

Kazein ve Glüten İzolatlarının Bazı Fonksiyonel Özelliklerinin Karşılaştırılması

Ümran CANSU^{1*}, Gülistan OKUTAN², Gökhan BORAN³

Öz

Bu çalışmada, gıda endüstrisinde önemli bir yere sahip olan kazein ve glüten fonksiyonel özellikleri bakımından karşılaştırılmıştır. Protein örneklerinde viskozite, iletkenlik, kitle yoğunluğu, Hausner oranı ve Carr indeksi, ıslanabilirlik, su tutma kapasitesi, yağ bağlama kapasitesi, köpük oluşturma kapasitesi ve stabilitesi, renk, emülsiyon aktivitesi ve stabilitesi ve son olarak çözünürlük analizleri gerçekleştirilmiştir. Kazeinin (2.05±0.16 g su/g protein) su tutma kapasitesi glütene (1.64±0.10 g su/g protein) göre daha yüksek bulunmuştur. Glütenin köpük oluşturma kapasitesi kazeinden daha yüksek olduğu, köpük stabilitesinin ise glütende 60. dakika sonunda bile aynı düzeyde kaldığı gözlenmiştir. Glütenin emülsiyon stabilitesinin kazeinden daha yüksek olduğu belirlenmiştir. Protein örneklerinin, beklendiği gibi, izoelektronik noktalarda en düşük çözünürlük gösterdiği, yüksek pH değerlerinde ise oldukça yüksek çözünürlük gösterdiği belirlenmiştir. Ayrıca, kazeinin glütene göre daha viskoz çözeltiler oluşturduğu, glütenin ise yüksek pH değerlerinde kazeine göre daha fazla çözündüğü gözlenmiştir. Her iki proteinin de iyi akış özelliği gösterdiği Hausner oranı ve Carr indeksi ile belirlenmiştir. Hausner oranı kazeinde 1.69±0.02 ve glütende 1.86±0.10; Carr indeksi ise kazeinde 40.84±0.85 ve glütende 46.24±1.80 olarak belirlenmiştir. Renk ölçümlerine göre glütenin daha parlak ve açık renk olduğu, kazeinin ise daha yüksek a* ve b* değerlerine sahip olduğu tespit edilmiştir. Elde edilen sonuçların, çalışılan proteinlerin gıda ve farmasötik uygulamalarda kullanımına katkı sağlayabileceği düşünülmektedir.

Anahtar Kelimeler: Fonksiyonel özellikler, glüten, kazein, viskozite.

Comparison of Some Functional Features of Casein and Gluten Isolates

Abstract

In this study, casein and gluten that have an important place in the food industry, were compared in terms of their functional properties. Viscosity, conductivity, bulk density, Hausner ratio and Carr index, wetting ability, water-holding capacity, fat-binding capacity, foam formation capacity and stability, color, emulsion activity and stability, and finally solubility analyses were performed on protein samples. It was found that the water-holding capacity of casein (2.05±0.16 g water/g protein) was higher than gluten (1.64±0.10 g water/g protein). It was determined that foam formation capacity of gluten was higher and the foam stability remained almost the same after 60 minutes in gluten. It was determined that the emulsion stability of gluten was higher than that of casein. As expected, protein samples showed the lowest solubility at the isoelectric points and showed very high solubility at high pH values. In addition, it was observed that casein formed more viscous solutions than gluten, and gluten dissolved more than casein at high pH values. The good flow properties of both proteins were determined by the Hausner ratio and Carr index. The Hausner ratio was determined to be 1.69±0.02 in casein and 1.86±0.10 in gluten, while the Carr index was determined to be 40.84±0.85 in casein and 46.24±1.80 in gluten. According to the color measurements, it was found that gluten had a brighter and lighter color, while casein had higher a* and b* values. It is thought that the results obtained can contribute to the use of these proteins in food and pharmaceutical applications.

Keywords: Casein, functional features, gluten, viscosity.

¹Harran Üniversitesi, Organize Sanayi Bölgesi Meslek Yüksekokulu, Gıda İşleme Bölümü, Şanlıurfa, Türkiye, umrancansu@harran.edu.tr

²Siirt Üniversitesi, Teknik Bilimler Meslek Yüksekokulu, Gıda İşleme Bölümü, Siirt, Türkiye, gulistan.okutan@siirt.edu.tr

³Van Yüzüncü Yıl Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Gıda Mühendisliği Bölümü, Van, Türkiye, gboran@yyu.edu.tr

¹<https://orcid.org/0000-0002-0504-8308>

²<https://orcid.org/0000-0002-1936-7633>

³<https://orcid.org/0000-0002-8871-8433>

1. Giriş

Proteinler, besinsel faydaları ve gıda formülasyonlarındaki işlevsellikleri nedeniyle gıda endüstrisinde yaygın olarak kullanılmaktadır (Akharume ve ark., 2020). Proteinler oldukça fonksiyonel moleküller olduğundan, hava kabarcıklarını veya yağ damlacıklarını stabilize edebilir ve jel yapısı oluşturabilir (Wu ve ark., 2019). Gıda proteinleri beslenme, biyoaktivite ve sağlıkta önemli roller üstlenmektedir. Ancak gıda proteinlerinin işlevselliği; çözünürlük, su tutma, yağ emilimi, emülsifiye etme, köpürme ve jelleşme gibi fonksiyonel özelliklerine bağlı olarak belirlenmektedir. Bu özellikler, gıda proteinlerini çok çeşitli ürünlerin geliştirilmesi, formülasyon çalışmaları ve diğer uygulamalarında çok yönlü ve kullanışlı bileşenler haline getirir (Aryee ve ark., 2018).

Kazein, süt proteinlerinin yaklaşık %80'nini oluşturmakla beraber α_{s1} , α_{s2} , β ve κ olmak üzere amfibik özellikte olan 4 farklı alt gruba sahiptir. Kazeinin protein yapısı, kazein miselleri olarak bilinen küresel olmayan parçacıklardan oluşur (Silva ve ark., 2018). Ayrıca, yüksek hidrofobik yapıları nedeniyle kazein alt grupları ve amorf kalsiyum fosfattan oluşan heterojen bir yapı oluşturmaktadır. Kuru ağırlık bazında, miseller %94 protein ve %6 iyonlardan (başlıca kalsiyum, fosfat, magnezyum ve sitrat) oluşur (Ranadheera ve ark., 2016). Ticari olarak üretilen kazein izolatları, besleyici ve fonksiyonel özellikleri nedeniyle gıda endüstrisinde yaygın olarak kullanılır ve ayrıca biyoaktif maddelerin (vitaminler, yağ asitleri vb.) doğal taşıyıcıları olarak kabul edilir. Kazein proteini; emülsiyon oluşturma, su ve yağ bağlama, viskoz yapı oluşturma, köpürtme ajanı ve çeşitli işlevsel özelliklerine bağlı olarak; süt ürünleri, bebek mamaları, unlu mamuller, et ürünleri, şekerlemeler ve içeceklerin stabilizasyonunda yaygın olarak kullanılmaktadır (Lu ve ark., 2015). Ayrıca, kazein protein izolatları düşük maliyetli, kolay erişilebilir, kararlı ve toksik değildir. Kazein proteinleri, biyolojik olarak uyumlu ve parçalanabilir oldukları için genel olarak güvenli olan (GRAS, generally regarded as safe) moleküllerdir (Rehan ve ark., 2019).

Glüten, buğday nişastası endüstrisinin ekonomik açıdan önemli bir yan ürünüdür. Glüten, gliadin ve glutenin proteinlerinden oluşmaktadır. Farklı buğday çeşitleri, protein içeriği ve gluten proteinlerinin bileşimi ve dağılımı bakımından farklılık gösterir. Gliadin ve glutenin proteinleri, suda çözünmeyen ancak sulu etanolde ekstrakte edilebilen tohum proteinlerini temsil eden ve yüksek düzeyde glutamin (%38) ve prolin kalıntıları (%20) içeren prolaminler olarak anılır (Biesiekierski, 2017). Glutenin reolojik ve fonksiyonel özellikleri, gluteninlerin gliadinlere oranına ve bu yapıların etkileşimlerine bağlı olarak değişmektedir. Reolojik özellikleri, glutenin fonksiyonel kullanımlarının temelini oluşturmaktadır. Bundan dolayı gluten en önemli bitkisel proteinlerden biri olarak kabul edilmekte ve özellikle fırıncılık ürünlerinde (ekmek, kek, bisküvi, kahvaltılık gevrekler), et ürünlerinde, hazır çorbaların formülasyonu ile ilaç ve kimyasal ürünlerde kullanımı ile ön plana çıkmaktadır. Glutenin sayısız uygulamaları, temel olarak oluşturduğu viskoelastik yapı, su emme ve

kıvam artırıcı etkileri gibi farklı fonksiyonel özelliklerinden kaynaklanmaktadır (Majzoobi ve Abedi, 2014).

Bu çalışmada, gıda ve farmasötik endüstrisinde yoğun olarak kullanılan kazein ve glütenin bazı fonksiyonel özellikleri karşılaştırmalı olarak incelenmiştir. Farklı yapılara sahip olan bu iki proteinin emülsiyon oluşturma karakteristiklerinin yanında su tutma kapasitesi, yağ bağlama kapasitesi ve köpük oluşturma özellikleri ele alınmıştır. Bunun yanında ticari protein hidrolizatlarının toz özellikleri arasında değerlendirilen Hausner oranı, Carr indeksi, ıslanabilirlik ve renk özellikleri ile çözünme ve viskozite özellikleri karşılaştırmalı olarak değerlendirilmiştir.

2. Materyal ve Metot

2.1. Materyal

Kazein ve glüten proteinleri Sigma Aldrich (St. Louis, MO, USA) firmasından satın alınmıştır. Çalışmada kullanılan diğer tüm kimyasallar analitik saflıkta olmakla birlikte aynı firmadan temin edilmiştir.

2.2. Biyokimyasal kompozisyon

Kazein ve glüten proteinlerinin biyokimyasal kompozisyonu AOAC yöntemlerine (kurumadde tayini için 930.15; protein tayini için 984.13.15, mineral tayini için 942.05, yağ tayini için 991.36) göre belirlenmiştir (AOAC, 1990).

2.3. Kitle yoğunluğu ve yığın yoğunluğu

Proteinlerin kitle yoğunluğu ve yığın yoğunluğu analizleri Tatar ve ark. (2014) tarafından belirtilen yöntemde bazı modifikasyonlar uygulanarak yapılmıştır. Proteinlerden 5 g alınarak 25 mL'lik mezür içerisine belirli bir yükseklikten aktarılıp hacim kaydedilmiştir. Örneklerin kütlesi kapladığı hacme oranlanarak kitle yoğunluğu hesaplanmıştır. Ardından yığın yoğunluğunu belirlemek için örneklerin bulunduğu mezürler düz bir zemine 200 defa elle vurulmuş ve yeni hacim kaydedilmiştir. Kitle yoğunluğu değerleri aşağıdaki formüller kullanılarak ile belirlenmiştir.

$$\text{Kitle yoğunluğu} = \frac{\text{Örnek miktarı}(g)}{\text{İlk hacim}(mL)} \quad (1)$$

$$\text{Yığın yoğunluğu} = \frac{\text{Örnek miktarı}(g)}{\text{Son hacim}(mL)} \quad (2)$$

2.4. Hausner oranı ve Carr indeksi

Proteinlerin Carr indeksi ve Hausner oranı aşağıdaki formüllere göre kitle yoğunluğu ve yığın yoğunluğundan yararlanarak hesaplanmıştır (Turchiuli et al., 2005).

$$Carrindeksi = \frac{(sıkıştırılmış kitleyoğunlu - kitle yoğunluğu) * 100}{sıkıştırılmış kitle yoğunluğu} \quad (3)$$

$$Hausneroranı = \frac{sıkıştırılmış kitleyoğunluğu}{kitle yoğunluğu} \quad (4)$$

2.5. Islanabilirlik ölçümü

Proteinlerin ıslanabilirlik analizi için Jinapong ve ark. (2008) tarafından kullanılan yöntem uygulanmıştır. 250 mL'lik bir behere 100 mL saf su ilave edilmiştir. Beherdeki su yüzeyinin 10 cm üstünden 0.1 g protein suya bırakılıp aynı anda zaman ölçülmüştür. Partiküller tamamen ıslanmaya kadar geçen zaman (dak) kaydedilmiştir.

2.6. Viskozite ve iletkenlik değerleri

Protein örnekleri kullanılarak saf suda %5'lik çözeltileri hazırlanmış ve 0.5 N NaOH çözeltisi kullanılarak pH 12'ye ayarlanmıştır. Kazein ve glüten izolatlarının viskozitesi, kalibre edilmiş Cannon Fenske (CANNON, USA) kapiler viskozimetre kullanılarak 60°C'deki su banyosunda ölçülmüştür (Aksun-Tümerkan ve ark., 2019). Viskozite ölçümleri için hazırlanan çözeltilerin iletkenlik değeri bir multimetre (SevenGO SG23, Mettler Toledo, USA) kullanılarak ölçülmüştür.

2.7. Su tutma ve yağ bağlama kapasitesi

Proteinlerin su tutma kapasitesi (STK) Cho ve ark. (2004) belirttiği yöntemle ölçülmüştür. İlk olarak 50 mL'lik santrifüj tüpünün darası alınmış ve tüp içine 1 g protein örneği tartılıp üzerine 10 mL saf su eklenmiştir. Hazırlanan karışım vorteks yardımıyla 15 dakikada bir 5 saniye süreyle 1 saat boyunca karıştırılmıştır. Tüpün içinde karıştırılan çözelti oda sıcaklığında 450 ×g kuvvetinde ve 20 dakika boyunca santrifüj edilmiştir. Daha sonra tüpün dibinde kalan pelet ve üstteki saydam kısmın ayrılması için santrifüj tüpü 45°'lik eğik açıyla filtre kâğıdı üzerinde 30 dakika boyunca süzdürülmüş ve tartılmıştır. Proteinlerin su tutma kapasitesi aşağıdaki formüle göre hesaplanmıştır.

$$\%STK = \frac{[Pelet ağırlığı (g) - Protein ağırlığı (g)]}{Protein ağırlığı (g)} \times 100 \quad (5)$$

Proteinlerin yağ bağlama kapasitesi (YBK) de yukarıda verildiği gibi aynı şekilde belirlenmiş ancak YBK için su yerine ayçiçek yağı kullanılmıştır.

$$\%YBK = \{[\text{Pelet ağırlığı (g)} - \text{Protein ağırlığı (g)}] / \text{Protein ağırlığı (g)}\} \times 100 \quad (6)$$

2.8. Köpük oluşturma kapasitesi ve stabilitesi

Elde edilen kuru protein örneklerinden saf su ile %1'lik çözelti hazırlanmış ve 60°C'deki su banyosunda çözündürülmüştür. Daha sonra çözelti homojenizatör (T-25 Ultra Turrax, IKA, Staufen, Almanya) ile 5 dakika boyunca 10.000 rpm hızla karıştırıldıktan sonra 250 mL hacimli bir ölçülü silindire aktarılmıştır. Bu işlem sonunda köpük hacmi 30. ve 60. dakikalarda ölçülmüştür. Köpük oluşturma kapasitesi (KOK) ve köpük stabilitesi (KS) aşağıdaki formüllere göre hesaplanmıştır (Cho ve ark., 2004).

$$\%KOK = \{[\text{ÇH}_0 \text{ (mL)} - \text{ÇH (mL)}] / \text{ÇH (mL)}\} \times 100 \quad (7)$$

$$\%KS_{30} = \{[\text{ÇH}_{30} \text{ (mL)} - \text{ÇH}_0 \text{ (mL)}] / \text{ÇH (mL)}\} \times 100 \quad (8)$$

$$\%KS_{60} = \{[\text{ÇH}_{60} \text{ (mL)} - \text{ÇH}_0 \text{ (mL)}] / \text{ÇH (mL)}\} \times 100 \quad (9)$$

ÇH: Başlangıçtaki çözelti hacmi (mL)

ÇH₀: Homojenizasyondan hemen sonraki çözelti hacmi (mL)

ÇH₃₀: Homojenizasyondan 30 dakika sonraki çözelti hacmi (mL)

ÇH₆₀: Homojenizasyondan 60 dakika sonraki çözelti hacmi (mL)

2.9. Emülsiyon aktivitesi ve emülsiyon stabilitesi indeksi

Protein örneklerinden saf su kullanılarak %1'lik çözeltiler hazırlanıp çözündürülmüştür. Ardından çözeltilerden 30 mL alınarak 10 mL ayçiçeği yağı kullanılarak oda sıcaklığında 1 dakika süreyle ve 10000 rpm hızla homojenize edilmiştir. Homojenizasyon işleminden hemen sonra ve 10 dakika sonra karışımdan 50 µL alınmış, %0.1'lik sodyum dodesil sülfat çözeltisi ile 100 kat seyreltilmiştir. Ardından vorteks ile 10 saniye süreyle karıştırılmıştır. Daha sonra örneklerin absorbansı spektrofotometre kullanılarak 500 nm dalga boyunda okunmuştur. Absorbanslar kullanılarak emülsiyon aktivite indeksi (EAI) ve emülsiyon stabilitesi indeksi (ESI) aşağıdaki formüllere göre hesaplanmıştır (Pearce ve Kinsella, 1978).

$$EAI \text{ (m}^2\text{/g)} = (2 \times 2.303 \times A_0 \times N) / (C \times \text{Ø} \times 10000) \quad (10)$$

$$ESI \text{ (dak)} = (A_0 \times 10) / (A_0 - A_{10}) \quad (11)$$

A_0 : Homojenizasyondan hemen sonra okunan absorbands

A_{10} : Homojenizasyondan 10 dakika sonra okunan absorbands

N: Dilüsyon faktörü

C: Birim hacim başına protein miktarı (g/mL)

\emptyset : Yağın hacim fraksiyonu (0.25)

2.10. Emülsiyon morfolojisi

Emülsiyon aktivitesi indeksi analizindeki gibi hazırlanan emülsiyonların yapısı, yağ damlacıklarının dağılımını kontrol etmek için optik mikroskopta (Eclipse E600, Nikon, Japonya) 1000 kat büyütme yapılarak entegre bir dijital video kamera (DXM1200, Nikon, Japonya) ile incelenmiştir. Hazırlanan emülsiyonlardan emülsiyon oluşumundan hemen sonra birer damla alınarak mikroskop lamaları arasına yerleştirilmiş ve görseller kaydedilmiştir (Nesterenko ve ark., 2014).

2.11. Çözünürlük profili

Toz protein örneklerinin çözünürlük analizi Liang and Tang (2013) tarafından belirtilen yöntem kısmen değiştirilerek uygulanmıştır. Kazein ve gluten proteinlerinden 0.1 g tartılarak 5 mL saf su ile karıştırılmıştır. Protein çözeltilerinin pH değerleri 0.5 M HCl ve 0.5 M NaOH kullanılarak 2-10 arasında ayarlanmıştır. Son hacimleri saf suyla 10 mL'ye tamamlanan protein çözeltileri inkübatörde 90 dakika boyunca 150 rpm'de karıştırılmıştır. Proteinlerin çözünmeyen kısımlarının uzaklaştırılması için 5000 rpm'de santrifüjlenerek süpernatant kaba filtreden geçirilmiştir. Elde edilen süpernatantların protein içeriği Biüret metodu ile belirlenmiştir (Gornall ve ark., 1949). Kuru kitledeki protein miktarı Kjeldahl yöntemine göre tespit edilmiştir (AOAC, 1990). Örneklerin % çözünürlük değerleri, aşağıdaki formüle göre hesaplanmıştır.

$$\text{Çözünürlük(\%)} = \frac{As}{Ak} \times 100 \quad (12)$$

As = Süpernatant protein miktarı

Ak = Kuru kitledeki protein miktarı

2.12. Renk ölçümü

Proteinlerin renk ölçümü bir kolorimetre (CSM4, PCE Instruments, Germany) kullanılarak gerçekleştirilmiştir. Bu amaçla yaklaşık 10 g protein şeffaf petri kaplarına konularak yapılmış ve 'Beyazlık İndeksi (WI), hue ve chroma değerleri aşağıdaki formüllere göre hesaplanmıştır.

$$WI=100-\sqrt{\{(100-L)^2+a^2+b^2\}} \quad (13)$$

$$Chroma = \sqrt{a^2 + b^2} \quad (14)$$

$$Hue = \arctan \frac{b}{a} \quad (15)$$

3. Bulgular ve Tartışma

3.1. Biyokimyasal kompozisyon ve toz özellikleri

Kazein (Sigma, C7078, saflık değeri; %77-85.5) ve glüten (Sigma, G5004, saflık değeri \geq %75) protein izolatlarının biyokimyasal kompozisyonu ve toz özellikleri Tablo 1'de verilmiştir. Kazein ve glüten protein izolatu örneklerinde toplam protein miktarı sırasıyla %84.1 \pm 1.2 ve %72.6 \pm 0.5 olarak tespit edilmiştir. Ticari kazein izolatlarının kullanılan üretim tekniğine göre %70 ile %90 oranında protein bulundurduğu Atamer ve ark. (2017) tarafından belirtilmiştir. Ticari glüten izolatlarında ise protein içeriğinin ortalama %75 civarında olduğu belirlenmiştir (Day ve ark., 2006; Atamer ve ark., 2017). Toplam kuru madde değerleri birbirine yakın olan protein örneklerinde mineral madde oranı kazein ve glütende sırasıyla %3.3 \pm 0.0 olarak 1.9 \pm 0.0 olarak tespit edilmiştir.

Tablo 1. Kazein ve glütenin biyokimyasal kompozisyonu ve bazı fonksiyonel özellikleri

	Kazein	Glüten
Protein (%)*	84.1 \pm 1.24	72.6 \pm 0.50
Kuru madde (%)	95.5 \pm 1.32	94.3 \pm 2.70
Mineral madde (%)	3.24 \pm 0.20	1.95 \pm 0.04
Ham yağ (%)	0.3 \pm 0.00	0.8 \pm 0.14
Hausner oranı	1.69 \pm 0.02	1.86 \pm 0.10
Carr indeksi	40.84 \pm 0.85	46.24 \pm 1.80
Islanabilirlik (dak)	0.37 \pm 0.01	2.59 \pm 0.02
Viskozite (cP)	1.83 \pm 0.09	1.26 \pm 0.03
İletkenlik (μ S/cm) (pH 12)	4.42 \pm 0.45	12.55 \pm 0.64

*Azot çevrim faktörleri glüten ve kazein için sırasıyla (N \times 5.70) ve (N \times 6.38) olarak kullanılmıştır, Ortalamalar standart sapma S.S. (\pm) ile beraber verilmiştir.

Üretim zinciri sırasında bazı toz gıdalarda aglomerasyon ve sıkıştırma gibi akış özelliklerini etkileyebilecek, istifleme, paketleme ve nakliyyede sorunlara yol açabilecek istenmeyen fiziksel

değişiklikler olabileceğinden bunların akış özelliklerinin belirlenmesi önemlidir. Yoğunluk önemli bir akış özelliğidir (Acosta-Domínguez ve ark., 2021). Toz protein izolatlarının kitle yoğunlukları birbirine yakın olup kazein ve glütene sırasıyla 0.56 ± 0.04 , 0.47 ± 0.08 (Tablo 1) olarak bulunmuştur. Yığın yoğunluğu ise kazein ve glütene sırasıyla 0.95 ± 0.07 ve 0.88 ± 0.05 (Tablo 1) olarak belirlenmiştir. Granül tozların akışkanlığı; gıda, farmasötikler, mineraller ve diğer mühendislik dallarında toz işleme süreçlerinde önem arz etmektedir. Çeşitli endüstrilerde kullanılan toz örneklerin akışkanlığı Hausner oranı ve Carr indeksi değerleri ile belirlenmektedir. Ampirik olarak 1.22'den büyük bir Hausner oranı veya 0.18'den büyük bir Carr indeksi, zayıf akışkanlığın bir göstergesidir. Hausner oranı 1.18'in altında veya Carr indeksi 0.15'in altında ise akışkanlık iyi olarak kabul edilir. Bununla birlikte birçok deneysel kanıt, hem Hausner oranının hem de Carr indeksinin yalnızca bazı toz sistemleri için geçerli olduğunu, tutarlı ve tahmin edilebilir akışkanlık değerleri olmadığını göstermektedir (Hao, 2015). Hausner oranı kazeinde 1.69 ± 0.02 iken glütene 1.89 ± 0.10 olarak tespit edilmiştir. Carr indeksi değerleri ise kazein ve glütene sırasıyla 40.84 ± 0.85 ve 46.24 ± 0.180 düzeylerinde ölçülmüştür. Sonuçlar her iki protein izolatının söz konusu değerlerin üzerinde olduğunu ve zayıf bir akışkanlık gösterdiklerini belirtmektedir.

Gıda tozlarının ıslanabilirliği katı ve su fazı arasındaki moleküler bir etkileşimi gösterir ve genellikle toz parçacıklarının suyun neden olduğu yüzey gerilimini aşma yeteneği olarak kabul edilir (Lee ve ark., 2014.). Kazeinin ıslanabilirliğinin (0.37 dak) glütene (2.59 dak) kıyasla daha yüksek olduğu gözlenmiştir. Bu durum, kazeinde granüler yapının daha küçük ve suyla oluşan yüzey geriliminin daha düşük olduğunu göstermektedir (Lee ve ark., 2014).

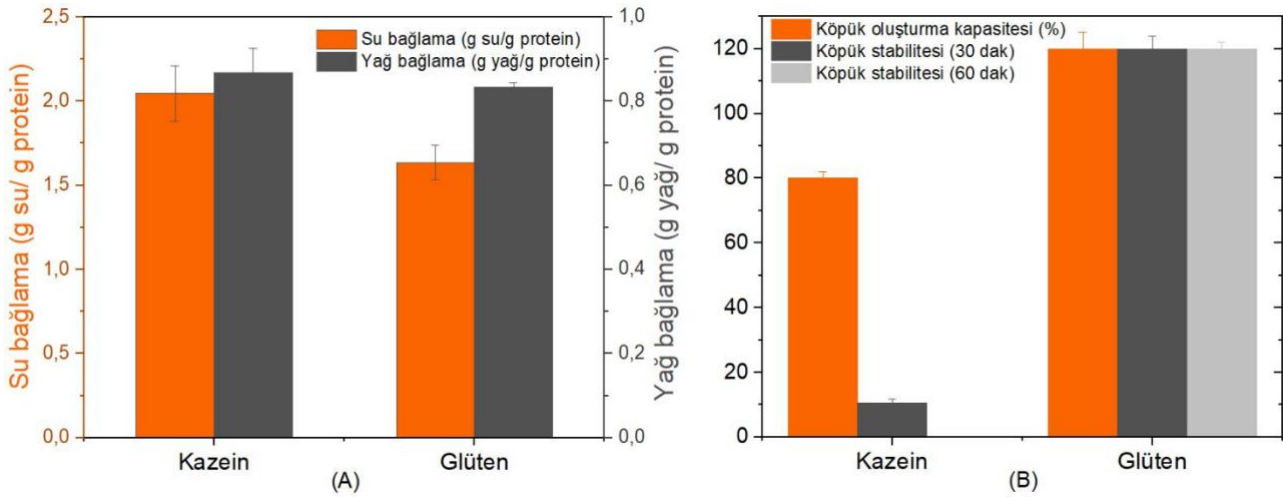
3.2. Viskozite ve iletkenlik

Viskozite, gıda proteinlerinin önemli bir fonksiyonel özelliğidir ve emülsiyonlara ve gıdalardaki diğer asılı partiküllere fiziksel stabilite sağlar ve gıdaların ağız hissine katkıda bulunur (Ren ve ark., 2020). Kazein ve glüten protein izolatlarının viskozite değerleri 1.83 ± 0.09 ve 1.26 ± 0.03 cP olarak ölçülmüştür (Tablo 1). Kazeinin glütene göre viskozitesinin yüksek olması yüksek molekül yapısı ve polidispersitesinin daha fazla olmasından kaynaklanıyor olabilir. Gıdalarda proteinlerin kullanımı kalınlaştırıcı ajan olarak değerlendirildiğinde yüksek viskozite değerine sahip proteinler tercih edilmektedir.

Normal şartlar altında protein çözeltilerinin iletkenlikleri viskozite ve konsantrasyona bağlı değişmektedir. %5'lik konsantrasyona sahip protein çözeltileri ile yapılan ölçümlerde kazein ve glüten izolatlarının iletkenlik değerleri sırasıyla 4.42 ± 0.45 ve 12.55 ± 0.64 $\mu\text{S}/\text{cm}$ olarak ölçülmüştür. Bu durum glüten protein çözeltilerinde protein parçacıkları ve serbest iyonlardan kaynaklı iyonik salınımın daha yüksek olduğunu göstermektedir (Alshami ve ark., 2017).

3.3. Su tutma ve yağ bağlama kapasitesi

Protein örneklerinin su tutma kapasitesi ve yağ bağlama kapasitesi Şekil 1 A’da verilmiştir. Su tutma kapasitesi (STK), proteinlerin temel kalite özellikleri ve verimini etkileyen önemli bir faktördür, çünkü gıdalarda mekanik mukavemetin, esnekliğin, plastik davranışın ve akış özelliklerinin belirlenmesinde önemlidir (Karami ve Akbari-adergani, 2019). Bir gıdanın STK, birim kuru madde kütlesi başına emilebilen ve tutulabilen su miktarıdır ve gıda kalitesinin belirlenmesinde önemlidir (Liang ve ark., 2020). Bir proteinin STK ve hidrasyon kapasitesi, hidrofilik grup dağılımı ve üç boyutlu ağ yapısı ile yakından ilişkilidir. Bu durum, ürünlerin prosesini ve depolanmasını etkiler (Zhang ve ark., 2021). Kazeinin (2.05 ± 0.16 g su/g protein) STK değeri glütene (1.64 ± 0.10 g su/g protein) göre daha yüksek bulunmuştur. Kazeinin glütene oranla yüksek su tutma eğilimi muhtemelen kazeinin yüksek hidrofilik karakterinden kaynaklanmaktadır. Lara-Castellenos ve ark. (2021), kazeinin STK değerini 2.51 g su/g protein olarak tespit etmiştir. Majzoobi ve Abedi (2014) glutenin nötr pH değerinde 1.2 g su/g protein STK değerine sahip olduğunu belirtmiştir.



Şekil 1. Protein örneklerinin su tutma, yağ bağlama (A) ve köpük oluşturma değerleri (B)

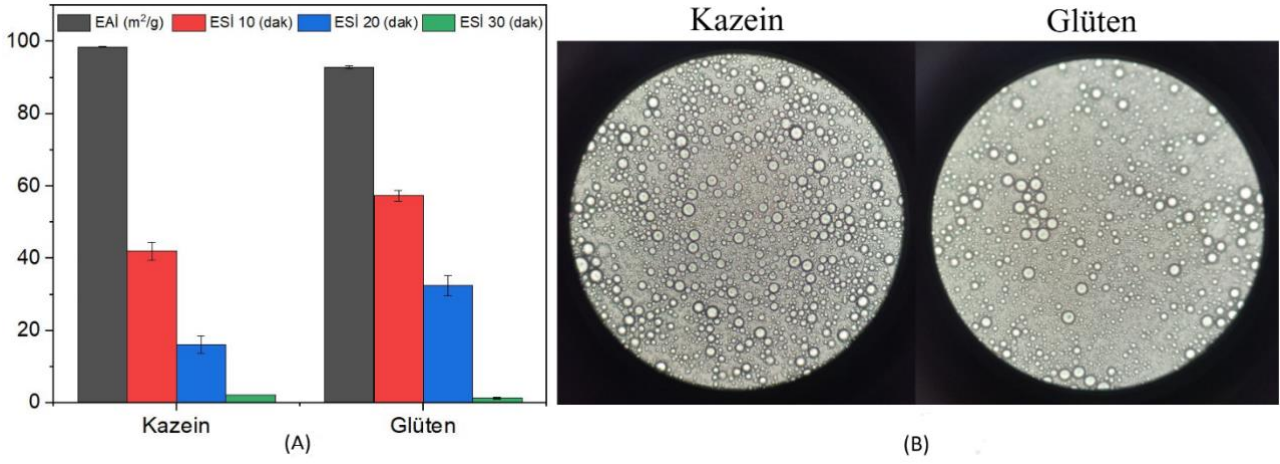
Yağ bağlama kapasitesi (YBK), proteinlerin yan zincirlerinde bulunan polar olmayan amino asitler tarafından yağın bağlanmasıdır. Proteinlerin YBK, unlu mamuller gibi işlenmiş gıdalarda dokuyu iyileştirir ve verim kayıplarını azaltır (Aslan-Türker ve ark., 2022). Hidrofobik grup sayısının çok olması yağ bağlama kapasitesinin yüksek olmasına sebep olmaktadır (Ömeroğlu, 2018). Kazein (0.87 ± 0.05 g yağ/g protein) ve glüten (0.84 ± 0.01 g yağ/g protein) izolatlarının YTK değeri birbirine yakın bulunmuştur. Zhang ve ark. (2021), glutenin YTK değerinin 0.88 g yağ/g protein olduğunu belirtmiştir. Deng ve ark. (2016), glutenin YBK değerini 0.92 g yağ/g protein olarak belirlemiştir. Bu çalışmada elde edilen STK ve YBK değerlerinin literatür ile uyumlu olduğu görülmektedir.

3.4. Köpük oluşturma kapasitesi ve köpük stabilitesi

Gıda köpüğü hava, sıvı ve proteinler gibi yüzey aktif maddelerden oluşur. Hava kabarcıklarının oluşumu, havalandırılmış gıdanın dokusunu ve reolojik özelliklerini değiştirir (Sadahira ve ark., 2016). Proteinler, hidrofobik özellikleri ve hava-su arayüzünde hızlı adsorpsiyona izin veren olası konformasyonel yeniden düzenlemeleri aracılığıyla iyi bir köpük oluşturma ve yüksek köpük stabilitesi sağlar (Schmidt ve ark., 2010). Elde edilen verilere göre glutenin köpük oluşturma kapasitesi kazeinden yüksektir. Glütende bu değer 120.00 ± 5.20 bulunurken kazeinde 80.00 ± 2.20 olarak bulunmuştur (Şekil 1 B). Kazeinin köpük stabilitesi zamanla düşüş göstermesine rağmen, glutenin stabilitesinde bir düşüş meydana gelmemiştir. Zhang ve ark. (2021), yaptıkları çalışmada glutenin köpük oluşturma kapasitesini 124.20 olarak tespit etmiştir. Han ve ark. (2020) yaptıkları bir çalışmada herhangi bir işlem uygulanmamış kazeinde sonuçlarımıza benzer sonuçlar elde etmiştir. Elde edilen sonuçlar, glutenin oluşturmuş olduğu köpüğün daha kararlı bir yapıda olduğu tespit edilmiştir.

3.5. Emülsiyon aktivitesi, emülsiyon stabilitesi indeksi ve emülsiyon morfolojisi

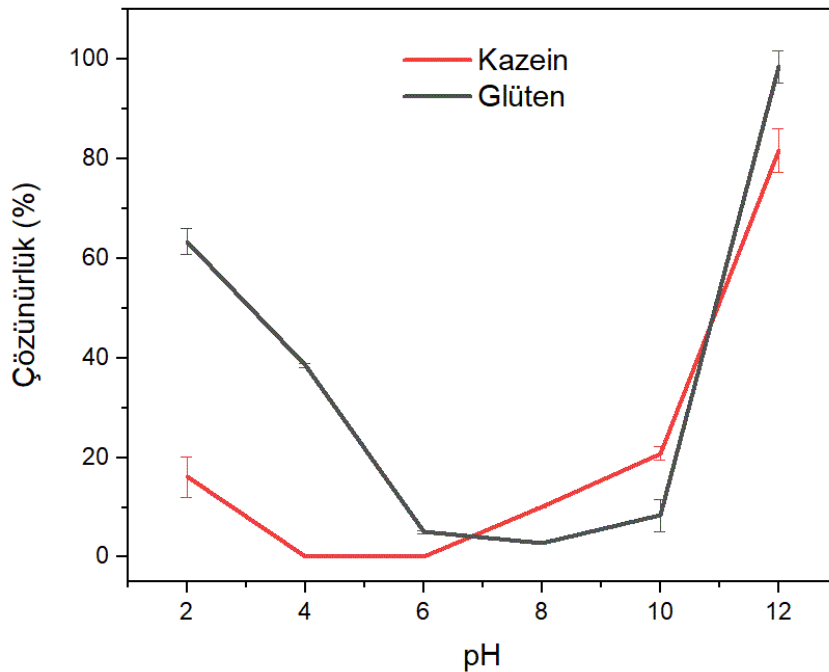
Emülsiyon aktivitesi, bir proteinin bir emülsiyon oluşumuna yardımcı olma kabiliyetini ve kapasitesini yansıtır ve proteinin bir emülsiyondaki yağ ve suyu arayüzey alanına absorbe etme kabiliyeti ile ilgilidir. Emülsiyon stabilitesi ise normalde proteinlerin bir emülsiyona strese ve değişikliklere karşı direnç için güç verme yeteneğini yansıtır ve bu nedenle belirli bir süre boyunca ara yüzey alanının tutarlılığı ile ilgilidir (Du ve ark., 2013). Doğal proteinler, iki fazlı bir ara yüzde adsorbe olma ve böylece yağ globülleri etrafında güçlü bir viskoelastik film oluşturma yeteneklerinden dolayı emülsiyon aktivitesi sergilerler (Mirmoghtadaie ve ark., 2016). Kazein ve glutene ait emülsiyon aktivitesi ve stabilitesi değerleri ile emülsiyonlara ait mikroskop görüntüleri Şekil 2 (A, B)'de verilmiştir. Kazeinin emülsiyon aktivitesi nispeten yüksek olmasına karşın glutenin oluşturduğu emülsiyonların daha stabil olduğu tespit edilmiştir. Bu durum, glutenin amfifilik karakterini, yüzey aktif özelliklerini ve yağ asidi zincirlerinin proteine bağlanma düzeyinin daha iyi olduğunu göstermektedir (Yusoff ve Murray, 2011). Glutenin matris zincirinin damlacıklar etrafında aglomerasyonu muhtemelen daha yüksek olmuştur, bu durum mikroskop altında çekilen emülsiyon resimlerinde de görülmektedir. Bununla birlikte, glutenin emülsiyonunda aktif çekirdek (yağ) damlacıklarının üniform olduğu ve yağ damlacıklarının ortalama çapının daha küçük olduğu gözlemlenmiştir. Dolayısıyla gluten ile oluşturulan emülsiyonların yağ damlacıklarının topaklanması veya flokülasyonu açısından daha kararlı olduğu görülmektedir. (Nesterenko ve diğerleri, 2014).



Şekil 2. Emülsiyon aktivitesi ve stabilitesi indeksleri (A) ve emülsiyonların morfolojik görüntüleri (B)

3.6. Protein izolatlarının çözünürlük profili

Genel olarak, iyi bir protein ürününün gıda sistemlerinde iyi performans göstermesi için birden fazla işlevselliğe sahip olması gerekir. Protein ürünlerinin en önemli tekno-işlevsel özellikleri, emülsifikasyon, köpürme ve jelleşmenin yanında bir de çözünürlüktür. Gıda işleme uygulamalarında optimum işlevsellik için proteinlerin iyi çözünürlüğü arzu edilir (Barac ve ark., 2015). Kazein ve glütene ait çözünürlük profili Şekil 3'te verilmiştir. Kazeinin en düşük çözünürlüğünün pH 4 civarında, glütenin ise pH 8 civarında olduğu görülmektedir. Bu pH değerleri kazein ve glütenin izoelektronik noktalarına yakın değerlerdir ve bu nedenle çözünürlük en düşüktür. pH değerlerinin artması ile birlikte her iki proteinin de çözünürlükleri hızlı bir şekilde artış göstermiştir.



Şekil 3. Kazein ve glüten proteinlerinin pH değerine bağlı çözünürlük profili.

3.7. Protein izolatlarının renk değerleri

Renk, tüketicilerin tercih, seçim ve yeme isteklerini doğrudan etkileyen gıda maddelerinin en etkileyici ve hoş özelliklerinden biri olarak kabul edilebilir (Martins ve ark., 2016). Renk, gıda kalitesi algısını etkiler ve lezzetle ilgili olduğu algılandığından iştahı uyarır (Oplatowska-Stachowiak ve Elliott, 2015). Genellikle gıdalarda renk pigmentlerini değerlendirmek için CIELab renk sistemi kullanılmaktadır. Bu sistem, farklı gıda matrislerinde L* (parlaklık, siyahtan beyaza), a* (kırmızıdan yeşile koordinat) ve b* (sarıdan maviye koordinat) renk koordinatlarını belirlemek için yaygın olarak kullanılmaktadır (Cortez ve ark., 2016). Kazeinin L* değeri 76.33 ± 0.70 iken glütenin L* değeri 87.78 ± 1.01 olarak bulunmuştur (Tablo 2). Glütenin L* değerinin daha yüksek olduğu belirlenmiştir. Kazeinin a* ve b* değerleri glütenden daha yüksek bulunmuştur. Bununla birlikte L*, a* ve b* değerleri birlikte değerlendirildiğinde hesaplanan WI değeri glütende daha yüksek bulunmuştur. Sonuç olarak glütenin daha açık renkli olduğu belirlenmiştir.

Tablo 2. Kazein ve glütenin renk değerleri

	Kazein	Glüten
L*	76.33 ± 0.70	87.78 ± 1.01
a*	10.53 ± 0.29	2.67 ± 0.11
b*	27.34 ± 0.39	16.83 ± 0.40
WI	62.33 ± 0.71	78.67 ± 0.93
Hue	1.20 ± 0.02	1.41 ± 0.03
Chroma	29.30 ± 0.48	17.04 ± 0.41

Ortalamalar standart sapma S.S. (\pm) ile beraber verilmiştir.

4. Sonuçlar ve Öneriler

Bu çalışmada gıda uygulamalarında oldukça sık kullanılan kazein ve glüten izolatlarının fonksiyonel özellikleri karşılaştırmalı olarak incelenmiştir. Kazeinin su tutma kapasitesi glütene göre daha yüksek bulunmuştur. Ayrıca kazeinle oluşturulan çözeltilerin daha viskoz bir yapı sergilediği tespit edilmiştir. Glütenin köpük oluşturma kapasitesi ve stabilitesi, Hausner oranı, Carr indeksi, ıslanabilirlik değeri, L* ve WI değerleri kazeine göre daha yüksek bulunmuştur. Emülsiyon aktivite indeksi kazeinde daha yüksek bulunmasına karşın, oluşturulan emülsiyonlarda glüten izolatlarının daha kararlı bir yapı sergilediği gözlenmiştir. Proteinlerin genel özellikleri arasında sayılan çözünürlük profilleri yüksek pH değerlerinde benzerlik göstermiştir. Bu çalışmada elde edilen sonuçların süt kazeini ve buğday glütene kullanılan ürünler ile ilgili çalışmalarda yararlı olabileceği düşünülmektedir.

Yazarların Katkısı

Tüm yazarlar çalışmaya eşit katkıda bulunmuştur.

Çıkar Çatışması Beyanı

Yazarlar arasında herhangi bir çıkar çatışması bulunmamaktadır.

Araştırma ve Yayın Etiği Beyanı

Yapılan çalışmada araştırma ve yayın etiğine uyulmuştur.

Kaynaklar

- Acosta-Domínguez, L., Cocotle-Ronzón, Y., Alamilla-Beltrán, L., Hernandez-Martinez, E. 2021. Effect of a cryogenic treatment in the microstructure, functional and flow properties of soy protein isolate. *Food Hydrocolloids*, 119: 106871.
- Akharume, F.U., Aluko, R.E., Adedeji, A.A. 2020. Modification of plant proteins for improved functionality: A review. *Comprehensive Review in Food Science and Food Safety*, 20:198–224.
- Aksun-Tümerkan, E. T., Cansu, Ü., Boran, G., Regenstein, J. M., Özoğul, F. (2019). Physicochemical and functional properties of gelatin obtained from tuna, frog and chicken skins. *Food Chemistry*, 287, 273–279.
- Alshami, A.S., Tang, J., Rasco, B. (2017). Contribution of proteins to the dielectric properties of dielectrically heated biomaterials. *Food Bioprocess Technol*, 10:1548–1561.
- AOAC, 1990. Official methods of analysis. Fifteenth edition. Association of Official Analysis Chemists, Washington, DC.
- Aryee, A.N.A., Agyei, D., Udenigwe, C.C. 2018. Impact of processing on the chemistry and functionality of food proteins. *Proteins in Food Processing*, 27-45.
- Aslan-Türker, D., Göksel-Saraç, M., Doğan, M. 2022. Glütensiz unların tekno-fonksiyonel özellikleri ile toz akış davranışlarının belirlenmesi. *Harran Tarım ve Gıda Bilimleri Dergisi*, 26(4): 528-537.
- Atamer, Z., Post, A. E., Schubert, T., Holder, A., Boom, R. M., & Hinrichs, J. 2017. Bovine β -casein: Isolation, properties and functionality. A review. *International dairy journal*, 66, 115-125.
- Barać, M.B., Pešić, M.B., Stanojević, S.P., Kostić, A.Z., Čabrilo, S.B. 2015. Techno-functional properties of pea (*Pisum sativum*) protein isolates- a Review. *BIBLID*, 1450-7188 46: 1-18.
- Biesiekierski, J.R. 2017. What is gluten? *Journal of Gastroenterology and Hepatology*, 32 (Suppl. 1): 78–81.
- Cho, S. M., Kwak, K. S., Park, D. C., Gu, Y. S., Ji, C. I., Jang, D. H. 2004. Processing optimization and functional properties of gelatin from shark (*Isurus oxyrinchus*) cartilage. *Food Hydrocolloids*, 18: 573-579.
- Cortez, R., Vital, D.A.L., Margulis, D., Mejia, E.G. 2016. Natural Pigments: Stabilization Methods of Anthocyanins for Food Applications. *Comprehensive Review in Food Science and Food Safety*, 00:1-19.
- Day, L., Augustin, M. A., Batey, I. L., & Wrigley, C. W. 2006. Wheat-gluten uses and industry needs. *Trends in food science & technology*, 17(2), 82-90.
- Deng, L., Wang, Z., Yang, S., Song, J., Que, F., Zhang, H., Feng, F. 2016. Improvement of functional properties of wheat gluten using acid protease from *Aspergillus usamii*. *Plos One*, 11(7): e0160101.
- Du, S.K., Jiang, H., Yu, X., Jane, J.L. 2013. Physicochemical and functional properties of whole legume flour. *LWT - Food Science and Technology*, 2013: 1-6.

- Gaiani, C., Banon, S., Scher, J., Schuck, P., Hardy, J. 2005. Use of a turbidity sensor to characterize micellar casein powder rehydration: Influence of some technical effects. *Journal of Dairy Science*, 88:2700–2706.
- Gornall, A. G., Bardawill, C. J., David, M. M. 1949. Determination of serum proteins by means of the biuret reaction. *Journal of Biological Chemistry*, 177: 751-66.
- Han, T., Wang, M., Wang, Y., Tang, L. 2020. Effects of high-pressure homogenization and ultrasonic treatment on the structure and characteristics of casein. *LWT - Food Science and Technology*, 130, 109560.
- Hao, T. 2015. Understanding empirical powder flowability criteria scaled by Hausner ratio or Carr index with the analogous viscosity concept. *RSC Advances*, 5: 57212.
- Jinapong, N., Supphantharika, M., Jamnong, P. 2008. Production of instant soy milk powders by ultrafiltration, spray drying and fluidized bed agglomeration. *Journal of Food Engineering*, 84(2): 194–205.
- Karami, Z., Akbari-edergani, B. 2019. Bioactive food derived peptides: a review on correlation between structure of bioactive peptides and their functional properties. *Food Science Technology*, 56(2):535–547.
- Lara-Castellanos, M.J., Azuara, E., Jimenez-Fernandez, V.M., Luna-Solano, G., Jimenez, G. 2021. Effect of casein replacement by modified casein on physicochemical, textural, sensorial properties and microbiological stability of fresh cheese. *International Dairy Journal*, 112, 104864.
- Lee, J., Chai, C., Park, D.J., Lim, K., Imm, J.Y. 2014. Novel convenient method to determine wettability and dispersibility of dairy powders. *Korean Journal for Food Science of Animal*, 34(6): 852–857.
- Lee, S.W., Shimiz, M., Kaminogawa, S., Yamauchi, K. 1987. Emulsifying properties of a mixture of peptides derived from the enzymatic hydrolyzates of bovine caseins., *Agricultural and Biological Chemistry*, 51: 1535–1540.
- Liang, H.N, Tang, C.H. 2013. pH-dependent emulsifying properties of pea [*Pisum sativum (L.)*] proteins. *Food Hydrocolloids*, 33: 309-319.
- Lu, Y., McMahan, D. J., Metzger, L. E., Kommineni, A., Vollmer, A. H. 2015. Solubilization of rehydrated frozen highly concentrated micellar casein for use in liquid food applications. *Journal of Dairy Science*, 98 (9): 5917–5930.
- Majzoobi, M., Abedi, E. 2014. Effects of pH changes on functional properties of native and acetylated wheat gluten. *International Food Research Journal*, 21(3): 1219-1224.
- Martins, N., Roriz, C.L., Morales, P., Barros, L., Ferreira, I.C.F.R. 2016. Food colorants: Challenges, opportunities and current desires of agroindustries to ensure consumer expectations and regulatory practices. *Trends in Food Science & Technology*, 52: 1-15.
- Mirmoghtadaie, L., Aliabadi, S.S., Hosseini, S.M. 2016. Recent approaches in physical modification of protein functionality. *Food Chemistry*, 199, 619-627.
- Mwasaru, A. M., Muhammad, K., Bakar, J., Cheman, Y. B. 1999. Effect of isolation technique and conditions on the extractability, physiochemical and functional properties of pigeon pea (*Cajanus cajan*) and cow pea (*Vigna unguiculata*) protein isolates. II. Functional properties. *Food Chemistry*, 67: 445–452.
- Nesterenko, A., Alric, I., Violleau, F., Silvestre, F., Durrieu, V. 2014. The effect of vegetable protein modifications on the microencapsulation process. *Food Hydrocolloids*, 41, 95-102.
- Ömeroğlu, L. 2018. Kazein hidrolizatlarının işlevsel özellikleri. *Yüksek Lisans Tezi*. Niğde Ömer Halisdemir Üniversitesi.
- Oplatowska-Stachowiak, M., Elliott, C.T. 2015. Food colours: Existing and emerging food safety concerns. *Critical Reviews in Food Science and Nutrition*, 57(3), 524-548.
- Ranadheera, C.S., Liyanaarachchi, W.S., Chandrapala, J., Dissanayake, M., Vasiljevic, T. 2016. Utilizing unique properties of caseins and the casein micelle for delivery of sensitive food ingredients and bioactives. *Trends in Food Science & Technology*, 57(A): 178-187.
- Rehan, F., Ahemad, N., Gupta, M. 2019. Casein nanomicelle as an emerging biomaterial—A comprehensive review. *Colloids and Surfaces B: Biointerfaces*, 179: 280–292.
- Ren, X., Li, C., Yang, F., Huang, Y., Huang, C., Zhang, K. 2020. Comparison of hydrodynamic and ultrasonic cavitation effects on soy protein isolate functionality. *Journal of Food Engineering*, 265: 109697.
- Sadahira, M.S., Rodrigues, M.I., Akhtar, M., Murray, B.S., Netto, F.M. 2016. Effect of egg white protein-pectin electrostatic interactions in a high sugar content system on foaming and foam rheological properties. *Food Hydrocolloids*, 58: 1-10.
- Schmidt, I., Novales, B., Boué, F., Axelos, M.A.V. 2010. Foaming properties of protein/pectin electrostatic complexes and foam structure at nanoscale. *Journal of Colloid and Interface Science*, 345: 316–324.

- Silva, D.F., Ipsen, L.A.R., Hougaard, A.B. 2018. Casein-based powders: Characteristics and rehydration properties. *Comprehensive Review in Food Science and Food Safety*, 17(1): 240-254.
- Tatar, F., Tugçe, M., Dervisoglu, T.M., Cekmecelioglu, D., Kahyaoglu, T. 2014. Evaluation of hemicellulose as a coating material with gum arabic for food microencapsulation. *Food Research International*, 57 (2014): 168–175.
- Turchiuli, C., Eloualia, Z., El Mansouri, N., Dumoulin, E. 2005. Fluidised bed agglomeration: Agglomerates shape and end-use properties. *Powder Technology*, 157(1-3), 168-175.
- Van Hekken, D.L., Strange, E.D. 1993. Functional properties of dephosphorylated bovine whole casein. *Journal of Dairy Science*, 76(11): 3384-3391.
- Wu, D., Tu, M., Wang, Z., Wu, C., Yu, C., Battino, M., El Seedi, H. R., Du, M. 2019. Biological and conventional food processing modifications on food proteins: Structure, functionality, and bioactivity. *Biotechnology Advances*, 40, 107491.
- Yusoff, A., Murray, B.S. 2011. Modified starch granules as particle-stabilizers of oil-in-water emulsions. *Food Hydrocolloids*, 25: 42-55.
- Zhang, C., Yang, Y.H., Zhao, X.D., Zhang, L., Li, Q., Wu, C., Ding, X., Qian, J.Y. 2021. Assessment of impact of pulsed electric field on functional, rheological and structural properties of vital wheat gluten. *LWT - Food Science and Technology*, 147, 111536.