlenerek (Beckman Coulter, Allegra 64R, Indianapolis, IN, USA) aquafaba proteinleri çöktürülmüştür. Elde edilen aquafaba protein pelletleri toplanarak 0.01 N NaOH ile nötralize edilmiş ve ardından dondurularak kurutulmuştur (Labconco, Freezone, Kansas, USA). Elde edilen toz formdaki aquafaba protein konsantratı daha sonraki işlem ve analizler yapıncaya kadar 4 °C'de muhafaza edilmiştir. Bu aşamadaki ürün "doğal formdaki aquafaba protein konsantratı" (AQ) olarak adlandırılmıştır.

Aquafaba Proteinlerinin Ultrases Teknolojisi ile Modifikasyonu

Doğal formdaki aquafaba protein konsantratından (AQ) fosfat tamponunda (pH 7.2) %1'lik protein solüsyonları hazırlanmış (100 mL) ve çift cidarlı örnek haznesine alınarak bir ultrasonik homojenizatör (Sonic, VCX750, Newtown, USA) kullanılarak %80 genlik seviyesinde 5, 15, 25 dk süresince ultrasonikasyon işlemine tabii tutulmuştur. Sonikasyonda uygulanan genlik düzeyi daha önceki çalışmalardaki proses koşulları değerlendirilerek seçilmiştir (Meurer vd., 2020; Roosta ve Sourki, 2024). Sıcaklık kontrolünün sağlanması için çift cidarlı örnek haznesine 4 °C sıcaklığa ayarlanmış soğutmalı sirkülatör (Scientz, DC2006, Ningbo, China) bağlanmış ve sıcaklık artışı K-tipi bir

termokupl kullanılarak işlem süresince kontrol edilmiştir. US işleminde 13 mm çaplı titanyum prob kullanılmış ve protein solüsyonu içerisine yaklaşık 1.5 cm kadar daldırılmıştır. Uygulanan işlem süreleri sonucunda protein konsantratlarının pH değeri 1 N HCl ile izoelektrik noktaya (pH 4.5) ayarlanmış ve 24652 x g devirde 10 dakika süresince santrifüjlenerek protein pelletleri toplanmıştır. Toplanan protein peletleri 0.01 N NaOH ile nötrale edildikten sonra dondurularak kurutulmuş ve elde edilen toz ürün "US ile modifiye edilmiş aqua faba protein konsantratu" olarak adlandırılmıştır. Protein konsantratları, uygulanan işlem sürelerini temsil edecek şekilde AQUUS-5, AQUUS-15 ve AQUUS-25 şeklinde kodlanmıştır.

Aqua faba Protein Konsantratlarının Analizleri

Protein içeriği

Aqua faba protein konsantratlarının toplam azot içeriği Kjeldahl metodu kullanılarak belirlenmiştir (AOAC, 2002). Yakma, distilasyon ve titrasyon işlemlerinin ardından 6.25 faktörü kullanılarak örneklerdeki % protein miktarı hesaplanmıştır.

Emülsiyon aktivitesi ve stabilitesi

US uygulanmış ve uygulanmamış aqua faba protein konsantratlarının emülsiyon oluşturma özellikleri emülsiyon aktivitesi indeksi (EAI) ve emülsiyon stabilitesi indeksi (ESI) analizleri ile belirlenmiştir. Bu kapsamda Pearce ve Kinsella (1978) tarafından geliştirilen yöntem modifiye edilerek uygulanmıştır. 0.01 M fosfat tamponu (pH 7.2) içerisinde 10 mg/mL konsantrasyonunda hazırlanan aqua faba protein çözeltilerinden 10 mL alınarak 30 °C'de 30 dakika süre ile bekletilmiş ve daha sonra bu çözelti üzerine 3.25 mL ayçiçek yağı eklenmiş ve dijital kontrollü mekanik bir homojenizatör (Daihan, WiseTis HG-15D, Daihan Scientific, Kore) ile 18000 rpm'de 2 dk homojenize edilmiştir. Bu emülsiyondan 200 µL alınıp 25 mL SDS çözeltisi (10 mg/mL) ilave edilerek UV-Vis spektrofotometrede (Shimadzu, UV-1280, Kyoto, Japan) 500 nm dalga boyunda absorpsiyon ölçümü gerçekleştirilerek EAI değeri belirlenmiştir. Emülsiyon oluşumundan 30 dakika sonra benzer şekilde spektrofotometrede absorpsiyon ölçümü

alınarak ESI belirlenmiştir. EAI ve ESI değerleri, aşağıda verilen Formül [1] ve [2] aracılığıyla hesaplanmıştır.

$$[1] \quad EAI \left(\frac{m^2}{g} \right) = \frac{2 \times 2.203 \times A_0 \times SF}{C \times \Phi \times \theta \times 10000}$$

$$[2] \quad ESI (dk) = \frac{A_0}{A_0 - A_t} \times \Delta t$$

Bu eşitlikte SF seyreltme faktörünü, C başlangıç protein konsantrasyonunu (g/mL), Φ ışık yolunu (1 cm), θ emülsiyon oluşturmada kullanılan yağın fraksiyonunu, A_0 t= 0 anındaki absorpsiyon değerini, A_t t süre sonundaki absorpsiyon değerini ifade etmektedir.

Fourier kızılötesi dönüşümlü spektroskopisi (FTIR)

Protein konsantratlarının FTIR analizi bir Fourier Dönüşümlü Kızılötesi Spektrometresi (Perkin Elmer Spectrum Two) kullanılarak 4 cm⁻¹ çözünürlükte gerçekleştirilmiştir. Bunun için öncelikle havaya karşı ölçüm yapılarak havanın absorpsiyon spektrumu, örneklerin FTIR spektrumlarından çıkarılmış ve liyofileze toz örnekler ölçüm plakasına yerleştirilerek spektrumları 400 ila 4000 cm⁻¹ arasında değişen dalga sayısı bölgesinde alınmıştır.

Taramalı elektron mikroskobu (SEM)

Aqua faba protein konsantratlarının mikro yapısı taramalı elektron mikroskobu (SEM) (Jeol JSM 6060 LV, Japan) kullanılarak incelenmiştir. Analizden önce, numune iletken karbon yapışkanlı çift taraflı bant üzerine yerleştirilmiştir ve ardından toz partiküllere 60 s boyunca altın-platin tabakası ile püskürtmeli kaplama yapılmıştır. Aqua faba protein konsantratlarının SEM görüntüleri 15 kV voltajda farklı büyütme oranlarında (x100, x500, x2000) alınmıştır.

Mayonez Üretimi

Mayonez üretimi Özdemir vd. (2021) tarafından geliştirilen yöntem modifiye edilerek gerçekleştirilmiştir. Her bir mayonez örneği için formülasyonda %10 emülgatör, %7.5 sirke, %2 şeker, %0.5 tuz kullanılmış, farklı yağ (%60-75) ve su (%5-20) oranları test edilerek farklı mayonez üretimleri yapılmıştır. Vegan mayonez formülasyonu, yağ ve su fazlarının birbiriyle homojen bir şekilde bağlanmasını ve istenen kıvamın elde edilmesini sağlamak amacıyla gerçekleştirilen formülasyon denemeleri

sonucunda geliştirilmiştir. Yağ oranının ve aquafaba miktarının ayarlanması, mayonezin kıvamı ve duyu özellikleri üzerinde yapılan gözlemlere dayanarak gerçekleştirilmiş olup vegan mayonez formülasyonu %70 yağ, %10 su, %10 emülgatör, %7.5 sirke, %2 şeker ve %0.5 tuz olarak belirlenmiştir. Formülasyon geliştirme sürecindeki gözlemler *Mayonez Formülasyonunun Optimizasyonu ve Mayonez Üretimi* başlığı altında detaylandırılmıştır. Vegan mayonez formülasyonundaki emülgatör etki aquafaba proteinlerinden sağlanmış, ayrıca nohut unu ise kıvam verici olarak yapıya katkı sunmuştur. Formülasyonda kullanılacak %10'luk emülgatör hazırlanırken; aquafaba protein konsantratu ve nohut unu 1:4 oranında karıştırılmış ve akabinde bu karışıma 1:1 oranında su ilave edilerek 185 rpm'de manyetik karıştırıcıda karıştırılmıştır. Ardından mekanik homojenizatör (Daihan, WiseTis HG-15D, Daihan Scientific, Kore) ile 1 dk 3000 rpm devirde homojenize edilen karışıma tuz ve şeker girdileri de ilave edilmiş ve 1 dk daha homojenizasyona devam edilmiştir. Elde edilen karışıma %70 oranında yağ sırasıyla, 3000 rpm'de 2 dk; 4000 rpm'de 4 dk ve 5000 rpm'de 4 dk olacak şekilde toplamda 10 dk boyunca aşamalı olarak ilave edilmiştir. Bu şekilde US işlemi uygulanmamış doğal formdaki aquafaba protein konsantratu katkısıyla M-AQ mayonezi ve US işlemi uygulanarak modifiye edilmiş aquafaba protein konsantratu katkısıyla da M-AQUS-5 mayonezi üretilmiştir. Kontrol amaçlı olarak aquafaba protein konsantratu yerine yumurta sarısı kullanılarak kontrol mayonezi (M) üretilmiştir. Kontrol mayonezi de yine aynı üretim basamaklarından geçerek elde edilmiş olup formülasyonu ön denemelere dayanarak %80 yağ, %10 yumurta sarısı (emülgatör), %7.5 sirke, %2 şeker ve %0.5 tuzdan oluşmuştur. Üretimi gerçekleştirilen mayonezler, depolama çalışmaları öncesinde 72 °C'de 20 dk boyunca pastörize edilmiştir.

Mayonezin Depolama Süresince İncelenen Özellikleri

Mayonez örneklerinin depolanması

Üretilen M, M-AQ ve M-AQUS-5 mayonezleri 60 gün boyunca 4 °C sıcaklıkta depolanmış ve 0., 7., 14., 30. ve 60. gün örnekleri alınarak pH, renk

özellikleri, emülsiyon stabilitesi ve tekstürel özellikler açısından analiz edilmiştir.

pH ve renk özellikleri

Mayonez örneklerinin pH ölçümleri Ataie, Shekarabi ve Jalili (2019) yöntemine göre gerçekleştirilmiştir. Öncelikle, 5 g mayonez örneği tartılmış, üzerine 45 ml distile su ilave edilerek mekanik homojenizatör ile 3000 rpm'de 1 dk süresince homojenize edilmiş ve akabinde pH değerleri ölçülmüştür. Mayonezlerin renk özellikleri ise (L^* , a^* ve b^*) bir renk ölçüm cihazı (Konica Minolta, CR400, Japan) kullanılarak kaydedilmiştir. Ölçüm öncesinde kolorimetre standart beyaz plaka kullanılarak kalibre edilmiş ve ölçümler en az 3 tekrarlı olacak şekilde alınmıştır. Sonuçlar CIELAB sisteminde ortalama±standart sapma olarak ifade edilmiştir. Depolama süresince örnekler arasındaki toplam renk farklılıkları ilk depolama günü başlangıç alınarak Formül [3] aracılığıyla hesaplanmıştır.

$$[3] \Delta E^* = \sqrt{(\Delta L^*)^2 + (\Delta a^*)^2 + (\Delta b^*)^2}$$

Emülsiyon stabilitesi

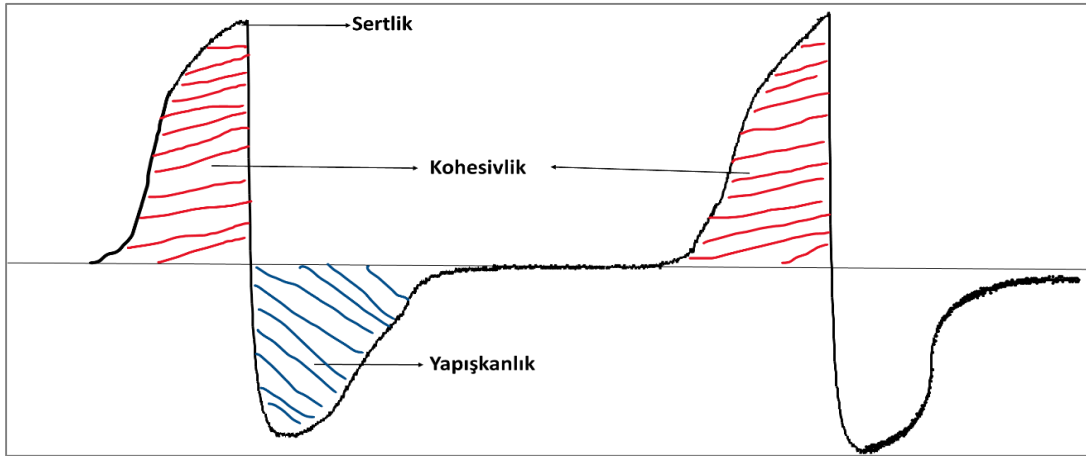
Emülsiyon stabilitesi He vd. (2021) metoduna göre belirlenmiştir. Bu kapsamda, 10 g (F_0) mayonez örneği santrifüj tüpüne alınarak 1860 x g'de 30 dakika süresince santrifüjlenmiştir. Santrifüj sonrası süpernatant (F_1) (g) tartılmış ve mayonez örneklerinin emülsiyon stabiliteyi aşağıda verilen Formül [4] yardımıyla hesaplanmıştır.

$$[4] \text{Emülsiyon stabilitesi (\%)} = \frac{F_1}{F_0} \times 100$$

F_0 : 10 g mayonez örneği, F_1 : Santrifüj sonrası süpernatant (g)

Tekstür profil analizi

Mayonezlerin tekstür profil analizleri bir tekstür analiz cihazı (TexturePro CT3 V1.9 Build 35, Brookfield Engineering Labs Inc., ABD) ile TA-BEC probu kullanılarak ölçülmüş olup analiz koşulları Cedergårdh (2014) yöntemi modifiye edilerek test hızı 1 mm/s, hedef uzunluk 15 mm, trigger yükü 3 g olacak şekilde tasarlanmıştır. Mayonez örneklerinin tekstür profili Şekil 2'de gösterilen temsili tekstür profil analizi ölçüm grafiği dikkate alınarak sertlik, kohesivlik ve yapışkanlık özellikleri üzerinden ifade edilmiştir.



Şekil 2. Mayonezde tekstürel özelliklerin ölçümünde elde edilen tekstür profilinin temsili gösterimi
Figure 2. Representative display of the texture profile obtained in the measurement of textural properties of mayonnaise

Veri Analizi

Aqua faba proteinlerinin modifikasyonu çalışmasında ultrasonikasyon süresi bağımsız değişken, emülsiyon aktivite indeksi ve emülsiyon stabilite indeksi bağımlı değişken olarak ele alınmış olup ultrasonik modifikasyon deneyleri 2 tekrarlı olarak gerçekleştirilmiştir. Mayonezler ise yine 2 tekrarlı olarak üretilmiş olup depolama süresince kalite özelliklerini belirlemek için yapılan analizler ise en az 2 tekrarlı olacak şekilde yapılmıştır. Elde edilen veriler, Minitab 16 (Minitab Inc., State College, PA, ABD) veri analiz programı kullanılarak Tukey karşılaştırmalı ANOVA testi ile %95 güven aralığında değerlendirilmiştir. Sonuçlar ortalama \pm standart sapma şeklinde verilmiştir.

BULGULAR VE TARTIŞMA

Ultras es Prosesiyle Aqua faba Protein Konsantratlarının Modifikasyonu

Aqua faba ürünlerinin protein içeriği

Nohutun haşlanması ve süzülmesi sonucunda elde edilen işlem görmemiş sıvı aqua faba (AQ-sıvı), izoelektronik noktada çöktürülmüş aqua faba (AQ) ve ultrasonik işlem (%80 genlik, 5 dk) uygulanmış aqua faba (AQU5-5) örneklerinin Kjeldahl yöntemiyle belirlenen protein içerikleri Çizelge 1'de gösterilmektedir. Haşlama sonrasında sıvı olarak elde edilen aqua faba %1.25 düzeyinde protein içermekte olup bu bulgu literatürde bulunan diğer çalışmalarla benzer değerlerde seyretmektedir (Raikos vd., 2019; He

vd., 2021; He vd., 2024). AQ ve AQU5-5 ise sırasıyla %54.02 ve %54.49 olarak belirlenmiştir (Çizelge 1). Boye vd. (2010) çalışmasında kabuli nohut proteinlerinin izoelektronik noktada çöktürülmesiyle %63.9 protein içeriğine sahip protein konsantratu üretildiği bildirilmiştir. Dolayısıyla, bu çalışmada da aqua faba protein konsantratlarında önemli düzeyde protein seviyesine ulaşıldığı görülmektedir.

Çizelge 1. Aqua faba ürünlerinin protein içerikleri

Table 1. Protein contents of aqua faba products

Protein kaynağı	Protein (%)
<i>Protein source</i>	<i>Protein (%)</i>
AQ-sıvı (AQ-liquid)	1.25 \pm 0.01 ^b
AQ	54.02 \pm 0.19 ^a
AQU5-5	54.49 \pm 1.02 ^a

AQ-sıvı, nohut haşlama sonrasında elde edilen ilk viskoz sıvı ürünü; AQ, sıvı formdaki aqua fabadan izoelektronik noktada çöktürme işlemiyle üretilen doğal formdaki aqua faba protein konsantratını; AQU5-5, US işlemiyle (%80 genlikte, 5 dk) modifiye edilen aqua faba protein konsantratını temsil etmektedir. Sonuçlar ortalama \pm standart sapma olarak verilmiştir.

AQ-liquid represents the first viscous liquid product obtained after boiling chickpeas; AQ represents the aqua faba protein concentrate in natural form produced by the isoelectronic point precipitation from aqua faba in liquid form; AQU5-5, represents the modified aqua faba protein concentrate sample subjected to US treatment (80% amplitude, 5 min). The results are presented as mean \pm standard deviation.

Aquafaba örneklerinin emülsiyon oluşturma özellikleri
 Aquafaba protein konsantrasyonlarının emülsiyon aktivitesi ve stabilitesi değerleri Çizelge 2'de sunulmuştur. US uygulaması yapılmış numunelerin (AQUS-5, AQUS-15, AQUS-25), EAI değerlerinde kontrol örneğine (AQ) kıyasla bir miktar artış olduğu gözlemlense de bu fark istatistiksel olarak anlamlı bulunmamıştır ($P > 0.05$). Proses sonrasında, emülsiyon oluşturma aktivitesi en yüksek protein konsantrasyonu AQUS-25 numunesi olarak belirlenmiştir ($11.08 \pm 0.23 \text{ m}^2/\text{g}$). Protein konsantrasyonlarının 30 dakika sonrasındaki emülsiyon stabilitesi incelendiğinde ise AQUS-5 ve AQUS-15 numunelerinde kontrol grubuna (AQ) kıyasla kısmi bir iyileşme kaydedilmiştir. AQUS-5 için ESI30 değeri (9.28 ± 0.38), kontrol örneğine (8.98 ± 0.36) göre hafif bir artış göstermiştir. Benzer şekilde, AQUS-15 numunesi de (9.29 ± 0.41) kontrol grubundan yüksek bir stabilite sergilemiştir. Ancak, 25 dakika boyunca uygulanan sonikasyonun ardından, AQUS-25 numunesinin emülsiyon stabilitesinde daha kısa süreli sonikasyon işlemlerine kıyasla belirgin bir azalma (8.58 ± 1.09) gözlemlenmiştir ($P < 0.05$). Sonuçlar, US işlem süresinin emülsiyon özellikleri üzerinde farklı etkiler yaratabileceğini ve özellikle AQUS-5 ve AQUS-15 işlem sürelerinin emülsiyon stabilitesini iyileştirme potansiyeli taşıdığını göstermektedir. Ancak, uzun sonikasyon süresinin emülsiyon stabilitesi üzerinde olumsuz bir etki yaratabileceği anlaşılmaktadır. Yüksek yoğunluklu ultrases işlemi uygulanan genlik, süre, frekans gibi parametrelere bağlı olarak farklı sonuçlar verebilmekte olup literatürdeki çalışmalar ultrases prosesinin bitkisel proteinlerin emülsiyon oluşturma özelliklerini çoğunlukla geliştirdiğini göstermektedir. Örneğin; 450 W gücünde uygulanan ultrases prosesiyle soya protein izolatu için en yüksek emülsiyon stabilitesine ulaşıldığı belirlenmiş olup bu durum ultrases prosesinin proteinlerin yüzey aktivitesini ve emülsiyon oluşturma kapasitesini artırma potansiyeli ile ilişkilendirilmiştir (Wang vd., 2022). Benzer şekilde, badem protein izolatının ultrases işlemi ile modifiye edilmesi, daha küçük partikül boyutları ve proteinlerin yağ-su ara yüzüne daha etkin bir şekilde bağlanmasını sağlamıştır. Bu etkiler, proteinlerin ara yüzeye adsorpsiyon

kapasitesini artırmış ve daha stabil emülsiyonların oluşmasına olanak tanımıştır (Zhu vd., 2018). Öte yandan; Wang vd. (2022) soya protein izolatlarını 100-600 W güç seviyesinde 5 dakika süresince ultrases işlemine tabii tutmuş ve 500 W güçte uygulanan ultrases işleminin en stabil ve kararlı emülsiyonları oluşturduğu bildirilmiştir. Noh vd. (2024) ise, 40 kHz ve 280 W koşullarında 20-60 dakika süresince uygulanan US işleminin çeşitli baklagillerin fizikokimyasal ve yapısal özellikleri üzerindeki etkilerini inceledikleri çalışmalarında, sonikasyon süresi arttıkça tüm baklagillerde EAI ve ESI değerlerinde artış gözlemlendiğini; ancak, 60. dakikadan sonra uzun süreli yüksek yoğunluklu ultrases maruziyetinin proteinlerde meydana gelen yapısal değişiklikler sebebiyle EAI ve ESI değerlerinde azalma gözlemlendiğini raporlamıştır. Bu çalışmada, EAI değerlerinin sonikasyon süresiyle birlikte bir miktar artış göstermesi, literatürle uyumlu bulunmuştur. Ayrıca, Noh vd. (2024) çalışmasına benzer şekilde, AQUS-25 örneklerinde ESI değerlerinde gözlenen azalma, uzun süreli ultrases maruziyetinin proteinlerin emülsiyon stabilitesinde istikrarsızlığa yol açmasıyla ilişkilendirilebilir. Tüm bu veriler ışığında, proses süresi ve enerji tasarrufu parametreleri göz önüne alındığında, 5 dakikalık US uygulamasının seçilmesine karar verilmiştir.

Çizelge 2. Aquafaba protein konsantrasyonlarının emülsiyon oluşturma özellikleri
 Table 2. Emulsification properties of aquafaba protein concentrates

Protein konsantrasyonu <i>Protein concentrate</i>	EAI (m^2/g)	ESI30 (%)
AQ	10.68 ± 0.33^a	8.98 ± 0.36^{ab}
AQUS-5	11.05 ± 0.70^a	9.28 ± 0.38^a
AQUS-15	11.00 ± 0.40^a	9.29 ± 0.41^a
AQUS-25	11.08 ± 0.23^a	8.58 ± 1.09^b

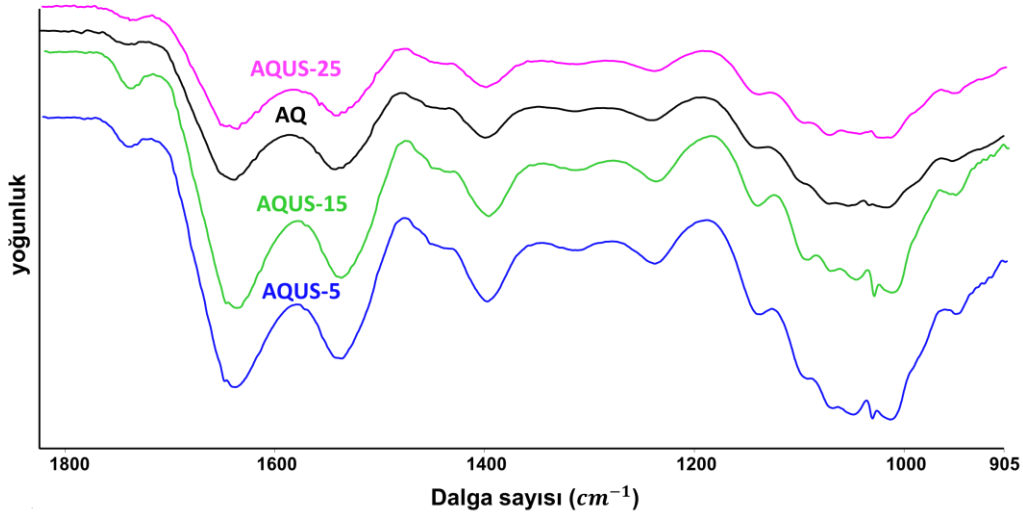
EAI Emülsiyon aktivite indeksini, ESI ise emülsiyon stabilite değerini göstermektedir. ESI30 aquafaba protein konsantrasyonlarının emülsiyon oluştuktan 30 dakika sonrasındaki stabilitesini ifade etmektedir. Sonuçlar ortalama \pm standart sapma olarak verilmiş olup aynı kolonda farklı harfler (a-b) ortalamalar arasındaki istatistiksel farklılığı temsil etmektedir ($P < 0.05$).

EAI represents emulsion activity index, and ESI represents emulsion stability values. ESI30 expresses the stability of aquafaba protein concentrates 30 minutes after emulsion formation. Results are given as mean \pm standard deviation, and different letters (a-b) in the same column represent statistical differences between means ($P < 0.05$).

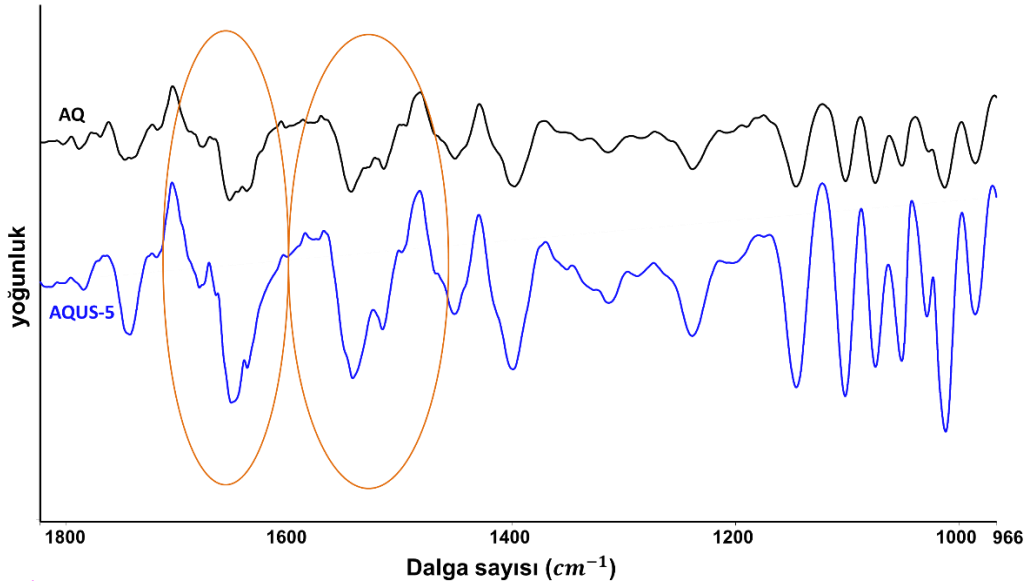
Aquafaba protein konsantrasyonlarının yapısal özellikleri

Doğal formdaki aquafaba protein konsantratu ve US işlemine tabi tutulmuş olan modifiye aquafaba protein konsantratına ait FTIR spektrumları Şekil 3a'da verilmektedir. Özellikle doğal formdaki aquafaba proteinleri (AQ) ile bu çalışma kapsamında seçilmiş olan %80 genlikte 5 dakika sonikasyon uygulamasından elde edilen modifiye aquafaba proteinlerinin (AQU5-5) FTIR spektrumlarının ikincil türevleri (Şekil 3b) incelendiğinde, US uygulamasının aquafaba proteinlerinin konformasyonel yapılarında değişikliklere neden olduğu görülmüştür. Amid-1 ($1700 - 1600 \text{ cm}^{-1}$) ve amid-2 ($1600-1500 \text{ cm}^{-1}$) bölgelerindeki piklerde hem pik yoğunluğu hem de dalga sayısı açısından farklılıklar gözlemlenmiştir. Piklerde görülen bu kaymalar US prosesinin aquafaba proteinlerinin ikincil yapısında belirgin değişikliklere yol açtığını ortaya koymaktadır. US prosesinin kaviteasyon etkisiyle hidrojen bağlarına ve hidrofobik etkileşimlere etki ederek proteinlerin yapılarını açtığı ve proteinlerin ikincil yapılarında değişikliklere sebebiyet vererek α -heliks yapılarının azalmasına ve buna karşılık β -

tabakalarının ve rastgele sarmalların artmasına neden olduğu bildirilmiştir (Tawalbeh vd., 2023; Tian vd., 2024). Dolayısıyla doğal formdaki aquafaba protein konsantratına kıyasla amid-1 ve amid-2 bölgesinde AQU5-5 örnekleri için görülen kaymaların US prosesinin kaviteasyon etkisiyle meydana gelen yapısal değişikliklerden kaynaklandığı düşünülmektedir. Protein yapısında gömülü olarak bulunan hidrofobik grupların kaviteasyon etkisiyle açığa çıkması ise emülsiyonların stabilizasyonu için kritik bir öneme sahiptir. β -tabaka ve rasgele sarmal yapılarına dönüşüm, proteinlerin yağ-su ara yüzüne daha iyi adsorbe olmasını sağlayarak emülsifiye edici aktiviteyi arttırmakta ve daha stabil emülsiyonların oluşmasına katkıda bulunmaktadır (Yang vd, 2022; Kim ve Shin, 2022). Bu bağlamda, aquafaba örneklerinin emülsiyon aktivitesi ve stabilitesi gibi fonksiyonel özelliklerinde gözlemlenen iyileşme, US uygulamasının etkisiyle α -heliks yapılarının rastgele sarmal ve β -tabaka yapısına dönüşmesiyle ilişkilendirilebilir.



(a)



(b)

Şekil 3. Doğal formdaki ve US ile modifiye edilmiş aquafaba protein konsantratlarının FTIR spektrumu

Figure 3. FTIR spectrum of native and US-modified aquafaba protein concentrates

(a) grafiği normal FTIR spektrumunu, (b) grafiği ise ikincil türevi alınmış FTIR spektrumunu göstermektedir. (AQ kısaltması pH 4.5'te çöktürülmüş ve US işlemi uygulanmamış doğal formdaki aquafaba protein konsantratını temsil etmektedir. US ise ultrases prosesini göstermekte olup AQUUS-5, AQUUS-15, AQUUS-25 sırasıyla 5, 15 ve 25 dakika boyunca %80 genlikte US işlemi uygulanmış aquafaba protein konsantratlarını ifade etmektedir.)

Graph (a) shows the normal FTIR spectrum, graph (b) demonstrates the second derivative of the FTIR spectrum. (AQ represents the control aquafaba protein concentrate precipitated at pH 4.5 and not subjected to US treatment. US shows the ultrasound process, and AQUUS-5, AQUUS-15, AQUUS-25 represent the aquafaba protein concentrates subjected to US treatment at 80% amplitude for 5, 15, and 25 minutes, respectively.)

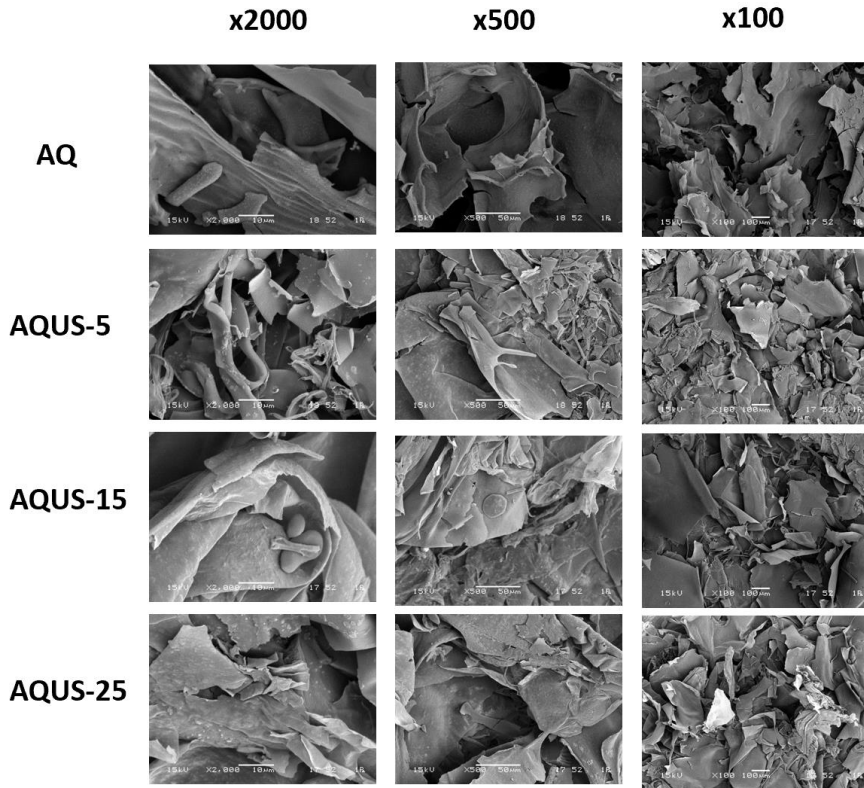
Aquafaba protein konsantratlarının morfolojik özellikleri
Doğal formdaki aquafaba protein konsantratu (AQ) ve US ile modifiye edilmiş aquafaba protein konsantratlarının taramalı elektron mikroskop görüntüleri Şekil 4'te verilmektedir. Kontrol örneğinde plaka görümlü düzenli yapılar gözlemlenirken, US uygulamasıyla bu yapıların yerini kısmen parçalanmış, düzensiz, pul şeklindeki yapılar almıştır. Ayrıca, US prosesinin kavtasyon etkisiyle parçacık boyutlarını küçülttüğü açıkça görülmektedir. Benzer şekilde, başka bir çalışmada da US işleminin bitkisel protein izolatlarında daha yumuşak ve düzensiz yapıların oluştuğu gözlemlenmiştir (Karabulut vd., 2023). Bu bulgular US prosesinin proteinlerin yüzey özelliklerini düzenleyerek fiziksel modifikasyonlara neden olduğunu göstermektedir.

Mayonez Formülasyonunun Optimizasyonu ve Mayonez Üretimi

Mayonez örneklerinin %10 emülgatör ihtiyacı, yumurta sarısına alternatif olarak doğal formdaki aquafaba protein konsantratu ve US ile modifiye edilmiş protein konsantratu kullanılarak karşılanmıştır. Mayonezde yaygın emülgatör ajan olarak yumurta sarısı kullanılmakta ve yumurta sarısının yaklaşık olarak %50 kuru madde içeriğine sahip olduğu ve %17.5 düzeyinde protein içerdiği bilinmektedir (Serdaroğlu ve Deniz, 2002). M-AQ ve M-AQUS vegan mayonezlerinin üretiminde emülgatör etkisinin büyük bir kısmı aquafaba proteinleri tarafından sağlanırken, nohut unu da ilave edilerek hem kuru madde düzeyinin hem de mayonez kıvamının artırılarak uygun tekstürel özelliklerin elde edilmesi hedeflenmiştir. Su ve yağ fazının bağlanarak stabil yapının elde edilebilmesi için birçok ön deneme gerçekleştirilmiş olup bu

denemelerden seçilen bazı görüntüler Şekil 5(a)'da sunulmuştur. Örneğin; %75 yağ ve %5 su içeren formülasyonda, proteinlerin agregat oluşturarak dibe çöktüğü gözlemlenmiştir. Bu durum, formülasyondaki su oranının düşük olması nedeniyle kullanılan sirkenin yeterince seyreltilmemesi ve pH'nın düşmesi sonucu proteinlerin izoelektrik noktaya yaklaşması ve çökme eğilimi göstermesi ile ilişkilendirilmiştir. Diğer bir denemede, %60 yağ ve %20 su kullanılarak üretilen mayonez düşük viskoziteye sahip olmuş ve tüketicilerin beklediği kıvamlı mayonez yapısından oldukça uzak bulunmuştur. %70 yağ ve %20 su içeren formülasyonda ise kıvam bir miktar daha oturmuş olsa da üst yüzeyde yağ fazının ayrıldığı gözlemlenmiştir. Sonuç olarak, en uygun formülasyon %70 yağ, %10 su, %10 emülgatör (aquafaba ve nohut unu),

%7.5 sirke, %2 şeker ve %0.5 tuz kullanılarak M-AQ ve M-AQUS-5 mayonezlerinde elde edilmiştir. Kontrol mayonezi (M) ise %80 yağ, %10 yumurta sarısı, %7.5 sirke, %2 şeker ve %0.5 tuz kullanılarak üretilmiştir. M-AQ ve M-AQUS-5 örneklerinde, kontrol örneği olan M'ye kıyasla %10 daha az yağ kullanılmıştır. Bu bulgu, doğal formdaki ve US ile modifiye edilmiş aquafaba protein konsantratlarının kullanımıyla hem daha düşük yağ içerikli mayonez üretiminin sağlanabileceğini hem de kıvam açısından kabul edilebilir bir yapı elde edilebileceğini göstermiştir (Şekil 5b). Yapılan formülasyon çalışmalarıyla aquafaba ve nohut unu gibi bitkisel kaynaklı sürdürülebilir katkıları kullanarak, kontrole göre yağ oranı %10 azaltılmış ve bilinçli tüketici profiline uygun vegan mayonez üretimi sağlanmıştır.

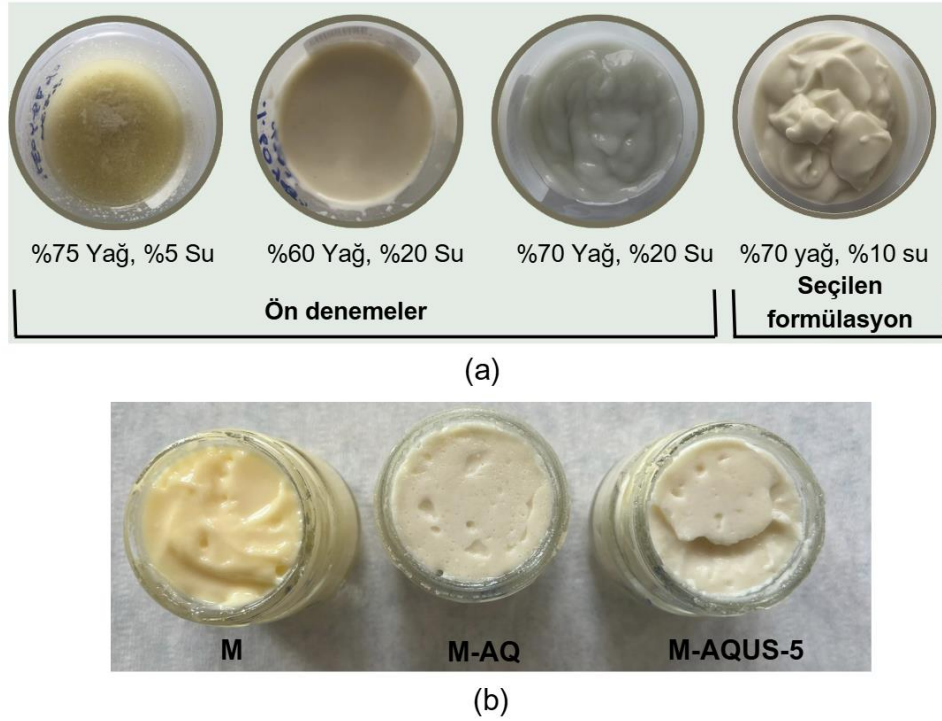


Şekil 4. Doğal formdaki ve US ile modifiye edilmiş aquafaba protein konsantratlarının SEM görüntüleri

Figure 4. SEM images of native and US-modified aquafaba protein concentrates

(AQ modifiye edilmemiş doğal formdaki aquafaba protein konsantratını temsil etmektedir. AQUS-5, AQUS-15 ve AQUS-25 %80 genlikte sırasıyla 5, 15 ve 25 dakika ultrases prosesi uygulanmış modifiye aquafaba protein konsantrlerini göstermektedir.)

(AQ represents the unmodified native form of aquafaba protein concentrate. AQUS-5, AQUS-15 and AQUS-25 represent modified aquafaba protein concentrates that were subjected to ultrasound processing at 80% amplitude for 5, 15 and 25 minutes, respectively.)



Şekil 5. Vegan mayonez geliştirme için formülasyon ön çalışmaları (a) ve seçilen formülasyona göre üretilen mayonezlerin fotoğrafları (b)

Figure 5. Preliminary trials for vegan mayonnaise formulations (a) and images of mayonnaises produced based on the selected formulation (b).

M, M-AQ ve M-AQUS-5 sırasıyla yumurta sarısı kullanılarak üretilen kontrol mayonez örneğini, modifiye edilmemiş aquafaba katkılı mayonez örneğini ve US ile modifiye edilmiş aquafaba proteinleriyle üretilmiş mayonez örneğini temsil etmektedir.

M, M-AQ and M-AQUS-5 represent the control mayonnaise sample produced using egg yolk, the mayonnaise sample with unmodified aquafaba and the mayonnaise sample produced with US modified aquafaba proteins, respectively.

Mayonez Örneklerinin Depolama Sırasındaki Kalite Özellikleri

pH ve renk özellikleri

Tüm mayonez örneklerinin ortalama pH değeri yaklaşık olarak 4.0 seviyesinde seyretmiş olup aynı depolama gününde mayonez örnekleri arasında önemli bir fark gözlenmemiştir ($P > 0.05$). Depolama süresine bağlı olarak aynı örnek gruplarının pH değerlerinde varyasyonlar gözlemlenmiştir (Çizelge 3). Literatürdeki diğer çalışmalar incelendiğinde, bitkisel kaynaklı proteinlerin emülgatör nitelikli kullanımıyla üretilen mayonezlerin pH değerlerinin 3.66 – 4 aralığında değiştiği gözlemlenmekte (Kumar vd., 2021; Sachko vd., 2023) ve bu yönüyle çalışmadan elde edilen çıktıların literatür ile uyduğu görülmektedir. Tavakoli vd. (2021) ise US uygulamasıyla mayonezin pH değerinin düştüğünü belirlemiştir.

Ürün kabul edilebilirliği açısından mayonezdeki en etkin görsel parametrelerden biri olan aydınlık (L^*) değeri, tüm mayonez örnekleri için depolama süresince 69.40 – 73.87 aralığında değişmiş olup analiz günlerinde mayonez örneklerinin L^* değerlerinde önemli bir farklılık görülmemiştir ($P < 0.05$). Kumar vd. (2021), damlacık boyutundaki değişimin, mayonezin L^* değerini değiştirdiğini belirlemiştir. Benzer şekilde, Jung vd. (2024) fıstık yağı ve aquafaba kullanarak elde ettikleri mayonezlerin L^* değerlerinin, yağ damlacık boyutunun azalmasına bağlı olarak arttığını ve bizim çalışmamızdan yüksek değerlerde, 76-81 arasında değiştiğini gözlemlenmiştir. Mayonez örneklerinin a^* değeri ise, yumurta sarısı ile üretilen kontrol grubu mayonezde yeşillik yönünde daha yüksek bulunmuş olup bu trend tüm depolama süresince

devam etmiştir. Mayonez örneklerinin b^* değerleri incelendiğinde, yumurta sarısı içeren kontrol örneğinin yüksek β -karoten içeriği nedeniyle diğer örneklerle kıyasla çok daha yüksek sarılık değerine sahip olduğu (b^* : 18-19) ve bu durumun raf ömrü boyunca devam ettiği gözlemlenmiştir. Jung vd. (2024) ise, aquafaba yerine yumurta sarısı kullanarak elde ettikleri fıstık yağı mayonezlerin sarılık (b^*) değerlerinin, yumurta sarısı konsantrasyonundaki artışa bağlı olarak aquafaba içeren örneklerle kıyasla çok daha yüksek değerlerde seyrettiğini (20-24) belirlemiştir. Her

bir depolama gününe ait örneğin depolama başlangıcındaki mayoneze kıyasla toplam renk farklılıkları da yine Çizelge 3'te verilmiştir. ΔE toplam renk farkı “fark edilmez” (0-0.5), “hafif fark edilir” (0.5-1.5), “fark edilir” (1.5-3.0), iyi düzeyde fark edilir (3.0-6.0) ve “yüksek düzeyde fark edilir” (6.0-12.0) şeklinde kategorize edilmektedir (Cserhalmi vd., 2006). Elde edilen veriler mayonez örneklerinde depolama süresince “fark edilir” ve “iyi düzeyde fark edilir” seviyesinde değişiklikler olduğunu göstermektedir.

Çizelge 3. Depolama süresi boyunca mayonezlerin kalite özellikleri

Table 3. Quality characteristics of mayonnaise during storage period

Depolama süresi (gün) Storage period (day)	Mayonez örneği Mayonnaise samples	pH	Renk özellikleri Color properties			ΔE	Emülsiyon stabilitesi (%) Emulsion stability (%)
			L*	a*	b*		
1	M	4.02±0.04 ^{Aab}	69.40±0.49 ^{Ab}	-1.90±0.06 ^{Ba}	19.2±0.34 ^{Aa}		5.19±0.50 ^{Aa}
	M-AQ	4.12±0.06 ^{Aab}	70.20±1.02 ^{Aa}	-1.20±0.34 ^{ABa}	10.6±0.93 ^{Ba}		3.87±0.77 ^{Aa}
	M-AQUS-5	4.07±0.03 ^{Ab}	70.50±0.25 ^{Ab}	-1.20±0.19 ^{Aa}	10.9±0.22 ^{Ba}		4.44±0.00 ^{Ac}
7	M	4.05±0.08 ^{Aab}	72.32±1.01 ^{Aab}	-1.72±0.05 ^{Ca}	18.42±0.40 ^{Aa}	3.03	4.92±0.02 ^{ABa}
	M-AQ	3.99±0.01 ^{Ab}	73.25±0.58 ^{Aa}	-1.17±0.01 ^{Ba}	10.67±0.41 ^B	3.01	4.12±0.90 ^{Ba}
	M-AQUS-5	4.03±0.04 ^{Ab}	72.41±0.51 ^{Aab}	-0.97±0.00 ^{Aa}	10.64±0.29 ^{Ba}	1.93	6.66±0.00 ^{Aa}
14	M-K	3.66±0.10 ^{Ab}	72.03±0.12 ^{Aa}	-2.04±0.04 ^{Aa}	19.61±0.54 ^{Aa}	2.64	5.55±3.85 ^{Aa}
	M-AQ	3.78±0.07 ^{Ac}	72.53±0.78 ^{Aa}	-1.27±0.11 ^{Aa}	11.28±0.06 ^{Aa}	2.39	6.35±0.06 ^{Aa}
	M-AQUS-5	3.83±0.06 ^{Ac}	73.15±0.32 ^{Aa}	-1.08±0.04 ^{Aa}	10.99±0.15 ^{Aa}	2.64	4.09±0.00 ^{Ad}
30	M	4.01±0.20 ^{Aab}	73.87±0.73 ^{Aa}	-1.91±0.07 ^{Ba}	19.34±0.52 ^{Aa}	4.46	4.15±0.35 ^{Aa}
	M-AQ	3.93±0.03 ^{Abc}	72.33±0.89 ^{Aa}	-1.17±0.01 ^{Aa}	11.86±0.22 ^{Ba}	2.45	4.92±0.34 ^{Aa}
	M-AQUS-5	4.00±0.03 ^{Ab}	72.55±1.00 ^{Aab}	-1.13±0.25 ^{Aa}	10.35±0.50 ^{Ba}	2.11	3.94±0.00 ^{Ac}
60	M	4.13±0.09 ^{Aab}	72.60±0.79 ^{Aa}	-2.20±0.07 ^{Ba}	18.10±0.41 ^{Aa}	3.42	3.70±1.60 ^{Aa}
	M-AQ	4.24±0.04 ^{Aab}	73.40±0.20 ^{Aa}	-1.40±0.04 ^{Aa}	11.30±0.55 ^{Aa}	3.28	6.31±3.13 ^{Aa}
	M-AQUS-5	4.21±0.06 ^{Aa}	73.2±1.12 ^{Aa}	-1.20±0.03 ^{Aa}	10.60±0.00 ^{Ba}	2.75	5.53±0.00 ^{Ab}

M, M-AQ ve M-AQUS-5 sırasıyla yumurta sarısı kullanılarak üretilen kontrol mayonez örneğini, modifiye edilmemiş aquafaba katkılı mayonez örneğini ve US ile modifiye edilmiş aquafaba proteinleriyle üretilmiş mayonez örneğini temsil etmektedir. Sonuçlar ortalama \pm standart sapma olarak verilmiştir. Aynı sütunda verilen farklı büyük harfler (A - C) aynı günde analiz edilen örneklerin birbirleri arasındaki farkı göstermektedir, aynı sütunda verilen farklı küçük harfler ise (a - e) ise her mayonez örneğinde depolama süresine bağlı olarak görülen önemli farklılıkları ifade etmektedir ($P < 0.05$).

M, M-AQ and M-AQUS-5 represent the control mayonnaise sample produced using egg yolk, the unmodified aquafaba-added mayonnaise sample and the mayonnaise sample produced with US-modified aquafaba proteins, respectively. Results are given as mean \pm standard deviation. Different capital letters (A - C) in the same column indicate the differences between the samples analyzed on the same day, different lower-case letters (a - e) in the same column indicate significant differences in each mayonnaise sample depending on the storage period ($P < 0.05$).

Emülsiyon stabilitesi

Mayonez örneklerinin emülsiyon stabilitesi değerleri Çizelge 3'te verilmiştir. Emülsiyon kararlılığı, yağ/su fazları arasındaki yoğunluk farkı, dağılmış fazın partikül boyutu ve

emülsiyonun viskozitesi gibi faktörlere bağlıdır. Viskozitedeki azalma ve damlacık boyutunun artışı, Stokes yasasına göre emülsiyon stabilitesinde düşüşe neden olur (Dhiman ve Prabhakar, 2021). Çalışmamız kapsamında

geliştirilen aquafaba ve nohut unu ilaveli mayonez, emülsiyon kararlılığı açısından depolama süresince kontrol mayonezle aynı kararlı yapıyı göstererek başarılı bir ürün reçetesi elde edilmiştir. Yapılan çalışmalarda US prosesinin mayonezde emülsiyon stabilitesini arttırdığı yönünde bulgular mevcuttur (Ramisetty ve Shyamsunder, 2011; Kumar vd., 2021). Bu durum, partikül boyutlarıyla ilişkilidir. Önceki çalışmalarda, ultrasonikasyon yardımıyla elde edilen küçük partiküller, en yüksek stabiliteyi göstermiştir (Tavakoli vd., 2021). Bununla birlikte, aşırı US işlemi kararlılığın bozulmasına neden olarak emülsiyon yapısı yeniden kırılmaktadır (Kumar vd., 2021). Bu bilgiler doğrultusunda ön çalışmalarla belirlenen 5 dakikalık US uygulaması, depolama sırasında M-AQUS-5 örneklerinin emülsiyon stabilitesinde artışlara neden olmuştur. Bu durum; ultrases ile modifiye edilmiş aquafabanın, yumurtanın yerini tutabilecek nitelikte, iyi bir emülgatör ajan olduğunu kanıtlar nitelik taşımaktadır.

Tekstürel özellikler

Tekstür analiz sonuçları (sertlik, yapışkanlık, kohesivlik) Çizelge 4'te verilmiştir. Elde edilen verilere göre, sertlik ve kohesivlik, aynı depolama günlerinde örnekler arasında değişkenlik göstermezken, yapışkanlık değeri kontrol mayonez grubunda 30. günden itibaren düşük değerde seyretmiştir. Bizim çalışmamızın aksine, Özcan vd. (2023), yaptıkları çalışmada ilave ettikleri aquafaba konsantrasyonu artışına bağlı olarak mayonez örneklerinin sertlik, kohesivlik ve yapışkanlık değerlerinde düşüş gözlemlemiştir.

Yağ damlacığı boyutu ile dokusal parametreler arasında ise ters orantılı ilişki belirlenmiştir (Liu vd., 2007). Aynı şekilde, Özcan vd. (2023) daha büyük damlacık boyutlu mayonez örneklerinin sertlik ve yapışkanlık özelliklerinde düşüş tespit etmişlerdir. Bu çalışmada ise, bu hipotezi destekleyecek şekilde, M-AQUS-5 örneklerinin sertlik değerleri, depolama süresince düzenli olarak artmıştır. Bu durum, US prosesi etkisiyle damlacık boyutunun küçülmesi ve bu nedenle dokusal özelliklerin gelişmesi ile ilişkilendirilebilir. Bunun yanı sıra, özellikle 14. günden sonra kontrol grubu örneklerinde sertlik ve yapışkanlık değerlerinin diğer örnek gruplarına kıyasla daha düşük olduğu belirlenmiştir. M-AQUS-5 mayonezinde ise 14. analiz gününde en düşük, 60. günde ise en yüksek yapışkanlık değeri tespit edilmiştir. Yapışkanlık değeri, yüzeydeki yapışkanlığın bir ölçüsü olup, mayonezde kolay sürülebilme özelliğinin bulunması için düşük değerde olması istenmektedir (Ali vd., 2020). İç yapışkanlık olarak da tanımlanan kohesivlik değeri ise, emülsiyona stabilite kazandıracığı için mayonezde yüksek olması istenen bir değerdir. Bu çalışmada üretilen mayonezler, 0.62-0.86 arasında kohesivlik değeri göstermiş olup, elde ettiğimiz sonuçlar Jing vd. (2023)'nin emülgatör olarak soya proteini kullanarak ürettiği mayonezlerde 0.75-0.79 olarak ölçülen kohesivlik değerleri ile uyumludur. Depolama süresince kohesivlik değerinin, mayonezin formülasyon değişiminden etkilenmediği, aquafaba ilavesiyle de benzer değerler elde edildiği görülmüştür (Çizelge 4).

Çizelge 4. Mayonezlerin depolama süresince belirlenen tekstürel özellikleri

Table 4. Textural properties of mayonnaise determined during storage

Depolama süresi (gün)	Mayonez örneği	Sertlik (g)	Yapışkanlık (mJ)	Kohesivlik
Storage period (day)	Mayonnaise samples	Hardness (g)	Adhesiveness (mJ)	Cohesiveness
1	M	91±4.95 ^{Aab}	5.83±1.01 ^{Aa}	0.71±0.08 ^{Aa}
	M-AQ	78.3±6.01 ^{Aa}	5.77±0.44 ^{Aa}	0.67±0.11 ^{Aa}
	M-AQUS-5	74.5±0.00 ^{Ac}	6.36±0.00 ^{Ac}	0.86±0.00 ^{Aa}
7	M	93.25±6.72 ^{Aa}	4.58±1.09 ^{Aa}	0.64±0.00 ^{Aa}
	M-AQ	87.75±4.60 ^{Aa}	5.78±0.85 ^{Aa}	0.76±0.09 ^{Aa}
	M-AQUS-5	101±0.00 ^{Ac}	7.48±0.00 ^{Ab}	0.79±0.00 ^{Ab}

14	M	91.5±8.49 ^{Aab}	4.93±0.63 ^{Aa}	0.67±0.08 ^{Aa}
	M-AQ	104.8±10.25 ^{Aa}	6.72±0.30 ^{Aa}	0.71±0.05 ^{Aa}
	M-AQUS-5	91.5±0.00 ^{Ad}	4.97±0.00 ^{Ae}	0.62±0.00 ^{Ae}
30	M	70.25±3.18 ^{Ab}	3.16±0.42 ^{Ba}	0.67±0.01 ^{Aa}
	M-AQ	105±14.85 ^{Aa}	5.73±0.49 ^{Aa}	0.71±0.05 ^{Aa}
	M-AQUS-5	106.5±0.00 ^{Ab}	5.11±0.00 ^{Ad}	0.66±0.00 ^{Ad}
60	M	77.25±3.18 ^{Aab}	4.61±0.50 ^{Ba}	0.72±0.05 ^{Aa}
	M-AQ	98.5±9.19 ^{Aa}	6.69±1.39 ^{Aa}	0.72±0.03 ^{Aa}
	M-AQUS-5	109±0.00 ^{Aa}	8.09±0.00 ^{Aa}	0.74±0.00 ^{Ac}

M, M-AQ ve M-AQUS-5 sırasıyla yumurta sarısı kullanılarak üretilen kontrol mayonez örneğini, modifiye edilmemiş aquafaba katkı lı mayonez örneğini ve US ile modifiye edilmiş aquafaba proteinleriyle üretilmiş mayonez örneğini temsil etmektedir. Sonuçlar ortalama ±standart sapma olarak verilmiştir. Aynı sütunda verilen farklı büyük harfler (A - C) aynı günde analiz edilen örneklerin birbirleri arasındaki farkı göstermektedir, aynı sütunda verilen farklı küçük harfler ise (a - e) ise her mayonez örneğinde depolama süresine bağlı olarak görülen önemli farklılıkları ifade etmektedir ($P < 0.05$).

M, M-AQ and M-AQUS-5 represent the control mayonnaise sample produced using egg yolk, the unmodified aquafaba-added mayonnaise sample and the mayonnaise sample produced with US-modified aquafaba proteins, respectively. Results are given as mean ±standard deviation. Different capital letters (A - C) in the same column indicate the differences between the samples analyzed on the same day, different lower-case letters (a - e) in the same column indicate significant differences in each mayonnaise sample depending on the storage period ($P < 0.05$).

SONUÇ

Hayvansal proteinlere alternatif bitkisel kaynaklı gıda katkı maddelerinin geliştirilmesi, artan dünya nüfusunun beslenme gereksinimlerini karşılamak ve farklı beslenme rejimleri için ürünler sunmak açısından önem arz etmektedir. Bu çalışmada nohut haşlama suyundan elde edilen aquafaba proteinlerinin ultrases teknolojisiyle modifikasyonu ve vegan mayonez üretiminde yumurta sarısına alternatif olarak kullanılma potansiyeli ortaya konulmuştur. 60 günlük depolama süresince modifiye aquafaba katkı lı mayonezin yumurta sarısı katkı lı mayoneze alternatif bir performans gösterdiği görülmüştür. Çalışma bulguları gıda sanayi yan ürünlerinin değerlendirilerek döngüsel ekonomi çerçevesinde yeniden ekonomiye kazandırılması, sürdürülebilir gıda üretim sistemlerinin geliştirilmesi, hayvansal kaynaklara bağımlılığı azaltacak bitkisel çözümlerin sunulması ve vegan besleme rejimi için alternatif ürün seçeneklerinin oluşturulması için geliştirilen yaklaşımlara katkı sunmaktadır. Gelecekteki çalışmalar, ultrases işleminin süre ve genlik gibi işlem parametrelerinin sistematik bir şekilde optimize edilmesine odaklanmalıdır. Ayrıca, ultrases ile modifiye edilmiş aquafabanın farklı gıda matrikslerinde fonksiyonel

özelliklerinin incelenmesi ve endüstriyel ölçekte uygulanabilirliğinin araştırılması bitkisel bazlı gıda katkı maddelerinin üretim süreçlerine ışık tutacaktır. Söz konusu çalışmalar hem vegan ürün çeşitliliğinin artırılmasına hem de sürdürülebilir gıda üretim sistemlerinin geliştirilmesine katkı sağlayacaktır.

TEŞEKKÜR

Bu çalışma TÜBİTAK 2209-A Üniversite Öğrencileri Araştırma Projeleri Destekleme Programı kapsamında desteklenmiştir (Başvuru no: 1919B012304126). Çalışmanın bir kısmı Yaren Didem Esendemir'in Lisans Bitirme çalışması olarak gerçekleştirilmiş olup destekleri için TÜBİTAK Bilim İnsanı Destek Programları Başkanlığı'na (BİDEB) teşekkürlerimizi sunarız.

ÇIKAR ÇATIŞMASI

Bu makalede yazarların, başka kişiler veya kurumlar ile çıkar çatışması bulunmamaktadır.

YAZAR KATKILARI

Tüm yazarlar analizlerin gerçekleştirilmesi ve makalenin yazımında katkıda bulunmuş, son halini okuyarak onaylamıştır.

KAYNAKÇA

- Ali, M. R., El Said, R. M. (2020). Assessment of the potential of Arabic gum as an antimicrobial and antioxidant agent in developing vegan “egg-free” mayonnaise. *Journal of Food Safety*, 40(2), e12771.
- AOAC. (2002). *Official Methods of Analysis*. Vol. II. 17th ed. Association of Official Analytical Chemists, International. Gaithersburg, MD.
- Ataie, M. J., Shekarabi, S. P. H., Jalili, S. H. (2019). Gelatin from bones of bighead carp as a fat replacer on physicochemical and sensory properties of low-fat mayonnaise. *The Journal of Microbiology, Biotechnology and Food Sciences*, 8(4), p. 979.
- Badıllı, A. G. (2020). *Yağı azaltılmış fonksiyonel dondurma üretiminde süt tozu yerine nobut ununun kullanılabilme olanaklarının araştırılması*. Harran Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Yüksek Lisans Tezi, Şanlıurfa, Türkiye, 119 s.
- Barbosa-Cánovas, G. V., Donsi, F., Yıldız, S., Candoğan, K., Pokhrel, P. R., Guadarrama-Lezama, A. Y. (2022). Nonthermal processing technologies for stabilization and enhancement of bioactive compounds in foods. *Food Engineering Reviews*, 1-37.
- Boye, J. I., Aksay, S., Roufik, S., Ribéreau, S., Mondor, M., Farnworth, E., Rajamohamed, S. H. (2010). Comparison of the functional properties of pea, chickpea and lentil protein concentrates processed using ultrafiltration and isoelectric precipitation techniques. *Food Research International*, 43(2), 537-546.
- Cedergårdh, F. (2014). *Characterization of commercial mayonnaise products—texture, viscosity and droplet size*. M.Sc. Dissertation, Lund University, Sweden.
- Cserhalmi, Z., Sass-Kiss, A., Tóth-Markus, M., Lechner, N. (2006). Study of pulsed electric field treated citrus juices. *Innovative Food Science & Emerging Technologies*, 7(1-2), 49-54.
- Dhiman, A., Prabhakar, P. K. (2021). Micronization in food processing : A comprehensive review of mechanistic approach, physicochemical, functional properties and self-stability of micronized food materials. *Journal of Food Engineering*, 292, 110248, <https://doi.org/10.1016/j.jfoodeng.2020.110248>.
- Erdoğan, Z., Gürbüz, E. (2023). Vegan tüketim uygulamaları üzerinde sürdürülebilirlik yaklaşımı. *Pazarlama ve Pazarlama Araştırmaları Dergisi*, 16(3), pp. 697-730.
- Güneş, E., Karakaş, T. (2022). Tarım ve gıda sistemlerinde sürdürülebilirlik yaklaşımları. *Journal of Academic Value Studies*, 8(3), 304-316.
- Gladwin, T. N., Kennelly, J. J., Krause, T. S. (1995). Shifting paradigms for sustainable development: Implications for management theory and research. *Academy of management Review*, 20(4), pp. 874-907.
- He, Y., Purdy, S. K., Tse, T. J., Tar'an, B., Meda, V., Reaney, M. J. T., Mustafa, R. (2021). Standardization of Aquafaba Production and Application in Vegan Mayonnaise Analogs. *Foods*, 10(9), p. 1978. <https://doi.org/10.3390/foods10091978>.
- He, Y., Shen, J., Meda, V., Reaney, M. J. (2024). Composition and properties of ethanol-precipitated chickpea aquafaba. *Food Hydrocolloids*, 150, 109723.
- Jing, X., Cai, Y., Liu, T., Chen, B., Zhao, Q., Deng, X., Zhao, M. (2023). Formation, texture, and stability of yolk-free mayonnaise: Effect of soy peptide aggregates concentration. *Food Chemistry*, 403, 134337.
- Jung, H., Oh, I. Physicochemical and structural properties of vegan mayonnaise prepared with peanut sprout oil and aquafaba. *Available at SSRN* 4924613. https://papers.ssrn.com/sol3/papers.cfm?abstract_id=4924613
- Karabulut, G., Yıldız, S., Karaca, A. C., Yemiş, O. (2023). Ultrasound and enzyme-pretreated extraction for the valorization of pea pod proteins. *Journal of Food Process Engineering*, 46(12), e14452.
- Kim, M. J., Shin, W. S. (2022). Structural and functional modification of proteins from black soybean Aquasoya via ultrasonication. *Ultrasonics Sonochemistry*, 91, 106220.

- Kocacık, A. (2021). *Çöven Ekstraktının Kurutulması ve Dondurmada Emülgatör Olarak Kullanılmasının Araştırılması*. Ordu Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Yüksek Lisans Tezi, Ordu, Türkiye, 156 s.
- Kumar, Y., Roy, S., Devra, A., Dhiman, A., Prabhakar, P. K. (2021). Ultrasonication of mayonnaise formulated with xanthan and guar gums: Rheological modeling, effects on optical properties and emulsion stability. *LWT*, 149, 111632.
- Liu, H., Xu, X., Guo, S. (2007). Rheological, texture and sensory properties of low-fat mayonnaise with different fat mimetics. *LWT*, 40, pp. 946–954. <https://doi.org/10.1016/j.lwt.2006.11.007>.
- Meurer, M. C., de Souza, D., Marczak, L. D. F. (2020). Effects of ultrasound on technological properties of chickpea cooking water (aquafaba). *Journal of Food Engineering*, 265, 109688.
- Noh, E., Lee, K. G. (2024). Effects of ultrasound on the structural, physicochemical, and emulsifying properties of aquafaba extracted from various legumes. *Food Chemistry*, 451, 139438.
- Özcan, I., Özyiğit, E., Erkoç, S., Tavman, S., Kumcuoğlu, S. (2023). Investigating the physical and quality characteristics and rheology of mayonnaise containing aquafaba as an egg substitute. *Journal of Food Engineering*, 344, 111388.
- Özdemir, N., Bayrak, A., Tat, T., Yanık, Z. N., Altay, F., Halkman, A. K. (2021). Fabrication and characterization of basil essential oil microcapsule-enriched mayonnaise and its antimicrobial properties against *Escherichia coli* and *Salmonella typhimurium*. *Food Chemistry*, 359, 129940.
- Pearce, K. N., Kinsella, J. E. (1978). Emulsifying properties of proteins: evaluation of a turbidimetric technique. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 26(3), pp. 716-723.
- Raikos, V., Hayes, H., Ni, H. (2020). Aquafaba from commercially canned chickpeas as potential egg replacer for the development of vegan mayonnaise: Recipe optimisation and storage stability. *International Journal of Food Science & Technology*, 55(5), 1935-1942.
- Ramisetty, K. A., Shyamsunder, R. (2011). Effect of ultrasonication on stability of oil in water emulsions. *International Journal of Drug Delivery*, 3(1), pp. 133–140. <https://doi.org/10.5138/ijdd.2010.0975.0215.03063>.
- Roosta, F., Sourki, A. H. (2024). Techno-functional, physicochemical and thermal characteristics of black chickpeas aquafaba under ultrasound pre-processing. *Heliyon*, 10(22).
- Sachko, A., Sema, O., Grinchenko, O., Gubsky, S. (2023). Canned beans aquafaba as an egg white substitute in the technology of low-fat mayonnaise. *Engineering Proceedings*, 56(1), p. 206.
- Serdaroğlu, M., Deniz, E. E. (2002). Sıvı yumurtaların dondurulması ve dondurma nedeniyle oluşan kalite problemleri. *Hayvansal Üretim*, 43(1).
- Stantiall, S. E., Dale, K. J., Calizo, F. S., Serventi, L. (2018). Application of pulses cooking water as functional ingredients: The foaming and gelling abilities. *European Food Research and Technology*, 244, pp. 97-104.
- Tavakoli, R., Karami, M., Bahramian, S., Emamifar, A. (2021). Production of Low-fat mayonnaise without preservatives: Using the ultrasonic process and investigating of microbial and physicochemical properties of the resultant product. *Food Science & Nutrition*, 9(5), pp. 2676–2685. <https://doi.org/10.1002/fsn3.2227>.
- Tawalbeh, D., Ahmad, W. W., Sarbon, N. M. (2023). Effect of ultrasound pretreatment on the functional and bioactive properties of legumes protein hydrolysates and peptides: A comprehensive review. *Food Reviews International*, 39(8), pp. 5423-5445.
- Tian, L., You, X., Zhang, S., Zhu, Z., Yi, J., Jin, G. (2024). Enhancing functional properties and protein structure of almond protein isolate using high-power ultrasound treatment. *Molecules*, 29(15), 3590.
- Tiwari, B. K., Mason, T. J. (2012). Ultrasound processing of fluid foods. In: *Novel thermal and non-thermal technologies for fluid foods*, Academic press, pp. 135-165.

Wang, T., Wang, N., Li, N., Ji, X., Zhang, H., Yu, D., Wang, L. (2022). Effect of high-intensity ultrasound on the physicochemical properties, microstructure, and stability of soy protein isolate-pectin emulsion. *Ultrasonics Sonochemistry*, 82, 105871.

Yang, J., Duan, Y., Geng, F., Cheng, C., Wang, L., Ye, J., Zhang, H., Peng, D., Deng, Q. (2022). Ultrasonic-assisted pH shift-induced interfacial remodeling for enhancing the emulsifying and foaming properties of perilla protein isolate. *Ultrasonics Sonochemistry*, 89, 106108.

Yüceer, M. (2020). Sıvı yumurta sarısının ultrases tekniğiyle işlenmesi ile yapısal özelliklerinin karakterizasyonu ve reolojik davranışının belirlenmesi. *Akademik Gıda*, 18(4), pp. 402-410.

Zhu, Z., Zhao, C., Yi, J., Cui, L., Liu, N., Cao, Y., Decker, E. A. (2018). Ultrasound improving the physical stability of oil-in-water emulsions stabilized by almond proteins. *Journal of the Science of Food and Agriculture*, 98(11), pp. 4323-4330.