

MODERN EKSTRAKSİYON YÖNTEMLERİNİN BİTKİSEL PROTEİN İZOLATLARININ TEKNOFONKSİYONEL ÖZELLİKLERİNE ETKİSİ

Harun Reşit ÖZDAL^{*1}, Emine NAKİLCİOĞLU²

¹ Ege Tarımsal Araştırma Enstitüsü Müdürlüğü İzmir/ Türkiye

² Ege Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Gıda Mühendisliği Bölümü, İzmir/ Türkiye

Geliş / Received: 10.02.2025; /Kabul / Accepted: 12.05.2025; Online baskı / Published online: 26.05.2025

Özdal, H. R., Nakilcioğlu, E. (2025). Modern ekstraksiyon yöntemlerinin bitkisel protein izolatlarının teknofonksiyonel özelliklerine etkisi. GIDA (2025) 50 (3) 427-441 doi: 10.15237/ gida.GD25026

Özdal, H. R., Nakilcioğlu, E. (2025). *Effect of modern extraction methods on techno-functional properties of plant protein isolates*. GIDA (2025) 50 (3) 427-441 doi: 10.15237/ gida.GD25026

ÖZ

Bitkisel protein kaynaklarının önemi; hayvansal proteinlerin sağlık ve çevre üzerindeki etkileriyle olumlu bir alternatif oluşturmaları, insan nüfusunun artmasına bağlı olarak doğru ve dengeli beslenme için gerekli besin öğelerine olan talebin artması, bitki proteinlerinin sağlık üzerine olan olumlu etkileri ve özel beslenme alışkanlıklarının popülerlik kazanması, tarımının ekolojik ve sürdürülebilir olması gibi nedenlerden dolayı artmaktadır. Bitki materyallerinden protein ekstraksiyonunda kullanılan kimyasal ekstraksiyon metotları geleneksel metotlar olup ekonomik ve yüksek verimli olmaları nedeniyle tercih edilmektedirler. Fakat hayvansal proteinlerle kıyaslandığında hali hazırda düşük teknofonksiyonel özellikler sergileyen bitki proteinlerinin bu özelliklerini geliştirmekte yetersiz kalmaktadır. Gıda endüstrisinde proteinlerin teknofonksiyonel özellikleri birçok gıdanın prosesinde önem taşımaktadır. Bitki proteinlerine olan bu ilginin karşılanması ve bitki kaynaklı protein izolatlarının teknofonksiyonel özelliklerini geliştirecek modern ekstraksiyon metotlarında ön işlem uygulanması ve/veya geleneksel metotlarla kombine halde kullanılması, protein izolatlarının teknofonksiyonel özelliklerini geliştirmede oldukça önemlidir. Son zamanlarda gerçekleştirilen, çalışmalar modern ekstraksiyon metotlarının bitkisel protein izolatlarının teknofonksiyonel özelliklerini geliştirmede etkili olduğunu göstermektedir.

Anahtar kelimeler: Bitkisel proteinler, modern ekstraksiyon metotları, teknofonksiyonel özellikler

EFFECT OF MODERN EXTRACTION METHODS ON TECHNO-FUNCTIONAL PROPERTIES OF PLANT PROTEIN ISOLATES

ABSTRACT

The importance of plant protein sources is increasing due to several factors: they offer a healthier and more environmentally friendly alternative to animal proteins, the growing human population raises the demand for nutrients essential for a balanced diet, and plant proteins have positive health effects. Additionally, special dietary habits are becoming more popular, and plant-based agriculture is ecological and sustainable. Chemical extraction methods used for extracting proteins from plant materials are traditional, preferred for being economical and efficient. However, they are inadequate for enhancing the techno-functional properties of plant proteins, which are generally lower than those of animal proteins. In the food industry, these properties are crucial in many food processes.

* Sorumlu yazar / Corresponding author

✉: harunresit.ozdal@tarimorman.gov.tr

☎: (+90) 232 846 1331

☎: (+90) 232 846 1107

Harun Reşit Özdal; ORCID no: 0009-0005-5844-7221

Emine Nakilcioğlu; ORCID no: 0000-0003-4334-2900

To meet the rising interest in plant proteins, applying pre-treatments and/or combining traditional methods with modern extraction techniques is important to improve these properties. Recent studies have shown that modern extraction methods can effectively enhance the techno-functional properties of plant-based protein isolates.

Keywords: Plant proteins, modern extraction methods, techno-functional properties

GİRİŞ

Pazar araştırma raporlarına göre, gıda endüstrisinin protein bazlı hammaddelere yönelik talebi 2024 yılında 83.7 milyar dolar seviyesindeyken, 2025 yılında 88.5 milyar dolarlık bir işlem hacmine ulaşması beklenmektedir. Yıllık ortalama %5.7'lik bir büyüme ile bu talebin 2034 yılı itibarıyla yaklaşık 145.7 milyar dolar seviyelerine yükselmesi öngörülmektedir (Anonymous, 2025). Yeterli ve dengeli beslenme için makro ve mikro besin öğelerinin insan vücuduna gıdalar yoluyla alınması gerekmektedir (Savarino vd., 2021). Proteinler insan vücudu için gerekli olan makro besin öğelerinden biridir ki içlerinde esansiyel aminoasitleri de barındırırlar. Protein kaynakları çeşitli olmakla birlikte elde edildiği kaynağa göre proteinlerin besinsel kalitesi, sindirilebilirliği, aminoasit profili ve biyoerişebilirliği gibi faktörler değişkenlik göstermektedir (Sá vd., 2020). Son zamanlarda bitkisel proteinlere olan ilgi; bitki proteinlerinin sağlık yararlarına yönelik bilincin artması, hayvansal proteinlerin maliyetlerinin bitkisel proteinlere kıyasla yüksek olması, geleneksel hayvancılığın ekosisteme verdiği zarar, dini değerlerle şekillenen tüketim tercihleri ve vejetaryen beslenmeye olan ilgi gibi sebeplerden dolayı artmaktadır (Ampofo ve Ngadi, 2022). Proteinler sadece besleyici değerleri yüzünden değil aynı zamanda içine kondukları gıdaların bazı kalite niteliklerini, teknofonksiyonel özellikleri sayesinde geliştirdikleri için de gıda endüstrisinde önemli bir hammaddedir (Loveday, 2020; De Angelis vd., 2024).

PROTEİNLERİN

TEKNOFONKSİYONEL ÖZELLİKLERİ

Proteinlerin teknofonksiyonel özellikleri çözünabilirlik, sıvı tutma kapasitesi, köpük oluşturma kapasitesi ve stabilitesi, emülsiyon oluşturma kapasitesi ve stabilitesi gibi özellikler olup bu teknofonksiyonel özellikler gıda endüstrisinde birçok gıdanın işlenmesinde elzem bir öneme sahiptir (De Angelis vd., 2023).

Yumurta akı, süt proteini veya sığır jelatini gibi hayvansal proteinler sahip oldukları teknofonksiyonel özellikleri sayesinde gıda endüstrisinde yoğun bir şekilde kullanılırken, bitkisel proteinlerin fonksiyonel araçlar olarak endüstride kullanımına giderek artan bir ilgi vardır (Subaşı vd., 2022). Proteinlerin teknofonksiyonel özellikleri birçok endüstriyel gıda ürününün üretiminde kritik öneme sahiptir ve birçok faktörden etkilenirler (Malecki vd., 2021). Teknofonksiyonel özellikleri etkileyen faktörler iç ve dış faktörler olmak üzere iki ana gruba ayrılır. İç faktörleri aminoasit dizilimi ve kompozisyonu, molekülün yapısı, büyüklüğü ve reaktifliği ile hidrofobik/ hidrofilik yapıların birbirine oranı gibi özellikler oluştururken, proteinlerin saflığı, pH, iyonik güç, sıcaklık, molekül yapısı, hidrofobiklik ve hidrofiliklik oranı, ekstraksiyon metodu gibi faktörler dış faktörler arasında sayılabilir (Nasrabadi ve ark., 2021).

Çözünabilirlik

Çözünabilirlik proteinler için en kritik teknofonksiyonel özelliklerden birisidir. Çünkü birçok gıda uygulamasında protein çözünürlüğünün yüksek olması beklenirken, köpük oluşturma, emülsifikasyon ve jel oluşturma, proteinlerin çözünürlükleri ile doğrudan bağlantılıdır (Vogelsang-O'Dwyer vd., 2022; Gao vd., 2024). Çözünabilirlik özellikle süt alternatifi yüksek proteinli içeceklerin üretimi için de önemlidir. Bitki proteinlerinin çözünürlüğü hayvansal proteinlerin çözünürlükleri ile kıyaslandığında düşük kalmaktadır. Çözünürlükteki bu düşüklük bitki proteinlerinin fonksiyonel bir bileşen olarak kullanımını sınırlandırmaktadır (Sim vd., 2021).

Proteinlerin çözünürlüğü, itici ve çekici kuvvetler de dahil olmak üzere protein-protein ve protein-su etkileşimlerinin dengesine bağlıdır. Doğal olarak küresel yapıdaki proteinler tipik olarak daha hidrofobik bölgelerin merkeze gömüldüğü, daha hidrofilik bölgelerin ise yüzeyde açığa çıktığı bir

konformasyonda katlanırlar (McClements vd., 2021). Proteinin yapısı, yüzeye maruz kalan polar ve apolar grupların oranı, proteinler arasındaki etkileşimler gibi faktörler çözünürlüğü etkilemektedir (Ptak-Kaczor vd., 2021). Örneğin

benzer yüklü proteinler birbirini iterek çözünürlüğü artırırken, zıt yüklü proteinler birbirlerini çekerek kümeleşmeye sebep olarak çözünürlüğü düşürmektedir (Sathe vd., 2018; Grossmann ve McClements, 2023).

Çizelge 1. Proteinlerin teknofonksiyonel özellikleri ve bu teknofonksiyonel özelliklerin etki şekli ile etki ettiği gıdalar (Kostic vd., 2015; Beniwal ve Das, 2023)

Teknofonksiyonel özellik	Etki şekli	Hangi gıdalarda
Çözünebilirlik	Protein çözünürlüğü	İçecekler
Su emilimi ve bağlanması	Suyun hidrojen bağı, suyun hapsolmesi	Et, sos, sosis, ekmek, kek vb.
Viskozite	Koyuluk, su bağlama, akışa direnç	Çorba, soslar
Jelleşme	Protein matrisi oluşumu ve düzenlenmesi	Et, peynir
Kohezyon ve adsorpsiyon	Protein yapıştırıcı işlev görür	Et, sos, sosis, fırınlanmış ürünler, pasta
Elastiklik	Glutende hidrofobik bağlanma, jeldeki disülfid bağları	Etler, fırıncılık ürünleri
Emülsifikasyon	Yağ emülsiyonlarının oluşumu ve stabilizasyonu	Sosis, sucuk, çorba, kek
Yağ absorpsiyonu	Serbest yağları bağlama	Et, sos
Köpük oluşturma	Gazı hapsedme ve stabilizasyon	Çırpılmış soslar, şifon tatlılar vb.

Emülsifikasyon kapasitesi

Birbiri içinde çözünmeyen sıvıların karışımına emülsiyon, bu karışımın oluşumuna ise emülsifikasyon denmektedir. Proteinlerin emülsifiye edici özellikleri, muslar, soslar, içecekler ve dondurma gibi gıdalarda, yapı, stabilite ve duyu özellikleri etkilemekte önemli bir rol oynamaktadır (Aryee vd., 2018; Zhang vd., 2023). Proteinler, karışmayan iki faz arasındaki arayüz gerilimini azaltarak emülsiyonları stabilize ederler. Böylece genel serbest enerjiyi düşürerek, ayrışmaya ve kümeleşmeye karşı bir direnç oluştururlar (Henao-Ardila vd., 2024; Liu vd., 2024). Emülsiyonda, küresel yapıdaki proteinler, daha hidrofilik bölgelerinin su fazına, daha hidrofobik bölgelerinin ise yağ fazına uzandığı bir konformasyonda düzenlendiğinde, emülsiyon stabilitesi de artmaktadır (Kim vd., 2020). Emülsifikasyon genel olarak proteinlerin çözünürlüğü ile ilgili olduğu gibi hidrofobik ve hidrofilik bölgelerin uygun bir dengesine ve dağılımına da bağlıdır (McClements vd., 2017; Ricardo vd., 2021).

Köpük oluşturma özelliği

Köpük katı veya sıvı bir faz ile çevrili hava kabarcıkları olarak tanımlanabilir. Köpük

oluşumu ve kararlılığı, kek, dondurma, köpürtülmüş sütü içecekler, çırpılmış soslar ve muslar gibi birçok gıda uygulamasında önemlidir ve bu gıdaların çoğu yüzey aktif madde olarak protein içerirler (Liu vd., 2019; Nasrollahzadeh vd., 2021). Proteinler, arayüz gerilimini azaltarak, hava-su arayüzünde viskoelastik bir tabaka oluşturur ve köpükleri stabilize ederler. Köpük oluşumu ve stabilitesini etkileyen protein özellikleri emülsiyonları etkileyenlerle benzerdir (Delahaije ve Wierenga, 2022). Proteinlerin çözünürlükleri, yapı içindeki hidrofilik ve hidrofobik grupların oranı ve molekülün; boyutu, katlanma konfigürasyonu, yükü gibi etkenler köpük oluşumunu ve stabilitesini etkilemektedir (Amagliani vd., 2021).

Jel oluşturma özelliği

Jelleşme, işlenmiş etler, et analogları, peynir, yoğurt, tofu ve tatlılar dahil olmak üzere birçok gıda için önemli bir diğer teknofonksiyonel özelliktir (Maribao ve Gul, 2024). Jelleşme gıdanın tekstürel özelliklerini etkileyen önemli bir teknofonksiyonel özelliktir ki et ve peynir gibi belirli bir tekstüre sahip gıda ürünlerinin, duyu özelliklerini geliştirmek için bitki proteinlerinin kullanımına yönelik çalışmalara giderek artan bir

ilgi vardır (Kyriakopoulou vd., 2021; Ma vd., 2023).

Proteinlerin jelleşmesi; ısı, kimyasal yöntemler ve enzim uygulamaları ile indüklenebilir. Yöntemler ve koşullar hem jel yapısını hem de sonraki jelleşme özelliklerini (dayanıklılık ve stabilite gibi) etkiler. Bu jellerin (üç boyutlu yapıları nedeniyle) su ve lipitler, şekerler gibi çeşitli diğer bileşenleri tutma kapasitesi, yeni gıda ürünlerinin geliştirilmesinde kullanıma potansiyellerini artırmaktadır (Bessada vd., 2019; Khalesi vd., 2024).

Su ve yağ tutma kapasitesi

Su tutma kapasitesi, 1 g proteinin absorbe edebileceği maksimum suyu ifade ederken yağ tutma kapasitesi 1 g proteinin absorbe edebileceği maksimum yağı ifade etmektedir. Su/yağ tutma kapasitesi önemli bir teknofonksiyonel özelliktir ve gıdanın duyuşal özellikleri, dokusu, ağız hissi, lezzeti ile doğrudan alakalıdır. Yağ tutma kapasitesi protein- yağ etkileşim bölgesindeki apolar aminoasitler ile alakalı iken su tutma kapasitesi protein- su etkileşim bölgesindeki polar aminoasitler ile alakalıdır (Shevkani vd., 2024).

BİTKİ PROTEİNLERİNİ EKSTRAKTE ETMEDE KULLANILAN YÖNTEMLER

Bitki proteinlerinin ekstraksiyonu temel olarak üç adımdan oluşur. Yağı uzaklaştırma, ekstraksiyon ve kurutma (Tang vd., 2024). Yağı uzaklaştırma adımında petrolü eter, n-hekzan, ve n-pentan gibi çözücüler kullanılırken, sonraki adım olan proteinlerin ayrıştırılması fiziksel ve kimyasal ekstraksiyon olarak ikiye ayrılmaktadır. Fiziksel fraksiyonda hava akımı ile sınıflandırma ve öğütme ya da bunların kombine olarak kullanılması ile proteinlerin parçacık boyutlarına göre sınıflandırılması esastır (Shah vd., 2024). Kimyasal metotta ise; tuz, asit ya da alkali ekstraksiyon yöntemlerinden biri kullanılarak hammaddedeki proteinin çözündürülmesi sonrasında ise çöktürülmesi sağlanır (Tang vd., 2024). Sulu ekstraksiyonda tuzlar, iyonik ve iyonik olmayan deterjanlar, etanol, metanol, tamponlar/güçlü denatürantlar gibi organik bazlı çözücüler ile ortam pH'sının ayarlanması için potasyum hidroksit, sodyum hidroksit gibi alkali

çözeltiler kullanılır (Jayaprakash vd., 2022; Hadidi vd., 2023). Organik çözücüler protein ekstraksiyonunda ve protein çöktürme tekniklerinde önemli bir rol oynar ve yüksek saflıkta protein eldesi sağlarlar. Organik çözücülerden biri olan su birçok protein kaynağından protein eldesinde kullanılırken, polar olmayan proteinlerin eldesinde ise etanol, bütanol, aseton gibi çözücüler kullanılır (Chen vd., 2019).

Kimyasal metotlar, ekstraksiyon verimi ve ürün kalitesini artırmak amacıyla diğer ekstraksiyon metotları ile kombine kullanılabilmektedir (Bose vd., 2019). Süper kritik akışkan ekstraksiyonu, yüksek basınç uygulaması, ultrason ve mikrodalga destekli ekstraksiyon, vurgulu elektrik alan destekli ekstraksiyon, enzim destekli ekstraksiyon vb., ekstraksiyon yöntemleri ekstraksiyon verimini artırmak için kullanıldığı gibi protein izolatlarının teknofonksiyonel özelliklerini geliştirmek ve proteinlerin besinsel niteliğini artırmak için de kullanılmaktadır (Lee vd., 2017; Suárez-Hernández vd., 2024).

Ultrason destekli ekstraksiyonda (UDE), bir prop yardımı ile oluşturulan ses dalgaları bitki hücresi duvarını parçalayarak hücre içeriğinin ortama yayılmasını sağlar. Yüksek ekstraksiyon verimi sağlaması, ekstraksiyon süresini kısaltması, az miktarda çözücüye ihtiyaç duyması ve diğer ekstraksiyon tekniklerine kıyasla çevre dostu olması gibi avantajlara sahip olsa da (Yusoff vd., 2022); yüksek ultrason gücüne bağlı olarak ortamda meydana gelen ısınma ve kavitasyon, bazen protein agregasyonuna, hidrolizasyonuna ve denaturasyonuna sebep olarak hem verime hem de teknofonksiyonel özelliklere etki etmektedir (Wang vd., 2021).

Enzim destekli ekstraksiyon (EDE), enzimlerin hücre duvarı polisakkaritlerini hidrolize etmesi ile hücre duvarı geçirgenliğinin artması sonucunda ekstraksiyon sürecinde hedeflene bileşenlerin verimini artıran bir yöntemdir. Bu ekstraksiyon metodu da çevre dostu olması, yüksek ekstraksiyon verimi, düşük toksisite gibi avantajlara sahip olsa da (Shinwari, 2021); bazen saf enzimlerin maliyeti ekstraksiyon maliyetini yükseltmektedir. Bu ekstraksiyon yönteminde en

yaygın kullanılan enzimler proteaz, pektinaz, selüloz enzimleridir (Fan vd., 2022).

Vurgulu elektrik alan destekli ekstraksiyonda (VEADE) iki elektrot arasında tutulan bitki materyaline birkaç mikro saniyeden mili saniyeye kadar kısa bir süre boyunca 10–80 kV/cm aralığında yüksek elektrik alanı yoğunluğuna sahip bir dizi darbe uygulanır. Hücreye yüksek miktarda elektrik alanı uygulandığında, hücre zarının iyonlar, DNA ve proteinler gibi moleküller için geçirgenliği artarak ekstraksiyon sağlanır. Termal olmayan bir yöntem olarak ısıya duyarlı maddelerin ekstraksiyonunda etkin bir ekstraksiyon yöntemidir. Düşük enerji gereksinimi ve zamandan tasarruf sağlaması avantajları arasında görülse de (Naliyadhara vd., 2022); bu yöntem, diğer geleneksel olmayan yöntemlerle karşılaştırıldığında daha yüksek protein verimi elde etmede nispeten yetersizdir ve verimi artırmak için değişkenlerin optimizasyona ihtiyaç duyar (Golberg vd., 2016).

Mikrodalgalar, 300 MHz ile 300 GHz arasında değişen frekansa sahip iyonlaştırıcı olmayan elektromanyetik radyasyonlardır ve dipol rotasyon ile iyonik iletimi birleştirerek numuneyi ısıtarak bitki matrisinin hücre duvarında bulunan hidrojen bağlarının bozulmasına yol açarlar. Bu bozulma, hücre duvarının gözenek açıklığını artırarak çözücünün hücreye daha iyi sızmasını ve hücre içi bileşiklerin etkili bir şekilde salınmasını kolaylaştırır. Mikrodalga destekli ekstraksiyon (MDE), geleneksel termal ekstraksiyona kıyasla homojen ısıtma, iyileştirilmiş ekstraksiyon oranı, daha az çözücü tüketimi ve daha kısa ekstraksiyon süresi (Lee vd., 2017) gibi çeşitli avantajlara sahiptir ve bu da onu katı-sıvı ekstraksiyonu için uygun bir ekstraksiyon metodu haline getirmektedir. Ancak mikrodalga ile oluşan termal enerji, ısıya duyarlı bileşenlerin ekstraksiyonunu zorlaştırmakta ve ekstraksiyon verimini düşürmektedir.

Yüksek basınç destekli ekstraksiyonda (YBDE), çözücü basıncı 100 ila 1000 MPa aralığında değişirken bitki hücresinin içi ile çevresi arasındaki basınç farkı artar. Bunun sonucunda hücre deformasyona uğrar ve hücre duvarı geçirgenliği

artar. Çözücü, hasarlı hücre duvarı ve hücre zarından hücreye nüfuz ederek çözünür bileşiklerin kütle transferini artırır, ekstraksiyonunu sağlar (Grunovaité vd., 2016). Bu ekstraksiyon yönteminde sıcaklık kullanılmadığı için termal degradasyon gözlenmemekte ve bu onu biyoaktif bileşenlerin ekstraksiyonu için uygun bir ekstraksiyon metodu yapmaktadır (Alexandre vd., 2017).

EKSTRAKSİYON TEKNİĞİNİN TEKNOFONKSİYONEL ÖZELLİKLERE ETKİSİ

Proteinlerin teknofonksiyonel özelliklerini etkileyen birçok unsur vardır. Belirli bir teknofonksiyonel özelliği geliştirmek için protein izolasyonunda prosedürü etkileyen hem iç hem dış faktörlerde değişime gidilebilir. Bu faktörlerden bir tanesi de ekstraksiyon metodudur. Ekstraksiyon metodu ile teknofonksiyonel özellikler arasındaki ilişkiyi araştıran birçok çalışma bulunmaktadır. Örneğin Hussain vd., (2021) patatesten protein izolatu elde etmek için UDE ön işlemi uyguladıkları çalışmalarında, ultrason gücü uygulama süresinin (10, 15, 20 dk) teknofonksiyonel özelliklere etkisini incelemişlerdir. Çalışmada protein çözünürlüğü, ultrason uygulama süresine paralel olarak artış göstermiş, en yüksek %93 olarak ölçülmüştür. Ultrason uygulama süresi arttıkça köpük oluşturma kapasitesi, emülsiyon aktivite indeksi ve stabilitesinde de artış gözlenmiştir. Yine UDE metodu ile zeytin yaprağından protein ekstraksiyonunu ve ekstraksiyon metodunun teknofonksiyonel özelliklere etkisini inceleyen başka bir çalışmada (Ortega vd., 2024), ultrason gücünün STK'de ve YTK'de anlamlı bir fark yaratmadığı, ancak köpük kapasitesi ve stabilitesinin UDE ile daha üstün sonuçlar verdiği görülmüştür. Emülsiyon aktivite indeksinin ultrason desteği ile arttığı, emülsiyon stabilitesinin ise tam tersi olarak klasik metotlarda daha yüksek olduğu görülmüştür.

Kiona protein izolatlarına, yüksek basınç homojenizasyon uygulamasının (YBH) (0, 10, 30, 50 MPa) teknofonksiyonel özelliklere etkilerinin incelendiği bir çalışmada (Luo vd., 2022), partikül boyutunun basınç arttıkça küçüldüğü, bunun

özellikle 30, 50 MPa basınç uygulamasında gerçekleştiğini tespit etmişlerdir. Partikül boyutunun küçülmesi ile çözünürlüğün arttığı, uygulanan basınca bağlı olarak da köpük yapma kapasitesinin/stabilitesinin ve emülsiyon aktivite indeksinin geliştiği görülmüştür. YBH uygulamasının kullanıldığı başka bir çalışmada (Saricaoglu, 2020), farklı basınç uygulamalarının mercimekten elde edilen protein homojenizatları üzerine etkileri incelenmiştir. Uygulanan basınç miktarına bağlı olarak su/yağ tutma, köpük oluşturma kapasitesi ve stabilitesi ile emülsiyon aktivite indeksi kontrol örneklerine kıyasla tüm teknofonksiyonel özelliklerde gelişme gözlenmiştir.

Pirinç kepeğinden MDE, EDE ve klasik alkali ekstraksiyon ile elde edilen protein izolatlarında, ekstraksiyon tekniğinin teknofonksiyonel özellikler üzerine etkileri inceleyen Phongthai ve ark., (2016), en yüksek protein çözünürlüğünü EDE uygulanan örneklerde en düşük çözünürlüğü ise MDE yöntemi kullanılan hidrolizatlarda görülmüştür. Çalışmada en düşük su/yağ tutma kapasitesi, EDE'ya tabi tutulmuş örneklerde görülürken bunun sebebinin parçalanma sonucu oluşan küçük moleküllerden kaynaklandığı düşünülmektedir.

Zhang vd., (2017), kanola tohumlarından protein ekstraksiyonu yaptıkları çalışmada, ekstraksiyon metodu olarak vurgulu elektrik alan destekli ekstraksiyon (VEADE) metodunu kullanmışlardır. VEADE uygulamasının ekstraksiyon verimine ve elde edilen izolatların teknofonksiyonel özelliklerine etkilerini inceledikleri çalışmada, elektrik alan uygulamasının belirli bir süreye kadar uygulanmasının kontrol numunelerine göre çözünürlüğü artırdığı görülürken, farklı elektrik alan seviyelerinin su/yağ tutma kapasitesi, emülsiyon ve köpük kapasitesi gibi teknofonksiyonel özellikleri geliştirdiği tespit edilmiştir.

Mateo-Roque vd., (2024), süperkritik CO₂ ekstraksiyonu ile yağı uzaklaştırılmış domates tohumlarından protein ekstrakte ettikleri çalışmada, yağı uzaklaştırma evresinde süperkritik CO₂ kullanılmasının teknofonksiyonel özelliklere olan etkisini incelemişlerdir. Süperkritik CO₂ ile yağı uzaklaştırılan örneklerin çözünürlük ve emülsiyon gibi teknofonksiyonel özellikleri, özellikle su/yağ tutma kapasitesi, hekzan ile muamele edilenlere kıyasla daha üstün bulunmuştur.

Çizelge 2. Ekstraksiyon metodunun teknofonksiyonel özelliklere etkisini araştıran bazı çalışmalar.

Bitki materyali	Ekstraksiyon metodu	Ekstraksiyon değişkenleri	Teknofonksiyonel özellikler	Kaynak
Yerfıstığı unu	MDE ¹ /UDE ² / alkali ekstraksiyonu	Optimum mikrodalga gücü ve süresi (725 W ve 8 dak.) Ultrason gücü ve süresi (%100, 15 dak.)	Verim artışı: MDE (%77) UDE (%136) Çözünürlük (%):MDE (26.55) UDE (27.79) alkali eks. (83.61) STK ^a (g/g): MDE (6.86) UDE (5.33) alkali eks. (0.66) YTK ^b (g/g): MDE (3.51) UDE (3.55) alkali eks. (3.91) KOK ^c (%):MDE (147) UDE (169) alkali eks. (197) EAK ^c (%):MDE (100) UDE (90.54) alkali eks. (95)	Ochoa-Rivas vd., (2017)
Susam tohumu	YBH ³	0, 50, 100, 150 MPa basınç	En yüksek STK ^a (2.2 g/g), YTK ^b (1.91 g/g), EAI ^d 64.63 (m ² /g), KOK ^c (%191.66) ile 100 MPa basınçta uygulanan örneklerde tespit edilmiştir.	Baskıncı ve Gul (2023)

Ekstraksiyon metotlarının teknofonksiyonel özellikler üzerine etkileri

Kenevir tohumu	UDE ²	Optimum (20 kHz) 400 W 12 dak.	Kontrol örneklerine kıyasla ultrasona tabi tutulan örneklerde çözünürlük 3.7 kat artışla %58.9 EAI ^d 1.7 kat artışla 26 m ² /g ve ESI ^f 1.5 kat artış ile 32.3 dk olarak ölçülmüştür.	Liu vd., (2022)
Mercimek	YBH ³	0, 50, 100, 150 MPa basınç	Bulgular, özellikle 100 MPa'ya kadar YBH işleminin, disülfür bağlı alt birimleri daha düşük moleküler ağırlıklı fraksiyonlara bölerek mercimek proteinlerinin açılmasını sağladığını göstermiştir. YBH işlemi, mercimek protein izolatlarında köpürme ve emülsifiye etme özelliklerini önemli ölçüde artırmış, pH 2 ve 4.5 seviyelerinde 50 MPa' ya kadar basınçlarda optimum sonuçlar elde edilmiştir.	Parlak vd., (2024)
Maş fasulyesi	Yüksek yoğunluklu VEAE ⁴	25 kV/cm güç 0, 100, 200, 300, 400 vurgu	25 kV/cm güç ve 300 vurguda çözünürlük % 11.41, EAI 12.46 m ² /g, ESI ise 75.29 dak. olarak bulunmuştur. Ayrıca yüzey hidrofobikliği ve toplam sülfidril miktarı elektrik alan ile artarak en yüksek seviyeye 300 vurguda ulaşmıştır. Yüzey hidrofobikliğindeki değişim protein konformasyonundaki değişim ile açıklanabilir ki bu değişimler teknofonksiyonel özelliklerin gelişimine katkı sağlarlar.	Gulzar vd., (2023)
Pirinç kepeği (iki ayrı cins)	VEAE ⁴	2.3 kV güç 25 dak.	Ekstraksiyon veriminde kontrol örneklerine göre %20.71-22.8 oranlarında artış görülmüştür. Yine kontrol örneklerine göre elektrik alan uygulanan örneklerde YTK ^b %20.29-22.6 oranında, emülsifikasyon özellikleri % 3.3-12.0 oranında, Köpük oluşturma yeteneği ve köpük stabilitesi 1.8 ila 2.9 kat arttığı tespit edilmiştir.	Thongkong vd., (2023)
Börülce	UDE ²	100/200 W (0, 5, 10, 15, 20 dk)	En yüksek, çözünürlük (%68.85), STK ^a (3.69 g/g) , KOK ^c (%83.74) ve köpük stabilitesi (%60.01) ile 10 dk, YTK ^b (5.16 g/g) ise 15 dk 200 W ultrason uygulanan örneklerde görülmüştür. Tüm teknofonksiyonel özellikler kontrol örneklerine kıyasla UDE tabi tutulan örneklerde gelişmiştir.	Loushigam vd., (2023)

Kinoa kepeği	EDE ⁵	Selüloz ve ksilanaz enzimleri	Enzim işlemine tabi tutulan örneklerde ekstraksiyon verimi %3.13'den %7.72'ye yükselmiş, çözünürlük %89.6, KOK %35, köpük stabilitesi 76.4 dakika, emülsiyon kapasitesi %7.6, stabilitesi ise 69 dakika olarak bulunmuştur.	Srinivasu ve Eligar, (2024)
Pinto fasulyesi	YBH ³	50, 100, 180 MPa basınç	En yüksek çözünürlük (%79.06), ESI ^f (100.26 dak.) ve KOK ^c (%87.47) 180 MPa basınç uygulanan örneklerde görülmüştür. Köpük stabilitesi bakımından kontrol örnekleri ile YBH uygulanan örnekler arasında anlamlı bir fark bulunmamıştır. EAI ^d kontrol örneğine göre 50 MPa basınç ile artmış (13.81 m ² /g) ve sonrasında anlamlı bir değişim göstermemiştir.	Santos vd., (2024)
Bezelye	UDE ²	20 kHz, %25 güç, 10, 20, 30 dak.	Kontrol örnekleri ile kıyaslandığında KOK ^c ve stabilitesi emülsiyon aktivitesi ve stabilitesi sırası ile %157.5, 42.03, 46.25 ve 53.75 değerlerinden %182.5, 81.57, 72.50 ve 67.50 değerlerine artış göstermiştir. Kontrol numunelerinde partikül boyutu 161.9 nm iken ultrason ile muamele edilen örneklerde 92.9–131.1 nm olarak bulunmuştur.	Özkan vd., (2024)
Şeftali çekirdeği	Isı karıştırmalı ekstraksiyon, MDE ¹ , UDE ² , basınçlı sıvı ekstraksiyonu	Isı karıştırmalı ekstraksiyon (40 °C 10 dak.) MDE (40 °C 10 dak. 350 W güç) UDE (40 kHz, 40 °C 10 dak) basınçlı sıvı ekstraksiyonu (100 bar, 10 dak.)	En yüksek değerler çözünürlük için %4.97 ile UDE ² da, STK ^a için 5.72 g/g ile MDE ¹ da, YTK ^b için 8.01 g/g ile ısı karıştırmalı ekstraksiyonda, EAI ^d için 2.72 m ² /g ile basınçlı sıvı ekstraksiyonunda tespit edilmiştir. Emülsiyon stabilitesi için 28.02 dak. ve köpük stabilitesi için %54.85 sonuçları en yüksek olacak şekilde ısı karıştırmalı ekstraksiyonda görülmüştür.	Rudke vd., (2024)
Hardal otu	MDE ¹	425, 625, 800 W 60, 90, 120 saniye	En yüksek ekstraksiyon verimine (%46.73) 800 W mikrodalga gücünde 120 saniyede ulaşılmıştır. Optimum ekstraksiyon şartlarında protein izolatlarında, su tutma kapasitesi 2.48 (g/g), yağ tutma kapasitesi 0.66 (g/g), emülsiyon stabilitesi %57.89, köpük kapasitesi ise %83 olarak bulunmuştur.	Jahan vd., (2023)

Ekstraksiyon metotlarının teknofonksiyonel özellikler üzerine etkileri

Moringa bitkisi	UDE ²	20 kHz, 750 W (%25, 50, 75), süre (0, 5, 10, 15, 20, 25, 30 dak.)	Optimum ekstraksiyon şartları %75 güç ile 20 dak. ultrason gücü olarak belirlenmiştir. Ekstraksiyon verimi %39.12, çözünürlük %29.82, STK ^a 1.02 (g/g), YTK ^b 1.91(g/g), emülsiyon kapasitesi 75.93 (mg/mL) KOK ^c ise %24.23 olarak ölçülmüştür. Bütün teknofonksiyonel özellikler klasik alkali ekstraksiyonuna kıyasla ultrason desteği ile gelişme göstermiştir.	Fatima vd., (2023)
Susam küspesi	UDE ² , MDE ¹ , Düşük frekansta elektriksel alan destekli ekstraksiyon (DFEADE)	UDE (20 kHz, 750 W, 2.5-20 dak.), MDE (400-600 W, 2.5-20 dak.), DFEADE (60-100 V, 0-40 dak.)	Çalışmada en yüksek STK ^a ve YTK ^b 'yi sırası ile 3.69 (g/g) ve 3.15 (g/g) ile UDE ön işlemi uygulanan protein izolatları verirken, KOK ^c %78.44 ile en yüksek MDE ön işlemi uygulanan izolatlarda, EAI ^d ise en yüksek DFEADE uygulanan örneklerde kaydedilmiştir. En düşük jel oluşturma konsantrasyonu UDE ile ön işleme tabi tutulan izolatlarda görülürken, bunun sebebinin ultrason gücüne bağlı olarak proteinlerin partikül boyunun küçülmesi ve kısmen denatüre olmasından kaynaklığı düşünülmektedir. Köpük stabilitesi dışında, bütün teknofonksiyonel özelliklerin uygulanan ekstraksiyon ön işlemleri ile geliştiği belirtilmiştir.	Mathews vd., (2023)
Ketencik ve sadır otu tohumları	UDE ²	180 W, 20 kHz, 20 dak.	Her iki materyal içinde alkali ekstraksiyonuna kıyasla UDE uygulanan numunelerin bazı teknofonksiyonel özelliklerinde gelişmeler görülmüştür. Ketencik için UDE' da STK ^a 6.76 ve YTK ^b 10.44 g/g iken KOK ^c ve stabilitesi alkali yöntemle kıyasla UDE işlemi uygulanan örneklerde daha yüksek iken EAI ^d de UDE ile artmıştır.	Ngo ve Shahidi, (2021)

¹Mikrodalga destekli ekstraksiyon, ²Ultrason destekli ekstraksiyon, ³Yüksek basınç homojenizasyonu, ⁴Vurgulu elektrik alan destekli ekstraksiyon, ⁵Enzim destekli ekstraksiyon

^aSu tutma kapasitesi, ^bYağ tutma kapasitesi, ^cKöpük oluşturma kapasitesi, ^dEmülsiyon aktivite indeksi, ^eEmülsiyon aktivite kapasitesi, ^fEmülsiyon stabilite indeksi

SONUÇ

Proteinler değerli bir besin maddesi olmasının dışında sahip oldukları teknofonksiyonel özellikleri sayesinde gıdaların işlenmesi ve üretiminde büyük önem taşımaktadır. Ayrıca bu teknofonksiyonel özellikler gıdalarda yapısal temeller oluşturarak daha karmaşık yapıların

oluşumunu sağlamakta ve gıdaların duyuşal özelliklerine de doğrudan etki etmektedir. Su/yağ tutma kapasitesi, köpük oluşturma kapasitesi ve stabilitesi, emülsiyon oluşturma kapasitesi gibi teknofonksiyonel özellikler gıdanın fizikokimyasal özellikleri ile doğrudan alakalı olup gıda matriksindeki hidrofilik/ hidrofobik yapılar

arasındaki dengeden etkilenmektedir. Protein izolatlarının eldesinde kullanılan ekstraksiyon metotları da proteinlerin yapısal özelliklerini etkileyerek teknofonksiyonel özellikleri etkilemektedir. Alkali ekstraksiyon metodu en sık kullanılan geleneksel ekstraksiyon metodu olmakla birlikte proteinlerin sindirilebilirliğine olan etkisi, aminoasit yapılarına verdiği zarar ve tatta olumsuz etkiler yaratması gibi dezavantajlara sahiptir. Modern ekstraksiyon yöntemleri çevre dostu olmaları, düşük enerji tüketimleri ve daha az toksik kalıntı vermeleri gibi avantajlar sunarken, bitki protein izolatlarının teknofonksiyonel özelliklerini de geliştirmektedir. Hayvansal proteinlerle karşılaştırıldığında zayıf teknofonksiyonel özellikler gösteren bitkisel proteinlerin bu özelliklerinin geliştirilmesi, özel beslenme çeşitlerinin trend olduğu günümüzde sektörün ihtiyacını karşılama yolunda oldukça kıymetlidir. Proteinlerin karmaşık yapıları, birbirleri ve diğer yapılarla olan etkileşimleri ve tüm bu faktörlerin teknofonksiyonel özellikler üzerindeki etkileri düşünüldüğünde bu alanda yapılan çalışmalar henüz erken bir evrededir ve bitki proteinlerinin teknofonksiyonel özelliklerinin geliştirilmesi ve bu alanda karşılaşılan diğer sorunların giderilmesi için daha fazla araştırmaya gerek duyulmaktadır.

ÇIKAR ÇATIŞMASI BEYANI

Yazarlar arasında çıkar çatışması bulunmamaktadır.

YAZAR KATKILARI

Makalenin derlenmesinde, yazılmasında ve yayınlanmasında tüm yazarlar katkı sağlamışlardır.

KAYNAKLAR

Alexandre, E. M., Araújo, P., Duarte, M. F., de Freitas, V., Pintado, M., Saraiva, J. A. (2017). High-pressure assisted extraction of bioactive compounds from industrial fermented fig by-product. *Journal of food science and technology*, 54: 2519-2531. <https://doi.org/10.1007/s13197-017-2697-2>

Amagliani, L., Silva, J. V., Saffon, M., Dombrowski, J. (2021). On the foaming properties of plant proteins: Current status and future opportunities. *Trends in Food Science &*

Technology, 118, 261-272. <https://doi.org/10.1016/j.tifs.2021.10.001>

Ampofo, J., Ngadi, M. (2022). Ultrasound-assisted processing: Science, technology and challenges for the plant-based protein industry. *Ultrasonics Sonochemistry*, 84: 105955. <https://doi.org/10.1016/j.ultsonch.2022.105955>

Anonymous (2025). Protein Ingredients Market Size | Share and Trends 2025 to 2034. <https://www.precedenceresearch.com/protein-ingredients-market>. (Accessed: 15 April 2025)

Aryee, A. N. A., Agyei, D., Udenigwe, C. C. (2018). Impact of processing on the chemistry and functionality of food proteins. In *Proteins in food processing* (pp. 27-45). Woodhead Publishing. <https://doi.org/10.1016/B978-0-08-100722-8.00003-6>

Beniwal, A., Das, M. (2023). Protein: It's application in food industry. *Research Trends in Nutrition Science*. sl: Bumi Publishing, 1-25.

Bessada, S. M., Barreira, J. C., Oliveira, M. B. P. (2019). Pulses and food security: Dietary protein, digestibility, bioactive and functional properties. *Trends in Food Science & Technology*, 93: 53-68. <https://doi.org/10.1016/j.tifs.2019.08.022>

Bose, U., Broadbent, J. A., Byrne, K., Hasan, S., Howitt, C. A., Colgrave, M. L. (2019). Optimisation of protein extraction for in-depth profiling of the cereal grain proteome. *Journal of proteomics*, 197: 23-33. <https://doi.org/10.1016/j.jprot.2019.02.009>

Chen, R., Wang, X. J., Zhang, Y. Y., Xing, Y., Yang, L., Ni, H., Li, H. H. (2019). Simultaneous extraction and separation of oil, proteins, and glucosinolates from *Moringa oleifera* seeds. *Food chemistry*, 300: 125162. <https://doi.org/10.1016/j.crfs.2024.100906>

De Angelis, D., Latrofa, V., Squeo, G., Pasqualone, A., Summo, C. (2024). Techno-functional, rheological, and chemical properties of plant-based protein ingredients obtained with dry fractionation and wet extraction. *Current Research in Food Science*, 9: 100906. <https://doi.org/10.1016/j.crfs.2024.100906>

- De Angelis, D., Opaluwa, C., Pasqualone, A., Karbstein, H. P., Summo, C. (2023). Rheological properties of dry-fractionated mung bean protein and structural, textural, and rheological evaluation of meat analogues produced by high-moisture extrusion cooking. *Current Research in Food Science*, 7: 100552. <https://doi.org/10.1016/j.crfs.2023.100552>
- Delahaije, R. J., Wierenga, P. A. (2022). Hydrophobicity enhances the formation of protein-stabilized foams. *Molecules*, 27(7): 2358. <https://doi.org/10.3390/molecules27072358>
- Fan, L., Fan, W., Mei, Y., Liu, L., Li, L., Wang, Z., Yang, L. (2022). Mechanochemical assisted extraction as a green approach in preparation of bioactive components extraction from natural products-A review. *Trends in Food Science & Technology*, 129: 98-110. <https://doi.org/10.1016/j.tifs.2022.09.009>
- Fatima, K., Imran, M., Ahmad, M. H., Khan, M. K., Khalid, W., Al-Farga, A., Eskandrani, A. A. (2023). Ultrasound-assisted extraction of protein from Moringa oleifera seeds and its impact on techno-functional properties. *Molecules*, 28(6): 2554. <https://doi.org/10.3390/molecules28062554>
- Gao, K., Rao, J., Chen, B. (2024). Plant protein solubility: A challenge or insurmountable obstacle. *Advances in colloid and interface science*, 324: 103074. <https://doi.org/10.1016/j.cis.2023.103074>
- Golberg, A., Sack, M., Teissie, J., Pataro, G., Pliquet, U., Saulis, G., Frey, W. (2016). Energy-efficient biomass processing with pulsed electric fields for bioeconomy and sustainable development. *Biotechnology for biofuels*, 9: 1-22. <https://doi.org/10.1186/s13068-016-0508-z>
- Grossmann, L., McClements, D. J. (2023). Current insights into protein solubility: A review of its importance for alternative proteins. *Food Hydrocolloids*, 137: 108416. <https://doi.org/10.1016/j.foodhyd.2022.108416>
- Grunovaitė, L., Pukalskienė, M., Pukalskas, A., Venskutonis, P. R. (2016). Fractionation of black chokeberry pomace into functional ingredients using high pressure extraction methods and evaluation of their antioxidant capacity and chemical composition. *Journal of Functional Foods*, 24: 85-96. <https://doi.org/10.1016/j.jff.2016.03.018>
- Gulzar, S., Tagrida, M., Patil, U., Ma, L., Zhang, B., Benjakul, S. (2023). Mung bean protein isolate treated with high-intensity pulsed electric field: characteristics and its use for encapsulation of Asian seabass oil. *Journal of Microencapsulation*, 40(5): 330-344. <https://doi.org/10.1080/02652048.2023.2198030>
- Gültekin Subaşı, B., Vahapoğlu, B., Capanoglu, E., Mohammadifar, M. A. (2022). A review on protein extracts from sunflower cake: Techno-functional properties and promising modification methods. *Critical Reviews in Food Science and Nutrition*, 62(24): 6682-6697. <https://doi.org/10.1080/10408398.2021.1904821>
- Hadidi, M., Aghababaei, F., McClements, D. J. (2023). Enhanced alkaline extraction techniques for isolating and modifying plant-based proteins. *Food Hydrocolloids*, 145(5): 109132. <https://doi.org/10.1016/j.foodhyd.2023.109132>
- Henao-Ardila, A., Quintanilla-Carvajal, M. X., Moreno, F. L. (2024). Emulsification and stabilization technologies used for the inclusion of lipophilic functional ingredients in food systems. *Heliyon*, 10(11): e32150. <https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2024.e32150>
- Hussain, M., Qayum, A., Zhang, X., Hao, X., Liu, L., Wang, Y., Li, X. (2021). Improvement in bioactive, functional, structural and digestibility of potato protein and its fraction patatin via ultrasonication. *Lwt*, 148: 111747. <https://doi.org/10.1016/j.lwt.2021.111747>
- Jahan, K., Fatima, S., Osama, K., Younis, K., Yousuf, O. (2023). Boosting protein yield from mustard (Brassica juncea) meal via microwave-assisted extraction and advanced optimization methods. *Biomass Conversion and Biorefinery*, 13(17): 16241-16251. <http://dx.doi.org/10.1007/s13399-023-04662-3>
- Jayaprakash, G., Bains, A., Chawla, P., Fogarasi, M., Fogarasi, S. (2022). A narrative review on rice proteins: Current scenario and food industrial

- application. *Polymers*, 14(15): 3003. <https://doi.org/10.3390/polym14153003>
- Kim, W., Wang, Y., Selomulya, C. (2020). Dairy and plant proteins as natural food emulsifiers. *Trends in Food Science & Technology*, 105: 261-272. <https://doi.org/10.1016/j.tifs.2020.09.012>
- Khalesi, M., Glenn-Davi, K., Mohammadi, N., FitzGerald, R. J. (2024). Key factors influencing gelation in plant vs. animal proteins: A comparative mini-review. *Gels*, 10(9): 575. <https://doi.org/10.3390/gels10090575>
- Kostić, A. Ž., Barać, M. B., Stanojević, S. P., Milojković-Opšenica, D. M., Tešić, Ž. L., Šikoparija, B., Pešić, M. B. (2015). Physicochemical composition and technofunctional properties of bee pollen collected in Serbia. *LWT-Food Science and Technology*, 62(1): 301-309. <https://doi.org/10.1016/j.lwt.2015.01.031>
- Kyriakopoulou, K., Keppler, J. K., van Der Goot, A. J. (2021). Functionality of ingredients and additives in plant-based meat analogues. *Foods*, 10(3): 600. <https://doi.org/10.3390/foods10030600>
- Lee, S. Y., Show, P. L., Ling, T. C., Chang, J. S. (2017). Single-step disruption and protein recovery from *Chlorella vulgaris* using ultrasonication and ionic liquid buffer aqueous solutions as extractive solvents. *Biochemical Engineering Journal*, 124: 26-35. <https://doi.org/10.1016/j.bej.2017.04.009>
- Liu, C., Damodaran, S., Heinonen, M. (2019). Effects of microbial transglutaminase treatment on physiochemical properties and emulsifying functionality of faba bean protein isolate. *Lwt*, 99: 396-403. <https://doi.org/10.1016/j.lwt.2018.10.003>
- Liu, X., Wang, M., Xue, F., Adhikari, B. (2022). Application of ultrasound treatment to improve the technofunctional properties of hemp protein isolate. *Future Foods*, 6: 100176. <https://doi.org/10.1016/j.fufo.2022.100176>
- Liu, Y., Wu, Q., Zhang, J., Yan, W., Mao, X. (2024). Food emulsions stabilized by proteins and emulsifiers: A review of the mechanistic explorations. *International Journal of Biological Macromolecules*, 261(1): 129795. <https://doi.org/10.1016/j.ijbiomac.2024.129795>
- Loushigam, G., Shanmugam, A. (2023). Modifications to functional and biological properties of proteins of cowpea pulse crop by ultrasound-assisted extraction. *Ultrasonics Sonochemistry*, 97: 106448. <https://doi.org/10.1016/j.ultsonch.2023.106448>
- Luo, L., Cheng, L., Zhang, R., Yang, Z. (2022). Impact of high-pressure homogenization on physico-chemical, structural, and rheological properties of quinoa protein isolates. *Food Structure*, 32: 100265. <https://doi.org/10.1016/j.foostr.2022.100265>
- Loveday, S. M. (2020). Plant protein ingredients with food functionality potential. *Nutrition Bulletin*, 45(3): 321-327. <https://doi.org/10.1111/nbu.12450>
- Ma, Y., Chen, F. (2023). Plant protein heat-induced gels: Formation mechanisms and regulatory strategies. *Coatings*, 13(11): 1899. <https://doi.org/10.3390/coatings13111899>
- Malecki, J., Muszyński, S., Sołowiej, B. G. (2021). Proteins in food systems—bionanomaterials, conventional and unconventional sources, functional properties, and development opportunities. *Polymers*, 13(15): 2506. <https://doi.org/10.3390/polym13152506>
- Maribao, I. P., Gul, O. (2024). Effect of high-pressure homogenization pretreatment on gelation behavior and physicochemical, rheological and structural properties of sesame protein isolate with glucono-δ-lactone. *Food Hydrocolloids*, 155: 110240. <https://doi.org/10.1016/j.foodhyd.2024.110240>
- Mateo-Roque, P., Morales-Camacho, J. I., Jara-Romero, G. J., Rosas-Cárdenas, F. D. F., Huerta-González, L., Luna-Suárez, S. (2024). Supercritical CO₂ treatment to modify technofunctional properties of proteins extracted from tomato seeds. *Foods*, 13(7): 1045. <https://doi.org/10.3390/foods13071045>
- Mathews, A., Tangirala, A. S., Kumar, S., Anandharaj, A., Rawson, A. (2023). Extraction

- and modification of protein from sesame oil cake by the application of emerging technologies. *Food Chemistry Advances*, 2: 100326. <https://doi.org/10.1016/j.focha.2023.100326>
- McClements, D. J., Bai, L., Chung, C. (2017). Recent advances in the utilization of natural emulsifiers to form and stabilize emulsions. *Annual review of food science and technology*, 8(1): 205-236. <https://doi.org/10.1146/annurev-food-030216-030154>
- McClements, D. J., Grossmann, L. (2021). The science of plant-based foods: Constructing next-generation meat, fish, milk, and egg analogs. *Comprehensive Reviews in Food Science and Food Safety*, 20(4): 4049-4100. <https://doi.org/10.1111/1541-4337.12771>
- Naliyadhara, N., Kumar, A., Girisa, S., Daimary, U. D., Hegde, M., Kunnumakkara, A. B. (2022). Pulsed electric field (PEF): Avant-garde extraction escalation technology in food industry. *Trends in Food Science & Technology*, 122: 238-255. <https://doi.org/10.1016/j.tifs.2022.02.019>
- Nasrabadi, M. N., Doost, A. S., Mezzenga, R. (2021). Modification approaches of plant-based proteins to improve their techno-functionality and use in food products. *Food Hydrocolloids*, 118: 106789. <https://doi.org/10.1016/j.foodhyd.2021.106789>
- Nasrollahzadeh, M., Nezafat, Z., Shafiei, N. (2021). Proteins in food industry. *Biopolym.-Based Met. Nanopart. Chem. Sustain. Appl*, 2: 97-136. <http://dx.doi.org/10.1016/B978-0-323-89970-3.00003-2>
- Ngo, N. T. T., Shahidi, F. (2021). Functional properties of protein isolates from camelina (*Camelina sativa* (L.) Crantz) and flaxseed (*sophia*, *Descurainis sophia* L.) seed meals. *Food Production, Processing and Nutrition*, 3: 1-10. <http://dx.doi.org/10.1186/s43014-021-00076-8>
- Ochoa-Rivas, A., Nava-Valdez, Y., Serna-Saldivar, S. O., Chuck-Hernández, C. (2017). Microwave and ultrasound to enhance protein extraction from peanut flour under alkaline conditions: Effects in yield and functional properties of protein isolates. *Food and Bioprocess Technology*, 10: 543-555. <https://dx.doi.org/10.1007/s11947-016-1838-3>
- Ortega, M. L. S., Orellana-Palacios, J. C., Garcia, S. R., Rabanal-Ruiz, Y., Moreno, A., Hadidi, M. (2024). Olive leaf protein: Extraction optimization, in vitro digestibility, structural and techno-functional properties. *International Journal of Biological Macromolecules*, 256: 128273. <https://doi.org/10.1016/j.ijbiomac.2023.128273>
- Ozkan, G., Tataroglu, P., Gulec, S., Capanoglu, E. (2024). Modification of pea protein isolates by high-intensity ultrasonication: Functional, structural and nutritional properties. *Food Chemistry Advances*, 5: 100793. <https://doi.org/10.1016/j.focha.2024.100793>
- Parlak, M. E., Sarıcaoglu, F. T., Yilmaz, M. T. (2024). Application of high-pressure homogenization-assisted pH-shift to enhance techno-functional and interfacial properties of lentil protein isolate. *Food Hydrocolloids*, 157: 110425. <https://doi.org/10.1016/j.foodhyd.2024.110425>
- Phongthai, S., Lim, S. T., Rawdkuen, S. (2016). Optimization of microwave-assisted extraction of rice bran protein and its hydrolysates properties. *Journal of cereal science*, 70: 146-154. <https://doi.org/10.1016/j.jcs.2016.06.001>
- Ptak-Kaczor, M., Banach, M., Stapor, K., Fabian, P., Konieczny, L., Roterman, I. (2021). Solubility and aggregation of selected proteins interpreted on the basis of hydrophobicity distribution. *International Journal of Molecular Sciences*, 22(9): 5002. <https://doi.org/10.3390/ijms22095002>
- Ricardo, F., Pradilla, D., Cruz, J. C., Alvarez, O. (2021). Emerging emulsifiers: Conceptual basis for the identification and rational design of peptides with surface activity. *International Journal of Molecular Sciences*, 22(9): 4615. <https://doi.org/10.3390/ijms22094615>
- Rudke, C. R. M., Torres, T. M. S., Zielinski, A. A. F., Ferreira, S. R. S. (2024). Comparing green extraction methods for the recovery of protein-rich fraction from peach seeds (*Prunus persica*). *Food Hydrocolloids*, 153: 109991. <https://doi.org/10.1016/j.tifs.2020.01.011>

- Sá, A. G. A., Moreno, Y. M. F., Carciofi, B. A. M. (2020). Plant proteins as high-quality nutritional source for human diet. *Trends in Food Science & Technology*, 97: 170-184. <https://doi.org/10.1016/j.tifs.2020.01.011>
- Santos, F. H., de Carvalho Oliveira, L., de Sousa Melo, D., Bakalis, S., Cristianini, M. (2024). Modification of protein concentrate from carioca bean (*Phaseolus vulgaris* L.) by dynamic high-pressure technology: Structural and techno-functional properties. *Innovative Food Science & Emerging Technologies*, 97: 103823. <https://doi.org/10.1016/j.ifset.2024.103823>
- Sathe, S. K., Zaffran, V. D., Gupta, S., Li, T. (2018). Protein solubilization. *Journal of the American Oil Chemists' Society*, 95(8): 883-901. <https://doi.org/10.1002/aocs.12058>
- Saricaoglu, F. T. (2020). Application of high-pressure homogenization (HPH) to modify functional, structural and rheological properties of lentil (*Lens culinaris*) proteins. *International Journal of Biological Macromolecules*, 144: 760-769. <https://doi.org/10.1016/j.ijbiomac.2019.11.034>
- Savarino, G., Corsello, A., Corsello, G. (2021). Macronutrient balance and micronutrient amounts through growth and development. *Italian journal of pediatrics*, 47(1): 109. <https://doi.org/10.1186/s13052-021-01061-0>
- Shah, H., Ahmed, L., Barry-Ryan, C. (2024). Ensuring compliance: A review of EU regulations and standards for incorporating legume and legume by-product proteins in food formulations. *Heliyon*, 10(21): e39821. <http://dx.doi.org/10.1016/j.heliyon.2024.e39821>
- Shevkani, K., Sharma, P., Singh, B., Kaur, A., Singh, N. (2024). Structural, techno-functional and nutraceutical properties of lentil proteins—a concise review. *International Journal of Food Science & Technology*, 59(10): 6875-6884. <http://dx.doi.org/10.1111/ijfs.17491>
- Shinwari, K. J. (2021). Emerging technologies for the recovery of bioactive compounds from saffron species. *Saffron*, 143-182. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-821219-6.00004-X>
- Sim, S. Y. J., Srv, A., Chiang, J. H., Henry, C. J. (2021). Plant proteins for future foods: A roadmap. *Foods*, 10(8): 1967. <https://doi.org/10.3390/foods10081967>
- Srinivasu, S. R., Eligar, S. M. (2024). Physico-chemical and techno-functional characterization of quinoa bran protein concentrate. *Journal of Cereal Science*, 116: 103835. <http://dx.doi.org/10.1016/j.jcs.2023.103835>
- Suárez-Hernández, M. F., Posada Ramirez, S. G., Castillo Cruz, D. D. C., Higuera Ciapara, I., Pacheco López, N. A., Herrera Pool, I. E., Ruiz-Ruiz, J. C. (2024). Effect of integrated extraction techniques on the technofunctional and bioactive properties of *Brosimum alicastrum* Swartz proteins. *Foods*, 13(18): 2875. <https://doi.org/10.3390/foods13182875>
- Tang, J., Yao, D., Xia, S., Cheong, L. Z., Tu, M. (2024). Recent progress in plant-based proteins: From extraction and modification methods to applications in the food industry. *Food Chemistry: X*, 23: 101540. <https://doi.org/10.1016/j.fochx.2024.101540>
- Thongkong, S., Klangpetch, W., Unban, K., Tangjaidee, P., Phimolsiripol, Y., Rachtanapun, P., Phongthai, S. (2023). Impacts of electroextraction using the pulsed electric field on properties of Rice bran protein. *Foods*, 12(4): 835. <https://doi.org/10.3390/foods12040835>
- Varghese, T., Pare, A. (2019). Effect of microwave assisted extraction on yield and protein characteristics of soymilk. *Journal of Food Engineering*, 262: 92-99. <https://doi.org/10.1016/j.jfoodeng.2019.05.020>
- Vogelsang-O'Dwyer, M., Sahin, A. W., Arendt, E. K., Zannini, E. (2022). Enzymatic hydrolysis of pulse proteins as a tool to improve techno-functional properties. *Foods*, 11(9): 1307. <https://doi.org/10.3390/foods11091307>
- Yusoff, I. M., Taher, Z. M., Rahmat, Z., Chua, L. S. (2022). A review of ultrasound-assisted extraction for plant bioactive compounds: Phenolics, flavonoids, thymols, saponins and proteins. *Food research international*, 157: 111268. <https://doi.org/10.1016/j.foodres.2022.111268>

Zhang, L., Wang, L. J., Jiang, W., Qian, J. Y. (2017). Effect of pulsed electric field on functional and structural properties of canola protein by pretreating seeds to elevate oil yield. *Lwt*, 84: 73-81. <https://doi.org/10.1016/j.lwt.2017.05.048>

Zhang, X., Wang, Q., Liu, Z., Zhi, L., Jiao, B., Hu, H., Shi, A. (2023). Plant protein-based emulsifiers: Mechanisms, techniques for emulsification enhancement and applications. *Food Hydrocolloids*,

144: 109008. <https://doi.org/10.1016/j.foodhyd.2023.109008>

Wang, Q., Wang, Y., Huang, M., Hayat, K., Kurtz, N. C., Wu, X., Zheng, F. (2021). Ultrasound-assisted alkaline proteinase extraction enhances the yield of pecan protein and modifies its functional properties. *Ultrasonics Sonochemistry*, 80: 105789. <https://doi.org/10.1016/j.ultsonch.2021.105789>