



## AYÇİÇEĞİ PROTEİNİ-ARABİK GAM KONJUGATLARININ BAZI TEKNO-FONKSİYONEL ÖZELLİKLERİ

**Fatma Korkmaz\***

Balıkesir Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Gıda Mühendisliği Bölümü, Balıkesir, Türkiye

Geliş/Received: 06.02.2024; Kabul /Accepted: 04.04.2024; Online baskı /Published online: 13.04.2024

Korkmaz, F. (2024). Ayçiçeği proteini-arabik gam konjugatlarının bazı tekno-fonksiyonel özellikleri. GIDA (2024) 49 (2) 385-396 doi: 10.15237/gida.GD24022

*Korkmaz, F. (2024). Some techno-functional properties of sunflower protein-gum arabic conjugates. GIDA (2024) 49 (2) 385-396 doi: 10.15237/gida.GD24022*

### ÖZ

Bu çalışmada, arabik gam ile farklı sürelerdeki konjugasyon işleminin ayçiçek proteininin tekno-fonksiyonel özelliklerine etkisinin belirlenmesi amaçlanmıştır. Ayçiçek proteinine arabik gam ile 90 °C'de 4 farklı sürede (0, 30, 60, 120 dakika) konjugasyon işlemi uygulanmış ve örneklerin yüzey hidrofobikliği, çözünürlük, su tutma ve yağ bağlama kapasitesi, köpürme ve emülsiyon özelliklerindeki ve en düşük jelleşme konsantrasyonundaki değişimler incelenmiştir. Uygulanan konjugasyon işlemleri ayçiçek proteininin yüzey hidrofobikliğinin ve pH 2-7 aralığındaki çözünürlüğünün artmasını sağlamıştır. Arabik gam ile konjugasyonu sonucu ayçiçek proteininin su tutma kapasitesinin azaldığı, yağ bağlama kapasitesinin ise arttığı görülmüştür. Konjugasyon işlemi süresinin artmasıyla birlikte ayçiçek proteininin köpürme kapasitesinde %1.73-6.73, emülsiyon kapasitesinde %17.11-31.00 aralığında artış olmuştur. Ayçiçek proteininin en düşük jelleşme konsantrasyonu konjugasyon işlemiyle %6 düzeyinde artmıştır. Elde edilen sonuçlara göre arabik gam ile konjugasyon işleminin ayçiçek proteininin belirli tekno-fonksiyonel özelliklerinin geliştirilmesinde kullanılabileceği değerlendirilmiştir.

**Anahtar kelimeler:** Ayçiçek proteini, arabik gam, konjugasyon, emülsiyon özellikleri, köpürme özellikleri, en düşük jelleşme konsantrasyonu

## SOME TECHNO-FUNCTIONAL PROPERTIES OF SUNFLOWER PROTEIN-GUM ARABIC CONJUGATES

### ABSTRACT

In this study, it was aimed to determine the effect of the conjugation with gum Arabic at different times on the techno-functional properties of sunflower protein. Sunflower protein-gum Arabic conjugates were prepared at 90 °C for four different times (0, 30, 60, and 120 minutes), and changes in the surface hydrophobicity, solubility, water-holding and oil-binding capacities, foaming and emulsifying properties, and least gelatinization concentrations were evaluated. The surface hydrophobicity and solubility (pH 2-7) increased with conjugation of sunflower protein. After the conjugation of sunflower protein, the water-holding capacity decreased while the oil-binding capacity increased. The foaming and emulsion capacities increased by 1.73-6.73% and 17.11-31.00%, respectively, with the increase in the process time. The least gelatinization concentration of conjugated sunflower proteins increased by 6%. According to the obtained results, it was evaluated that the conjugation with gum Arabic could be used to improve some techno-functional properties of sunflower protein.

**Keywords:** Sunflower protein, gum Arabic, conjugation, foaming properties, emulsifying properties, least gelatinization concentration

\* fatma.korkmaz@balikesir.edu.tr

☎: (+90) 266 612 6313

Fatma Korkmaz; ORCID no: 0000-0002-6834-4833

## GİRİŞ

Proteinler insan beslenmesinin en önemli unsurlarından biridir. Dünya nüfusunun artması, insanların daha sürdürülebilir ve sağlıklı bir beslenmeye yönelmeleri ile birlikte son yıllarda kolay erişilebilir ve ekonomik fiyatlı olmaları bitkisel proteinlere olan talebin artmasına neden olmuştur (Amiratashani vd., 2024; Naik vd., 2022). Yağı çıkarıldıktan sonra protein ve lif açısından zengin olmaları nedeniyle yağlı tohumlar iyi bir protein kaynağı olma potansiyeline sahiptirler. Yağlı tohumlardan elde edilen proteinler arasında ayçiçeği proteini, kolay erişilebilir ve düşük maliyetli olması, minimal düzeyde anti-beslenme faktörleri içermesi nedeniyle dikkat çeken bir proteindir (Kaur ve Ghoshal, 2022).

Proteinler, çözünürlük, su tutma, yağ bağlanma, köpürme, emülsiyon oluşturma ve jelleşme gibi çeşitli tekno-fonksiyonel özelliklerinden dolayı gıdaların görünüşlerine ve tekstürel özelliklerine katkıda bulunmaları sebebiyle gıda bileşeni olarak yaygın şekilde kullanılmaktadır (Hadidi vd., 2024). Özellikle çözünürlük ve köpürme kapasitesi gibi zayıf tekno-fonksiyonel özelliklere sahip olması nedeniyle ayçiçek proteininin gıda endüstrisinde kullanımı sınırlıdır (Dabbour vd., 2023; Zhang vd., 2023). Proteinlerin fizikokimyasal, tekno-fonksiyonel ve besinsel özelliklerini değiştirmek amacıyla çeşitli fiziksel, kimyasal ve biyolojik yöntemler kullanılarak modifikasyon işlemi gerçekleştirilmektedir (Ke ve Li, 2023). Bu yöntemler içerisinde, Maillard reaksiyonu kullanılarak proteinlerin polisakkaritler ile konjugasyonu, proteinlerin tekno-fonksiyonel özelliklerini geliştirmesi nedeniyle son yıllarda yaygın olarak kullanılmaktadır (Amiratashani vd., 2024). Konjugasyonda, amino asitlerin, peptitlerin veya proteinlerin  $\epsilon$ -amino grupları ile polisakkaritlerin indirgeyici grupları arasında kovalent bağın oluşumu için Maillard reaksiyonu kullanılmakta olup, başlatılması veya sürdürülmesi için herhangi bir katkı maddesi gerekmediğinden bu reaksiyon 'yeşil reaksiyon' olarak kabul edilmektedir (Naik vd., 2022). Proteinlerin polisakkaritlerle konjugasyonu 2 farklı şekilde gerçekleşmektedir: *i*) kuru ısıtma, hazırlanan protein-polisakkarit karışımının belirli bir bağlı

nem ve sıcaklık koşullarında birkaç gün veya hafta bekletilmesi; *ii*) yağ ısıtma, hazırlanan protein-polisakkarit çözeltisinin birkaç dakika veya saat ısıtılması (Boonlao vd., 2023; Dursun Capar ve Yalcin, 2021). Uzun reaksiyon süresine sahip olması ve sarı-kahverengi renge sahip Maillard reaksiyon ürünlerinin oluşması, kuru ısıtma koşulunda gerçekleştirilen konjugasyon işleminin dezavantajları olarak görülmektedir. Diğer yandan, yağ ısıtma koşulunda gerçekleştirilen konjugasyon işleminde reaksiyon kısa sürede gerçekleşmekte ve Maillard reaksiyonunda Schiff bazı bileşikleri başlangıç düzeyde oluşmaktadır (Dursun Capar ve Yalcin, 2021; Pirestani vd., 2018). Bununla birlikte konjugasyon işleminin etkinliği ve oluşacak ürünlerin özellikleri proteinin çeşidi, protein-polisakkarit oranı, reaksiyon sıcaklığı ve reaksiyon süresi gibi faktörlerden etkilenmektedir (Dursun Capar ve Yalcin, 2021).

Proteinlerin konjugasyonunda akasya ağaçlarının salgılarından elde edilen arabik gam en yaygın kullanılan polisakkaritlerden biridir (Başyigit vd., 2022). Arabik gam, benzer molar kütleyle sahip diğer polisakkaritlerle karşılaştırıldığında düşük viskoziteye sahip, anyonik, hidrofilik ve heteropolisakkarit yapıdadır (Pirestani vd., 2018). Arabik gam, üstün emülsiyon oluşturma, kıvam sağlama, jelleştirme, kaplama ve stabilize etme özelliklerinden dolayı uzun süredir gıda endüstrisinde kullanılmaktadır (Başyigit vd., 2022). Literatürde, birçok çalışmada kinoa (Chen vd., 2024), kanola (Pirestani vd., 2017), bezelye (Zha vd., 2019), nar çekirdeği (Başyigit vd., 2022) proteinlerinin arabik gam ile konjugasyonu sonucu tekno-fonksiyonel özelliklerinin geliştirildiği gösterilmiştir. Ancak, ayçiçek proteininin arabik gam ile konjugasyonunun tekno-fonksiyonel özellikleri üzerine etkisi konusunda bir çalışmaya rastlanmamıştır. Bu çalışmada, ayçiçek proteininin arabik gam ile farklı sürelerde (0, 30, 60, 120 dakika) konjugasyonu sonucu tekno-fonksiyonel özelliklerindeki (yüzey hidrofobikliği, çözünürlük, su tutma ve yağ bağlama kapasitesi, köpürme ve emülsiyon özellikleri ve en düşük jelleşme konsantrasyonu) değişimlerin incelenmesi amaçlanmıştır.

## MATERYAL VE METOT

### Materyal

Ayçiçek proteini (Vegrano, %80.0 protein) ve arabik gam (alfasol) Kimbiotek Kimyevi Maddeler San. Tic. A.Ş. (İstanbul, Türkiye)'den temin edilmiştir. Araştırmada kullanılan kimyasallar ise Sigma-Aldrich (Taufkirchen, Almanya) ve Isolab Laborgeräte GmbH (Wertheim, Almanya)'den tedarik edilmiştir.

### Metotlar

#### *Ayçiçeği proteini-arabik gam konjugasyonu*

Ayçiçeği proteininin arabik gam ile konjugasyonu için Boonlao vd. (2023) ve Pirestani vd. (2017)'nin belirttiği yöntemler modifiye edilerek kullanılmıştır. Ayçiçek proteini, arabik gam ile 1:1 oranında karıştırılarak toplam çözelti konsantrasyonu %10 olacak şekilde dispersiyon hazırlanmıştır. Daha iyi çözünme ve hidrasyonun sağlanabilmesi için örnekler dairesel çalkalayıcıda (Jeio Tech, OS-4000, Kore) (200 rpm) oda şartlarında 1 gece boyunca karıştırılmışlardır. Ardından örnekler sıcak su banyosunda (Nüve, ST 30, Türkiye) (125 rpm) 90 °C'de farklı sürelerde (0, 30, 60, 120 dakika) inkübe edilerek konjugasyon işlemi gerçekleştirilmiştir. Süre sonunda örnekler soğuk su dolu bir kap içerisine alınarak reaksiyonun durdurması ve örneklerin soğuması sağlanmıştır. Ardından örnekler Naik vd. (2022)'nin belirttiği 175 °C hava giriş sıcaklığı ve 80 °C hava çıkış sıcaklığı sağlanacak şekilde (besleme akış hızı 16 mL/dk, aspirasyon oranı 50 m<sup>3</sup>/sa, nozzle hava hızı 8.5 L/dk) laboratuvar ölçekli püskürtmeli kurutucu (UNOPEX, B15, Türkiye) ile kurutulmuştur. Hiçbir işlem görmemiş ayçiçeği proteini (AP), arabik gam ile karıştırılmış ancak konjugasyon işlemi uygulanmadan kurutulmuş örnek (AP-GA), 30 dakika (AP-GA-30), 60 dakika (AP-GA-60) ve 120 dakika (AP-GA-120) konjugasyon işlemi uygulanmış örnekler analizlere kadar kapaklı bir polietilen kap içerisinde +4 °C'de bekletilmiştir.

#### *Amadori ve melanoidin bileşiklerinin analizi*

Amadori ve melanoidin bileşiklerinin oluşumu Chen vd. (2024)'nin belirttiği yöntem ile ölçülmüştür. Protein dispersiyonlarının (5 mg/mL) absorbans değerleri amadori bileşiklerinin miktarının belirlenmesi için 304

nm'de, melanoidin bileşiklerinin miktarının belirlenmesi için 420 nm'de bir UV/VIS spektrofotometre (Shimadzu, UV-VIS Spektrofotometre, UV-1280, Japonya) kullanılarak okunmuştur.

#### *Yüzey hidrofobikliği analizi*

Yüzey hidrofobikliği analizi Tontul vd. (2018)'nin belirttiği yöntemle yapılmıştır. Protein örnekleri ve fosfat tampon çözeltisi (20 mM, pH 7) kullanılarak protein dispersiyonları (5 mg protein/mL) elde edilmiştir. Bu dispersiyonların 3 mL'si üzerine 600 µL brom fenol mavisi (BPB) çözeltisi (1mg/1mL) eklenerek bir vorteks yardımıyla hızlıca karıştırılmıştır. Kontrol örneği 3 mL fosfat tampon çözeltisi ve 600 µL brom fenol mavisi (BPB) çözeltisi (1mg/1mL) kullanılarak hazırlanmıştır. Ardından, örnekler 10 dk inkübe edilmiş ve 2000xg'de 15 dakika santrifüj edilerek süpernatant kısımları alınmıştır. Süpernatantlar, fosfat tampon çözeltisi (20 mM, pH 7) ile 1:10 oranında seyreltilmiştir. Örneklerin absorbans değerleri UV/VIS spektrofotometre (Shimadzu, UV-VIS Spektrofotometre, UV-1280, Japonya) kullanılarak 595 nm dalga boyunda belirlenmiştir. Yüzey hidrofobikliği aşağıdaki eşitlik ile hesaplanmıştır.

$$\text{Yüzey hidrofobikliği } (\mu\text{g BPB}) = \frac{ABS_{kontrol} - ABS_{örnek}}{ABS_{kontrol}} \times (200 \mu\text{g}) \quad \text{Eşitlik 1}$$

#### *Protein çözünürlüğü analizi*

Protein çözünürlüğü analizinde Pirestani vd. (2017)'nin belirttiği yöntem modifiye edilerek kullanılmıştır. Örnekler (100 mg) distile su (20 mL) ile karıştırılarak pH değerleri (pH 3, 5, 7 ve 9) ayarlanmıştır. Ardından dairesel çalkalayıcıda (Jeio Tech, OS-4000, Kore) oda şartlarında 200 rpm'de 30 dakika karıştırılmış örneklere 9000xg'de 15 dakika santrifüj işlemi uygulanarak süpernatant kısımları alınmıştır. Süpernatantın çözünür protein içeriği Lowry vd. (1951)'nin belirttiği yöntemle göre 750 nm'de belirlenmiştir. Örneklerin protein çözünürlüğü değerleri aşağıdaki eşitlik kullanılarak hesaplanmıştır.

$$\text{Protein çözünürlüğü } (\%) = \frac{\text{süpernatantın protein içeriği}}{\text{örneğin toplam protein içeriği}} \times 100 \quad \text{Eşitlik 2}$$

*Su tutma kapasitesi ve yağ bağlama kapasitesi analizi*  
Örneklerin su tutma kapasitesi ve yağ bağlama kapasitesinin belirlenmesinde Naik vd. (2022)'nin belirttiği yöntem modifiye edilerek kullanılmıştır. Önceden darası alınmış tüplerin içerisine 0.2 g örnek ile birlikte 5 mL distile su veya ayçiçek yağı eklenmiş ve dairesel çalkalayıcıda (Jeio Tech, OS-4000, Kore) 200 rpm'de 30 dakika karıştırılmıştır. Ardından örnekler 3500 rpm'de 30 dakika santrifüj edilerek süpernatant kısmı dikkatli bir şekilde uzaklaştırılmış ve tüpler tekrar tartularak örneklerin su tutma kapasitesi ve yağ bağlama kapasitesi aşağıdaki eşitlik kullanılarak belirlenmiştir.

$$\frac{\text{Su tutma kapasitesi (g su/g protein)} / \text{Yağ bağlama kapasitesi (g yağ/g protein)}}{(\text{süpernatant uzaklaştırıldıktan sonraki ağırlık} - \text{örneğin ağırlığı (km)} + \text{kullanılan tüpün ağırlığı}) / \text{örneğin ağırlığı (km)}} = \text{Eşitlik 3}$$

*Köpürme kapasitesi ve köpük stabilitesi analizi*  
Köpürme kapasitesi ve köpük stabilitesi analizi Amiratashani vd. (2024)'nin belirttiği yöntemle gerçekleştirilmiştir. Kısacası %1'lik protein çözeltisi bir homojenizatör (Witeg HG-15D, Almanya) ile 10000 rpm'de 2 dakika süresince karıştırılmış ve hacim değerleri kaydedilerek köpürme kapasitesi aşağıdaki formül ile hesaplanmıştır.

$$\frac{\text{Köpürme kapasitesi (\%)} = \text{karıştırıldıktan sonraki hacim} - \text{karıştırılmadan önceki hacim}}{\text{karıştırılmadan önceki hacim}} \times 100 = \text{Eşitlik 4}$$

Ardından örnekler oda şartlarında 30 dakika bekletilmiş ve kalan köpük hacmi kaydedilerek köpük stabilitesi aşağıdaki formül ile hesaplanmıştır.

$$\frac{\text{Köpük stabilitesi (\%)} = \text{30 dk sonraki köpük hacmi}}{\text{karıştırıldıktan sonraki köpük hacmi}} \times 100 = \text{Eşitlik 5}$$

*Emülsiyon kapasitesi ve emülsiyon stabilitesi analizi*  
Emülsiyon kapasitesi ve emülsiyon stabilitesi analizi Albe Slabi vd. (2020)'nin belirttiği yöntemle yapılmıştır. Kısacası, 5 mL %5'lik protein çözeltisi üzerine 2.5 mL ayçiçek yağı eklenerek bir homojenizatör (Witeg HG-15D, Almanya)

yardımıyla 10000 rpm'de 90 saniye homojenize edilmiştir. Oluşan emülsiyonlar 1100xg'de 5 dakika santrifüjlendikten sonra emülsifiye tabakanın hacmi ve tüpteki toplam içeriğin hacmi kaydedilerek emülsiyon kapasitesi aşağıdaki formüle göre hesaplanmıştır.

$$\text{Emülsiyon kapasitesi (\%)} = \frac{\text{emülsifiye tabakanın hacmi (mL)}}{\text{toplam içeriğin hacmi (mL)}} \times 100 = \text{Eşitlik 6}$$

Emülsiyon stabilitesi için ise örnekler 85 °C'de 15 dakika inkübe edilmiştir. Ardından tekrar 1100xg'de 5 dakika santrifüjlendikten sonra emülsifiye tabakanın hacmi kaydedilerek emülsiyon stabilitesi aşağıdaki formüle göre hesaplanmıştır.

$$\text{Emülsiyon stabilitesi (\%)} = \frac{\text{isitma sonrası emülsifiye tabakanın hacmi (mL)}}{\text{isitma öncesi emülsifiye tabakanın hacmi (mL)}} \times 100 = \text{Eşitlik 7}$$

*En düşük jelleşme konsantrasyonu*

Örneklerin en düşük jelleşme konsantrasyonunun belirlenmesinde Shen ve Li (2021)'nin belirttiği yöntem kullanılmıştır. Kısacası, test tüpleri içerisinde %2-20 (w/v) aralığındaki konsantrasyonlarda hazırlanmış protein çözeltileri 1 saat süresince 100 °C'ye ayarlı sıcak su banyosunda tutulduktan sonra +4°C'de 2 saat süresince bekletilmiştir. Ardından test tüpleri baş aşağı tutularak jelin düşmediği veya kaymadığı konsantrasyon örneğe ait en düşük jelleşme konsantrasyonu olarak kaydedilmiştir.

### İstatistiksel analiz

Elde edilen veriler Minitab (ver. 17.0) kullanılarak gerçekleştirilen varyans analizi ve Tukey Çoklu Karşılaştırma Testi ile değerlendirilmiştir. Analizler 3 paralelli olarak yapılmış ve sonuçlar "ortalama ± standart hata" şeklinde düzenlenmiştir.

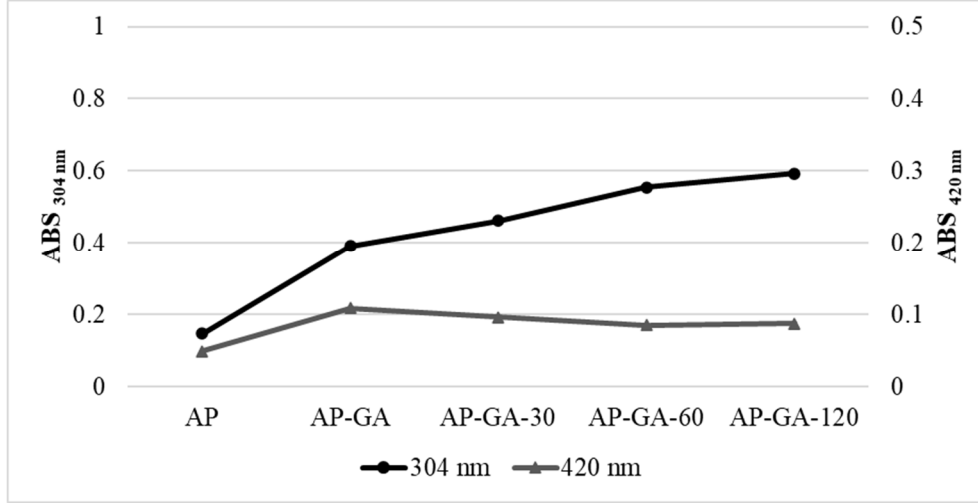
### BULGULAR VE TARTIŞMA

#### Amadori ve melanoidin bileşikleri

Örneklerin 304 nm ve 420 nm değerlerinde ölçülen absorbans değerleri, Maillard reaksiyonu erken-orta (Amadori bileşikleri) ve son (Melanoidin bileşikleri) ürünlerinin göstergesi

olarak yaygın şekilde kullanılmaktadır (Amiratashani vd., 2024). Örneklerin 304 nm'de elde edilen absorbans değerleri, 420 nm'de elde edilenlerden daha yüksek bulunmuştur (Şekil 1). Bu tüm konjugatlarda erken-orta Maillard reaksiyon ürününün baskın olduğunu

göstermektedir (Zha vd., 2019). Bitkisel proteinlerin konjugasyonu ile ilgili yapılan birçok çalışmada benzer bir sonuç bulunmuştur (Amiratashani vd., 2024; Chen vd., 2024; Zha vd., 2019).



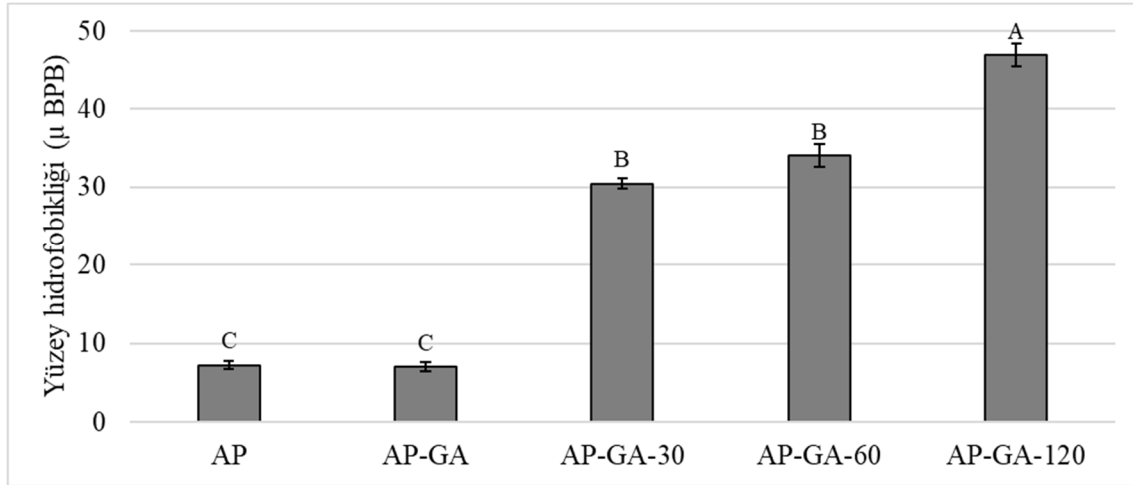
Şekil 1. Örneklerin 304 nm ve 420 nm değerlerindeki absorbansları  
Figure 1. Absorbances at 294 and 420 nm of the samples

AP'ne uygulan konjugasyon işleminde sürenin artmasıyla birlikte örneklerin 304 nm'deki absorbans değerleri artmıştır. Bu sonuç AP'nin konjugasyonunda amadori bileşiklerinin işlem süresine bağlı olarak geliştiğini göstermektedir. Zha vd. (2019), arabik gam ile farklı sürelerde konjugasyon işlemi uygulanan bezelye proteininin 304 nm'deki absorbans değerinin işlem süresine bağlı olarak arttığını bulmuşlardır. AP'ne arabik gam ilavesi ve konjugasyon işlemi sonrası örneklerin 420 nm'deki absorbans değerleri 0.09-0.11 aralığında değişmekte olup koyu renkte olan melanoidin bileşenlerinin az miktarda bulunduğunu göstermektedir (Amiratashani vd., 2024).

### Yüzey hidrofobikliği

Yüzey hidrofobikliği, protein molekülünün yüzeyinde açığa çıkan hidrofobik grupların sayısını göstermekte olup, protein konformasyonundaki değişikliği değerlendirmek için kullanılan yapısal özelliklerden biridir (Qu vd., 2018). AP örneğinin yüzey hidrofobikliği 7.24 µg BPB olarak bulunmuş ve arabik gam ilavesi sonucu örneğin

(AP-GA) yüzey hidrofobikliğinde (7.06 µg BPB) önemli bir değişimin olmadığı görülmüştür ( $P > 0.05$ ) (Şekil 2). Diğer yandan konjugasyon işleminin uygulanmasıyla birlikte örneklerin yüzey hidrofobikliğinde önemli bir artışın olduğu görülmüştür ( $P < 0.05$ ). En yüksek yüzey hidrofobikliği AP-GA-120 örneğinde bulunmuş olup 120 dakikalık konjugasyon işlemi sonucu ayçiçeği proteininin yüzey hidrofobikliğinin yaklaşık 6.5 kat arttığı tespit edilmiştir ( $P < 0.05$ ). Konjugasyon işleminde kullanılan protein ve polisakkarit çeşidi, uygulanan işlem koşulları ve glikasyon derecesi gibi birçok faktörün proteinlerin yüzey hidrofobikliğinin azalmasına veya artmasına neden olabileceği belirtilmiştir (Liu vd., 2012). Feng vd. (2021) örneklerin yüzey hidrofobikliğinin artmasını, protein yapısında meydana gelen kısmi açılma sonucu hidrofobik grupların açığa çıkması ile birlikte agregat olmuş protein yapılarının ayrışması sonucu daha önceden yapı içerisine gizlenmiş olan hidrofobik grupların da açığa çıkmasına atfetmişlerdir.



Şekil 2. Örneklerin yüzey hidrofobikliği  
Figure 2. Surface hydrophobicity of the samples

### Protein çözünürlüğü

Proteinlerin çözünürlüğü, diğer tekno-fonksiyonel özellikleri etkilediği için en önemli özelliklerinden biridir (Amiratashani vd., 2024). AP, AP-GA ve AP konjugatlarının pH 3-9 değerleri aralığındaki çözünürlükleri Şekil 3'te gösterilmiştir. Nötr ve alkali pH değerleriyle karşılaştırıldığında AP asidik pH değerlerinde daha düşük çözünürlüğe sahip olup en düşük çözünürlük değerini (%9.42) pH 5'te göstermiştir. Proteinler izoelektrik noktasına yaklaştığında hidrofilik etkileşimler azalmakta ve proteinler nötr yüke sahip olmaktadır. Buna bağlı olarak proteinlerin çözünürlükleri azalmakta, protein-protein etkileşimleri artmakta ve protein agregasyonu oluşmaktadır (Amiratashani vd., 2024). En düşük çözünürlüğün görüldüğü pH 5 değeri Galves vd. (2019)'nin ayçiçeği proteininin izoelektrik noktası olarak belirttikleri pH 4.8 değerine oldukça yakındır. Arabik gam ile konjugasyonu bu pH değerinde AP'nin çözünürlüğünün %20.76-24.34 düzeyinde artmasını sağlamıştır. Bununla birlikte, pH 9 değeri dışındaki pH değerlerinde AP'nin çözünürlüğünün, AP-GA ve AP konjugatlarından istatistiksel olarak önemli düzeyde düşük olduğu bulunmuştur ( $P < 0.05$ ). Benzer bir sonuç pH 4 ve 7 aralığında kazein-arabik gam konjugatlarında (Seidi vd., 2023) ve pH 2 ve 7 aralığında kinoa-arabik gam konjugatlarında (Chen vd., 2024) görülmüştür. Yazarlar bu durumu arabik gamın suda çözünürlüğünün daha fazla olmasına ve

dolayısıyla proteinlere arabik gamın fiziksel veya kimyasal olarak bağlanması sonucu proteinlerin çözünürlüklerinin artmasına atfetmişlerdir (Seidi vd., 2023).

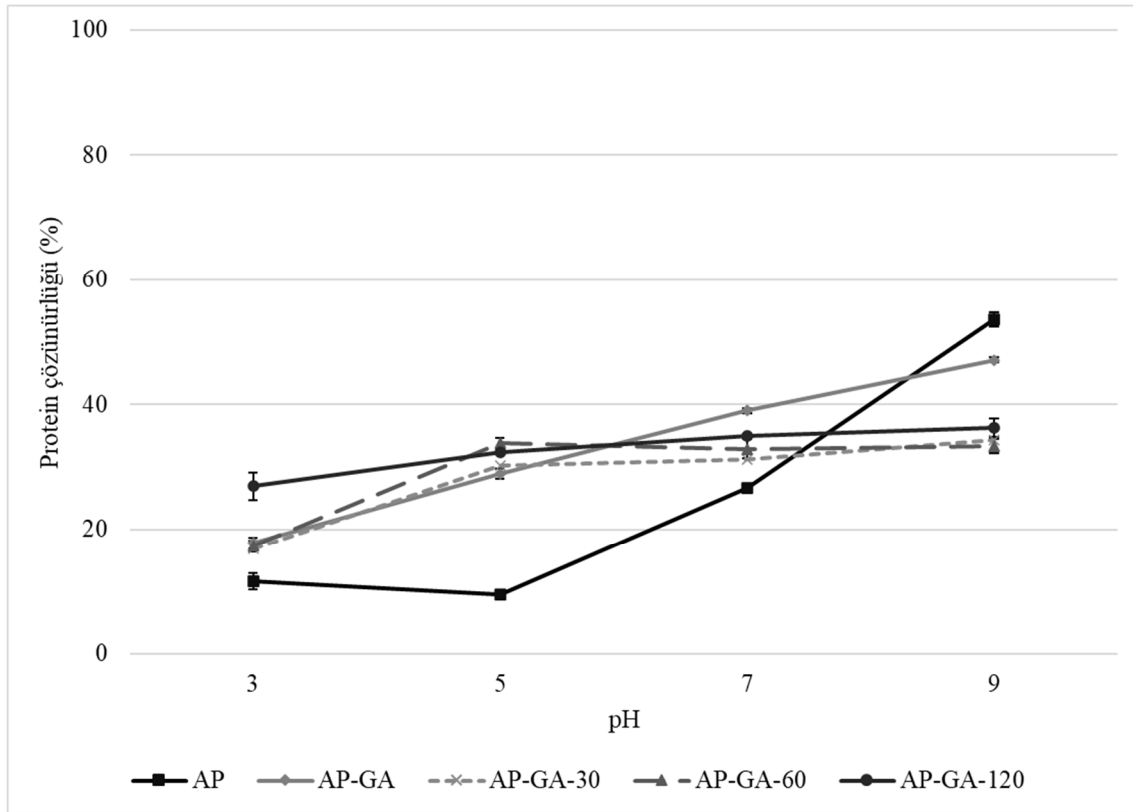
pH 3 değerinde en yüksek çözünürlük değeri AP-GA-120 örneğinde tespit edilmiş olup, diğer pH değerlerinde AP konjugatlarının çözünürlükleri arasında istatistiksel olarak önemli bir fark bulunmamıştır ( $P > 0.05$ ). Benzer şekilde, 90 °C'de farklı sürelerde (30, 60, 90 ve 120 dakika) uygulanan konjugasyon işlemiyle soya proteininin çözünürlüğünün arttığı ancak soya proteinimaltodekstrin konjugatlarının işlem süresine bağlı olarak çözünürlüklerinde önemli bir farkın olmadığı görülmüştür (Boonlao vd., 2023).

### Su tutma kapasitesi ve yağ bağlama kapasitesi

Su tutma ve yağ bağlama kapasitesi, protein-su ve protein-yağ etkileşimleri ile birlikte proteinlerin su/yağı tutma oranını belirleyen tekno-fonksiyonel özelliklerden biri olup, protein katkı gıda ürünlerinin dokusunu ve kalitesini etkilemektedir (Shen ve Li, 2021). Örneklerin su tutma ve yağ bağlama kapasitesi Çizelge 1'de gösterilmiştir. AP'nin su tutma kapasitesi arabik gam ilavesi ve konjugasyon işlemiyle birlikte önemli düzeyde azalmıştır ( $P < 0.05$ ). En düşük su tutma kapasitesi AP-GA örneğinde belirlenmiş olup, örneklere uygulanan konjugasyon işlem süresinin artmasıyla birlikte örneklerin su tutma

kapasitelerinde artış meydana gelmiştir ( $P < 0.05$ ). Boonlao vd. (2023), soya proteininin maltodekstrin ile konjugasyonu sonucunda (%75 bağıl nem, 1-9 gün) su tutma kapasitesinin azaldığını bulmuşlar ve bunu örneklerin artan yüzey hidrofobikliğine atfetmişlerdir. Yüzer (2023)'de, soya proteininin fruktoz ile konjugasyonu sonucu su tutma kapasitesinin azaldığını bulmuştur. Yazarlar bu değişimi protein yapılarının açılmasının polisakaritler tarafından inhibisyonuna atfetmişlerdir (Yüzer, 2023). Bununla birlikte, proteinlerin su tutma kapasitesi ile protein çözünürlüğü arasında ters bir ilişki olduğu belirtilmiştir (Özdemir vd., 2022). Konjugatların çözünürlüğünün yüksek olması, su tutma kapasitesinin düşük olmasının nedeni olabilir. AP'nin yağ bağlama kapasitesinin, arabik gam ilavesi ve konjugasyon işlemleri sonucunda arttığı görülmüştür ( $P < 0.05$ ). Ayrıca,

konjugasyon işlem süresinin artmasıyla birlikte örneklerin yağ bağlama kapasitesi artan bir eğilim sergilemiş ancak bu istatistiksel olarak önemli bulunmamıştır ( $P > 0.05$ ). Birçok çalışmada bitkisel proteinlerin polisakaritlerle konjugasyonu sonucu yağ bağlama kapasitesinin arttığı belirtilmiştir (Amiratashani vd., 2024; Başyigit vd., 2022; Naik vd., 2022; Shen ve Li, 2021). Yazarlar, konjugasyon işlemi ile birlikte hidrofobik grupların açığa çıkması sonucu örneklerin yağ ile etkileşiminin arttığını bildirmişlerdir (Amiratashani vd., 2024; Naik vd., 2022). Bununla birlikte, proteinlerin su tutma ve yağ bağlama kapasitesinin uygulanan işlem koşulları, parçacık boyutu, proteinin konformasyonu ve moleküler ağırlığı gibi faktörlerden etkileyebileceği belirtilmiştir (Hadidi vd., 2021; Özdemir vd., 2022).



Şekil 3. Örneklerin farklı pH değerlerindeki protein çözünürlüğü  
Figure 3. Protein solubility of the samples at different pH values

Çizelge 1. Örneklerin tekno-fonksiyonel özellikleri

Table 1. Techno-functional properties of the samples

Örnek	Su tutma kapasitesi (g su/g protein) <i>Water-holding capacity</i> (g water/g protein)	Yağ bağlama kapasitesi (g yağ/g protein) <i>Oil-binding capacity</i> (g oil/g protein)	Köpürme kapasitesi (%) <i>Foaming capacity</i> (%)	Köpük stabilitesi (%) <i>Foam stability</i> (%)	Emülsiyon kapasitesi (%) <i>Emulsion capacity</i> (%)	Emülsiyon stabilitesi (%) <i>Emulsion stability</i> (%)
AP	4.15 ± 0.06 <sup>A</sup>	3.53 ± 0.04 <sup>B</sup>	31.27 ± 1.73 <sup>B</sup>	18.03 ± 1.06 <sup>A</sup>	33.33 ± 0.01 <sup>C</sup>	96.00 ± 0.01 <sup>A</sup>
AP-GA	1.65 ± 0.03 <sup>E</sup>	4.64 ± 0.16 <sup>A</sup>	31.27 ± 1.73 <sup>B</sup>	18.03 ± 1.06 <sup>A</sup>	38.89 ± 1.11 <sup>C</sup>	85.86 ± 2.53 <sup>A</sup>
AP-GA-30	1.99 ± 0.05 <sup>D</sup>	4.67 ± 0.07 <sup>A</sup>	33.00 ± 0.01 <sup>AB</sup>	16.97 ± 0.01 <sup>AB</sup>	52.44 ± 0.89 <sup>B</sup>	92.28 ± 2.72 <sup>A</sup>
AP-GA-60	2.19 ± 0.04 <sup>C</sup>	4.75 ± 0.01 <sup>A</sup>	36.33 ± 1.67 <sup>AB</sup>	15.48 ± 0.74 <sup>B</sup>	60.44 ± 2.70 <sup>AB</sup>	56.96 ± 2.72 <sup>B</sup>
API-GA-120	2.40 ± 0.02 <sup>B</sup>	4.86 ± 0.03 <sup>A</sup>	38.00 ± 0.01 <sup>A</sup>	14.74 ± 0.01 <sup>B</sup>	64.33 ± 2.65 <sup>A</sup>	49.47 ± 2.11 <sup>B</sup>

\*Sütun içinde farklı büyük harflerle gösterilen ortalamalar arasında istatistiksel olarak önemli fark bulunmaktadır ( $P < 0.05$ ).

\*There is a statistically significant difference between the means of different capital letters within the column ( $P < 0.05$ ).

### Köpürme kapasitesi ve köpük stabilitesi

Proteinlerin köpük yapısı oluşturabilme özelliklerinin göstergesi olan köpürme kapasitesi proteinlerin oluşturabileceği arayüzey alanı miktarı ve proteinin hidrofobikliği ile yakından ilişkilidir. Köpürme stabilitesi ise oluşan köpük yapısının belirli bir süre boyunca dayanıklılığını göstermektedir (Shen ve Li, 2021). AP'nin köpürme kapasitesi değerine arabik gam ilavesinin etkisi önemli bulunmazken ( $P > 0.05$ ), konjugasyon işleminin etkisi istatistiksel olarak önemlidir ( $P < 0.05$ ) (Çizelge 1). Konjugasyon işlemi süresinin artmasıyla birlikte örneklerin köpürme kapasitelerinde %1.73-6.73 aralığında değişen artış eğilimi görülmüştür ( $P < 0.05$ ). Amiratashani vd. (2024), mürdümük proteininin ksantan gam ile 80 °C'de farklı sürelerde (1-24 saat) konjugasyonunda işlem süresinin artmasıyla birlikte örneklerin köpürme kapasitelerinin arttığını bulmuşlardır. Boonlao vd. (2023) ise soya proteininin maltodekstrin ile konjugasyonunda (90 °C), 30-60 dakika süresince uygulanan işlemlerin örneklerin köpürme kapasitelerini arttırdığını, daha uzun işlem sürelerinin (90-120 dakika) ise önemli bir değişime neden olmadığını belirtmişlerdir. Örneklerin köpürme kapasitelerindeki bu değişim, konjugasyon işlemi ile birlikte proteinlerinin çözünürlüklerinin artması sonucu arayüzey özelliklerinin gelişmesine atfedilmiştir (Amiratashani vd., 2024). Köpürme kapasitesine benzer şekilde arabik gam ilavesinin AP'nin köpük stabilitesine etkisi de önemli bulunmamıştır ( $P > 0.05$ ). Farklı olarak,

konjugasyon işlemi AP'nin köpük stabilitesinin önemli düzeyde azalmasına neden olmuştur ( $P < 0.05$ ). Benzer şekilde nar çekirdeği proteininin arabik gam (90 °C, 15 dakika) (Başyigit vd., 2022), bezelye proteininin guar gam (60 °C, 15 dakika) (Shen ve Li, 2021) ile konjugasyonu sonucu köpük stabilitesinin azaldığı bulunmuştur.

### Emülsiyon kapasitesi ve emülsiyon stabilitesi

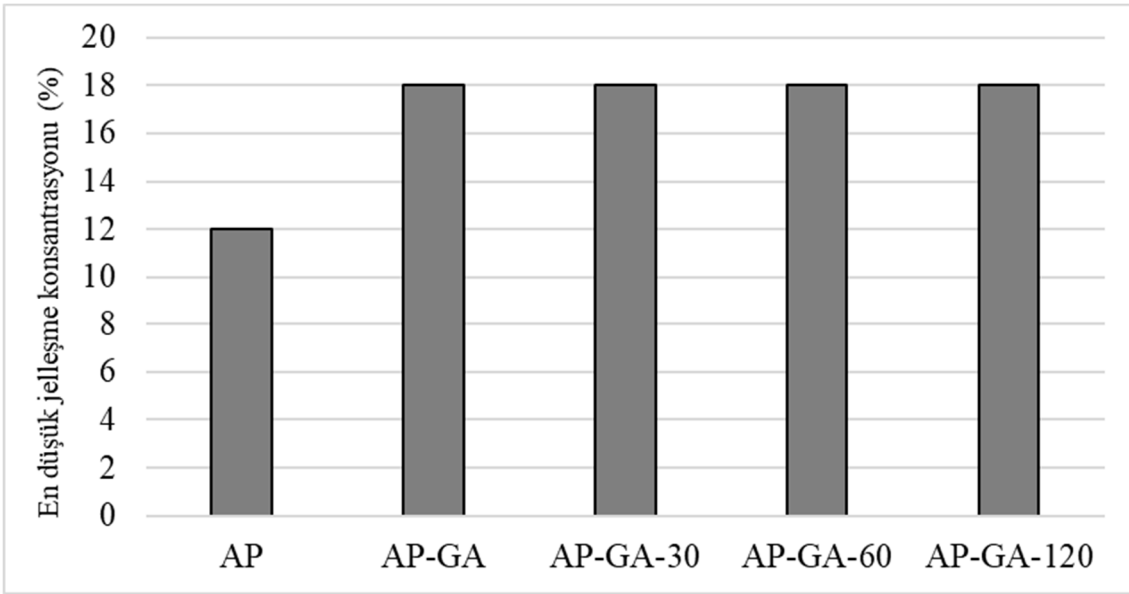
Emülsiyon özellikleri, proteinlerin su/yağ arayüzey gerilimini azaltma kabiliyetlerini ve faz ayrılmasına karşı emülsiyon yapısının korunmasına katkısını tahmin etmek için kullanılmaktadır (Amiratashani vd., 2024; Chen vd., 2024). Örneklerin emülsiyon özellikleri Çizelge 1'de sunulmuştur. AP'nin emülsiyon kapasitesi arabik gam ilavesiyle %5.56 oranında artmış ancak bu değişim istatistiksel olarak önemli bulunmamıştır ( $P > 0.05$ ). Konjugasyon işlemi ise AP'nin emülsiyon kapasitesinin %17.11-31.00 aralığında önemli düzeyde artmasını sağlamış ve işlem süresi arttıkça emülsiyon kapasitesi artış eğilimi göstermiştir ( $P < 0.05$ ). Yapılan çalışmalarda, kinoa (Chen vd., 2024) ve nar çekirdeği (Başyigit vd., 2022) proteinlerinin arabik gam ile konjugasyonu sonucunda emülsiyon kapasitesinin arttığı bulunmuştur. Amiratashani vd. (2024) mürdümük proteininin ksantan gum ile konjugasyonunda işlem süresinin 12 saate kadar artmasıyla birlikte örneklerin emülsiyon kapasitelerinde artan bir eğilim gözlemlemişlerdir. Konjugasyon işlemi ile örneklerin çözünürlüklerinin artması sonucu proteinlerin



su/yağ arayüzeyinde difüzyonunun artmasının emülsiyon kapasitesinin artmasını sağlayabileceği belirtilmiştir (Amiratashani vd., 2024). Arabik gamın emülsifiye damlacıklar arasında daha güçlü bir elektrostatik itme kuvveti yaratarak proteinlerin su/yağ arayüzeyinde kalmasını sağlaması da emülsiyon kapasitesine katkıda bulunabilmektedir (Chen vd., 2024). Ayrıca, konjugasyon işlemi ile artan yüzey hidrofobikliği konjugatın su/yağ arayüzüne absorpsiyon oranının artmasına neden olarak emülsiyon kapasitesinin artmasını sağlayabilmektedir (Boonlao vd., 2023). Arabik gam ilavesi ve 30 dakika süreli konjugasyon işlemi AP'nin emülsiyon stabilitesi üzerine önemli bir etkiye neden olmamıştır ( $P > 0.05$ ). Ancak konjugasyon işlem süresinin artması (60-120 dakika) AP'nin emülsiyon stabilitesinin azalmasıyla sonuçlanmıştır ( $P < 0.05$ ). Boonlao vd. (2023) soya proteininin maltodekstrin ile kısa süreli (30-60 dakika) konjugasyonunda emülsiyon stabilitesinin artış eğilimi göstermesine rağmen, işlem süresi arttığında (90-120 dakika) emülsiyon stabilitesinin azaldığını bulmuşlardır. Uzun işlem sürelerinin, proteinlerin agregasyonuna neden olarak emülsifikasyon özelliklerini azaltabileceği bildirilmiştir (Boonlao vd., 2023).

#### En düşük jelleşme konsantrasyonu

Proteinlerin jelleşme özellikleri, birçok gıdanın dokusunu, kalitesini ve duyuşal özelliklerini belirlemesi açısından önemlidir (Shen ve Li, 2021). Şekil 4'te görüldüğü üzere AP'nin en düşük jelleşme konsantrasyonu, arabik gam ilavesi ve konjugasyon işlemiyle %18'e artmıştır. Bu AP-GA ve AP konjugatlarının daha yüksek konsantrasyonlarda jel yapısı oluşturabildiğini göstermektedir. Proteinlerin jelleşme davranışlarının moleküller arası disülfid bağlarından, hidrojen bağlarından ve hidrofobik etkileşimlerden etkilenebileceği belirtilmiştir (Deng vd., 2019). Shen vd. (2022) bezelye proteininin arabik gam ile konjugasyonu sonucu en düşük jelleşme konsantrasyonunun %11'den %13'e arttığını bulmuşlar ve arabik gamın suda düşük bir vizkozite sağlamasının en düşük jelleşme konsantrasyonundaki artışa neden olabileceğini belirtmişlerdir. Gao vd. (2024) ise konjugasyon işlemiyle birlikte proteinlerin en düşük jelleşme konsantrasyonundaki azalmayı, polisakkaritlerin protein yüzeyindeki hidrofobik bağlanma bölgelerinin etkileşimini engellemesi sonucu oluşturduğu sterik etki ile açıklamıştır.



Şekil 4. Örneklerin en düşük jelleşme konsantrasyonu  
Figure 4. The least gelatinization concentration of the samples

## SONUÇ

Bu çalışmada, AP'ne arabik gam ile farklı sürelerde konjugasyon işlemi uygulanmış ve uygulanan işlemlerin AP'nin tekno-fonksiyonel özellikleri üzerine etkisi incelenmiştir. Konjugasyon işlem süresi arttığında amadori bileşiklerinin geliştiğini görülmüş ancak melanoidin bileşenlerinde benzer bir gelişim gözlenmemiştir. AP'nin yüzey hidrofobikliği de işlem süresinin artmasıyla birlikte artan bir eğilim sergilemiştir. AP'nin arabik gam ilavesi ve arabik gam ile konjugasyonu sonucunda çözünürlük özelliklerinin de geliştiği belirlenmiştir. Bunlara bağlı olarak arabik gam ile konjugasyonu sonucu AP'nin su tutma kapasitesinin azaldığı, yağ bağlama kapasitesinin ise arttığı görülmüştür. Bununla birlikte, arabik gam ile konjugasyon uygulaması AP'nin daha yüksek kapasitede köpük ve emülsiyon yapıları oluşturmasını sağlamış, ancak bu köpük ve emülsiyon yapılarının stabiliteilerinin düşük olduğu belirlenmiştir. Ayrıca AP arabik gam konjugatlarının daha yüksek konsantrasyonlarda jel yapısı oluşturabildiği gözlenmiştir. Sonuç olarak, AP'nin belirli tekno-fonksiyonel özelliklerinin arabik gam ile konjugasyonu sonucu geliştirilebileceği gösterilmiştir. Bununla birlikte, çözünürlük, yağ bağlama ve emülsiyon özelliklerindeki değişimler değerlendirildiğinde, arabik gam ile konjugasyonu sonucu AP'nin asidik özellikteki (pH<7), yüksek yağ içeriğine sahip ve emülsifiye gıda sistemlerinde bir bileşen kullanılma potansiyelinin bulunduğu değerlendirilmiştir.

## ÇIKAR ÇATIŞMASI

Yazarın bu araştırma ile ilgili olarak herhangi bir kişi veya kurum ile çıkar çatışması bulunmamaktadır.

## YAZAR KATKILARI

Bu araştırmanın yürütülmesi, laboratuvar çalışmaları ve makalenin yazılması yazar tarafından gerçekleştirilmiştir.

## KAYNAKLAR

Albe Slabi, S., Mathe, C., Basselin, M., Framboisier, X., Ndiaye, M., Galet, O., Kapel, R. (2020). Multi-objective optimization of

solid/liquid extraction of total sunflower proteins from cold press meal. *Food Chemistry*, 317: 126423.

Amiratashani, F., Yarmand, M.S., Kiani, H., Askari, G., Naeini, K.K., Parandi, E. (2024). Comprehensive structural and functional characterization of a new protein-polysaccharide conjugate between grass pea protein (*Lathyrus sativus*) and xanthan gum produced by wet heating. *International Journal of Biological Macromolecules*, 254: 127283.

Başıyigit, B., Yüceetepe, M., Akyar, G., Karaaslan, A., Karaaslan, M. (2022). Enhancing thermal and emulsifying resilience of pomegranate fruit protein with gum Arabic conjugation. *Colloids and Surfaces B: Biointerfaces*, 215: 112516.

Boonlao, N., Ruktanonchai, U.R., Anal, A.K. (2023). Glycation of soy protein isolate with maltodextrin through Maillard reaction via dry and wet treatments and compare their techno-functional properties. *Polymer Bulletin*, 80(8): 8603-8626.

Chen, K., Zhang, M., Wang, D., Mujumdar, A.S., Deng, D. (2024). Development of quinoa (*Chenopodium quinoa Willd*) protein isolate-gum Arabic conjugates via ultrasound-assisted wet heating for spice essential oils emulsification: Effects on water solubility, bioactivity, and sensory stimulation. *Food Chemistry*, 431: 137001.

Dabbour, M., Hamoda, A., Wahia, H., Mintah, B.K., Betchem, G., He, R., Ma, H., Fikry, M. (2023). Functional, conformational, topographical, and antioxidative properties of convectively- and freeze-dried sunflower protein and hydrolysate: A comparative investigation. *Drying Technology*, 41(12): 1962-1976.

Deng, Y., Huang, L., Zhang, C., Xie, P., Cheng, J., Wang, X., Li, S. (2019). Physicochemical and functional properties of Chinese quince seed protein isolate. *Food Chemistry*, 283: 539-548.

Dursun Capar, T., Yalcin, H. (2021). Protein/polysaccharide conjugation via Maillard reactions in an aqueous media: Impact of protein type, reaction time and temperature. *LWT-Food Science and Technology*, 152: 112252.

- Feng, J., Berton-Carabin, C.C., Ataç Mogol, B., Schroën, K., Fogliano, V. (2021). Glycation of soy proteins leads to a range of fractions with various supramolecular assemblies and surface activities. *Food Chemistry*, 343: 128556.
- Galves, C., Stone, A.K., Szarko, J., Liu, S., Shafer, K., Hargreaves, J., Siarkowski, S., Nickerson, M.T. (2019). Effect of pH and defatting on the functional attributes of safflower, sunflower, canola, and hemp protein concentrates. *Cereal Chemistry*, 96(6): 1036-1047.
- Gao, K., Zha, F., Rao, J., Chen, B. (2024). Nonenzymatic glycation as a tunable technique to modify plant proteins: A comprehensive review on reaction process, mechanism, conjugate structure, and functionality. *Comprehensive Reviews in Food Science and Food Safety*, 23(1): 1-24.
- Hadidi, M., Aghababaei, F., McClements, D.J. (2024). Sunflower meal/cake as a sustainable protein source for global food demand: Towards a zero-hunger world. *Food Hydrocolloids*, 147: 109329.
- Hadidi, M., Ibarz, A., Pouramin, S. (2021). Optimization of extraction and deamidation of edible protein from evening primrose (*Oenothera biennis* L.) oil processing by-products and its effect on structural and techno-functional properties. *Food Chemistry*, 334: 127613.
- Kaur, R., Ghoshal, G. (2022). Sunflower protein isolates-composition, extraction and functional properties. *Advances in Colloid and Interface Science*, 306: 102725.
- Ke, C., Li, L. (2023). Influence mechanism of polysaccharides induced Maillard reaction on plant proteins structure and functional properties: A review. *Carbohydrate Polymers*, 302: 120430.
- Liu, J., Ru, Q., Ding, Y. (2012). Glycation a promising method for food protein modification: Physicochemical properties and structure: A review. *Food Research International*, 49(1): 170-183.
- Lowry, O.H., Rosebrough, N.J., Farr, A.L., Randall, R.J. (1951). Protein measurement with the folin phenol reagent. *Journal of Biological Chemistry*, 193(1): 265-275.
- Naik, R.R., Wang, Y., Selomulya, C. (2022). Spray-drying to improve the functionality of amaranth protein via ultrasonic-assisted Maillard conjugation with red seaweed polysaccharide. *Journal of Cereal Science*, 108: 103578.
- Özdemir, E.E., Görgüç, A., Gençdağ, E., Yılmaz, F.M. (2022). Physicochemical, functional and emulsifying properties of plant protein powder from industrial sesame processing waste as affected by spray and freeze drying. *LWT-Food Science and Technology*, 154: 112646.
- Pirestani, S., Nasirpour, A., Keramat, J., Desobry, S. (2017). Preparation of chemically modified canola protein isolate with gum Arabic by means of Maillard reaction under wet-heating conditions. *Carbohydrate Polymers*, 155: 201-207.
- Pirestani, S., Nasirpour, A., Keramat, J., Desobry, S., Jasniewski, J. (2018). Structural properties of canola protein isolate-gum Arabic Maillard conjugate in an aqueous model system. *Food Hydrocolloids*, 79: 228-234.
- Qu, W., Zhang, X., Han, X., Wang, Z., He, R., Ma, H. (2018). Structure and functional characteristics of rapeseed protein isolate-dextran conjugates. *Food Hydrocolloids*, 82: 329-337.
- Seidi, P., Nasirpour, A., Keramat, J., Saeidy, S. (2023). Functional and structural properties of gum arabic complexes with casein and hydrolyzed casein achieved by Maillard reaction. *Journal of Dispersion Science and Technology*, 44(4): 639-650.
- Shen, Y., Hong, S., Singh, G., Koppel, K., Li, Y. (2022). Improving functional properties of pea protein through “green” modifications using enzymes and polysaccharides. *Food Chemistry*, 385: 132687.
- Shen, Y., Li, Y. (2021). Acylation modification and/or guar gum conjugation enhanced functional properties of pea protein isolate. *Food Hydrocolloids*, 117: 106686.
- Tontul, İ., Kasimoglu, Z., Asik, S., Atbakan, T., Topuz, A. (2018). Functional properties of chickpea protein isolates dried by refractance window drying. *International Journal of Biological Macromolecules*, 109: 1253-1259.

Yüzer, M.O. (2023). Soya proteini izolati-fruktoz glikasyon konjugatlarının yapısı ve bazı teknofonksiyonel özellikleri üzerine ultrason işleminin etkisi. *Gıda*, 48(6): 1351-1365.

Zha, F., Dong, S., Rao, J., Chen, B. (2019). The structural modification of pea protein concentrate with gum Arabic by controlled Maillard reaction

enhances its functional properties and flavor attributes. *Food Hydrocolloids*, 92: 30-40.

Zhang, Z., Holden, G., Wang, B., Adhikari, B. (2023). Maillard reaction-based conjugation of Spirulina protein with maltodextrin using wet-heating route and characterisation of conjugates. *Food Chemistry*, 406: 134931.