Turkish Journal of Agriculture - Food Science and Technology, 14(5): 1406-1416, 2026
DOI: https://doi.org/10.24925/turjaf.v14i5.1406-1416.8496

Turkish Journal of Agriculture - Food Science and Technology

Available online, ISSN: 2148-127X | www.agrifoodscience.com | Turkish Science and Technology Publishing (TURSTEP)

Innovative Approaches to Plant Protein Extraction

Yağmur Eda Özbek[1,a], Ersin Yetan[1,b], Maira Kayupova[1,c], Arzu Akpınar Bayizit[1,d], Perihan Yolcı Ömeroğlu[1,e,*]

[1]*Bursa Uludağ Üniversitesi, Ziraat Fakültesi, Gıda Mühendisliği Bölümü, 16059, Bursa, Türkiye*
[*]*Corresponding author*

ARTICLE INFO

Review Article

Received : 05.11.2025
Accepted : 10.01.2026

Keywords:
Plant-Based Protein,
Innovative Methods
Protein Extraction
Functional Properties
Non-Thermal Processing

ABSTRACT

The increase in global population, the change in lifestyle patterns, environmental sustainability challenges, and increasing emphasis on health-conscious nutrition have brought alternative protein sources to the forefront. In addition to providing nutritional functionality, plant proteins are frequently preferred due to their essential amino acid content, low cost and health-improving properties. Microwave-assisted extraction (MAE), ultrasound-assisted extraction (UAE), and high hydrostatic pressure (HHP) techniques represent innovative, non-thermal processing methods which are increasingly explored as alternatives to conventional extraction approaches in plant protein production. These advanced technologies enhance protein recovery by disrupting plant cell matrices and facilitating the release of intracellular components, thereby improving both extraction efficiency and the functional properties of the isolated proteins. This study aims to assess the efficacy of emerging extraction technologies by reviewing recent advancements in innovative methods for plant protein isolation. The study revealed that, compared with traditional alkaline extraction methods, protein yields increased by 12–85%, while processing times were reduced by up to 30-fold. In particular, combined microwave- and ultrasound-assisted systems enhanced the nutritional and functional properties of proteins and enabled more efficient utilization of energy input compared with conventional approaches.

Türk Tarım – Gıda Bilim ve Teknoloji Dergisi, 14(5): 1406-1416, 2026

Bitkisel Protein Ekstraksiyonunda Yenilikçi Yaklaşımlar

MAKALE BİLGİSİ

Derleme Makalesi

Geliş : 05.11.2025
Kabul : 10.01.2026

Anahtar Kelimeler:
Bitkisel Protein
Yenilikçi Yöntemler
Protein Ekstraksiyonu
Fonksiyonel Özellikler
Termal Olmayan İşlemler

ÖZ

Dünya nüfusunun artışı, yaşam koşullarının değişmesi, çevresel kaynakların sürdürülebilirliği ve sağlıklı beslenebilme kaygısı, alternatif protein kaynaklarını ön plana çıkartmıştır. Bitkisel proteinler besinsel anlamda işlevsellik sunmanın yanı sıra, esansiyel amino asit içerikleri, düşük maliyeti, sağlığı iyileştirici özellikleri nedeni ile sıklıkla tercih edilmektedir. Bitkisel protein üretiminde kullanılan mikrodalga, ultrases, yüksek hidrostatik basınç ile ekstraksiyon yöntemleri, geleneksel yaklaşımlara alternatif olarak geliştirilmiş yenilikçi yöntemlerdendir. Bu ekstraksiyon prosesleri, proteinlerin bitkisel matrislerden ayrılarak, protein verimini artırmakta ve fonksiyonel özellikleri iyileştirmektedir. Bu çalışmada, bitkisel protein ekstraksiyonlarında kullanılan yenilikçi yöntemlerin ve son yıllarda yapılan güncel çalışmaların özetlenmesi amaçlanmaktadır. Yapılan incelemeler sonucunda, yenilikçi yöntemlerin geleneksel alkali ekstraksiyona kıyasla protein verimini %12 ile %85 aralığında artırdığı ve işlem sürelerini 30 kata kadar kısalttığı tespit edilmiştir. Özellikle mikrodalga ve ultrases destekli kombine sistemlerin, proteinlerin hem besinsel değerini hem de fonksiyonel özelliklerini iyileştirerek geleneksel yöntemlere göre üstünlük sağladığı saptanmıştır.

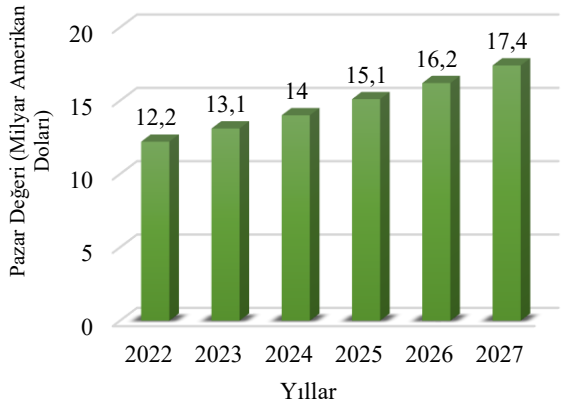
[a] *yagmuredaozbek@gmail.com* *https://orcid.org/0000-0001-6678-9639*
[b] *ersinyetan@gmail.com* *https://orcid.org/0000-0001-9489-740X*
[c] *kayupmaira@gmail.com* *https://orcid.org/0009-0001-5579-937X*
[d] *abayizit@uludag.edu.tr* *https://orcid.org/0000-0003-1898-1153*
[e] *pyomeroglu@uludag.edu.tr* *https://orcid.org/0000-0001-8254-3401*

This work is licensed under Creative Commons Attribution 4.0 International License

Giriş

Proteinler, canlı organizmaların yapı taşlarını oluşturan ve hayati öneme sahip biyomoleküllerdir. Amino asitlerden oluşan bu kompleks moleküller, hücresel fonksiyonların düzenlenmesinden metabolizmanın düzgün işleyişine kadar birçok biyolojik süreci desteklemektedir. İnsan vücudu, 20 farklı amino asitten 11'ini sentezleyebilirken, esansiyel olarak adlandırılan diğer 9'unun besinler yoluyla alınması gerekmektedir. Bu amino asitler; lösin, izolösin, valin, metiyonin, fenilalanin, treonin, triptofan, lizin ve histidin'dir. Proteinler, kas yapımı, bağışıklık sistemi, enzim üretimi ve hücre onarımı gibi işlevlere katkıda bulunurken, hormonların ve önemli biyolojik moleküllerin yapısında da yer almaktadırlar. Esansiyel amino asitlerin eksikliği, büyüme geriliği, bağışıklık zayıflığı ve kas kaybı gibi sağlık sorunlarına neden olabilmektedir (Nelson & Cox, 2017).

Proteinler; et, balık, süt ürünleri gibi hayvansal kaynakların yanı sıra baklagiller, yağlı tohumlar, tahıllar ve bazı alg türleri gibi bitkisel kaynaklardan da elde edilmektedir. Günümüzde, çevresel ve etik kaygılar nedeniyle hayvansal proteinlerin yerine bitkisel proteinlere yönelim artmıştır. Bu ilginin artması, küresel bitkisel protein pazarına da yansımıştır. Bitkisel protein pazar payı 2022 yılında 12,2 milyar Amerikan doları iken, yıllar içinde artış göstermesi ve 2027 yılında 17,4 milyar dolara ulaşması beklenmektedir (Şekil 1). Bu büyüme, bitkisel proteinlere ve bitkisel protein içeren gıdalara olan talebin artması anlamına gelmektedir (Statista, 2024).



Şekil 1. Küresel Bitkisel Protein Pazar Değeri (Statista,2024)

Figure 1. Plant protein market value worldwide

Sürdürülebilir ve çevre dostu alternatif olarak nitelenen bitkisel proteinler, tahıllar, baklagiller, yağlı tohumlar ve sebzeler gibi farklı kaynaklardan elde edilebilmektedir. Bununla birlikte, bitkisel protein kaynaklarının çoğu bazı esansiyel amino asit bakımından sınırlı olabildiğinden, bu kaynaklar tek başına tüketildiklerinde amino asit eksikliğine yol açabilmektedir. Bu nedenle, bitkisel proteinlerin esansiyel amino asit profilleri, farklı bitkisel kaynakların bir arada kullanılmasıyla iyileştirilmekte ve tahıllarla baklagillerin kombine edilmesi sayesinde vücuda gerekli protein sağlanmaktadır. Örneğin; lizin açısından zengin baklagiller, metiyonin içeren tahıllarla birleştirilerek daha dengeli bir beslenme elde edilmektedir. Bu kombinasyonlar hem protein kalitesini arttırmakta hem de sağlıklı ve sürdürülebilir beslenme alışkanlıklarına katkı sağlamaktadır.

Son yıllarda, bitkisel proteinlerin besin değerini artırmaya yönelik yenilikçi ekstraksiyon ve işleme yöntemleri geliştirilmiştir. Bu teknikler, bitkisel proteinlerin biyoyararlanımını artırmayı ve daha besleyici ürünler sunmayı hedeflemektedir. Dengeli bir beslenme için bitkisel proteinlerin çeşitlendirilerek tüketilmesi önemlidir. Bitkisel kaynakların çeşitlendirilerek kullanımı hem bireysel sağlığı desteklemekte hem de çevresel etkileri azaltmaktadır (Saldamlı, 2015; Abdi ve Bozkır, 2024).

Bu çalışmada, son beş yıl içerisinde gıda bilimi ve teknolojisi alanında yayımlanmış akademik çalışmalar ve bilimsel literatür incelenerek yenilikçi bitkisel protein ekstraksiyon yöntemleri belirlenmiş ve bu yöntemlerin protein verimliliği ile çevresel sürdürülebilirlik üzerindeki etkileri değerlendirilmiştir. Böylece, bitkisel protein ekstraksiyonu için kullanılan yenilikçi yöntemlerin son yıllardaki gelişim süreci ve geleceğe yönelik potansiyelleri hakkında kapsamlı bir analiz oluşturulmuştur. Özellikle, daha yüksek verim, düşük maliyet ve çevre dostu özellikleri ile dikkat çeken bu teknolojilerin, gıda endüstrisindeki uygulama alanlarının genişlemesiyle birlikte farklı sektörlerde de yaygınlık kazanması beklenmektedir. Bu bağlamda bu çalışma; enerji tüketimini minimize eden ve çevre dostu olan yenilikçi bitkisel protein ekstraksiyon yöntemlerinin verimlilik ve sürdürülebilirlik üzerindeki etkilerini değerlendirmeyi amaçlamaktadır. Son yıllara ait literatürün incelendiği bu çalışmada, söz konusu teknolojilerin gıda endüstrisindeki gelişim süreci ve gelecekteki uygulama potansiyellerine dair kapsamlı bir çerçeve sunulması hedeflenmektedir.

Alternatif Bitkisel Protein Kaynakları

Günümüzde yağlı tohumlar (keten, pamuk, kanola, chia tohumları), tahıllar, baklagiller ve yeşil sebzelerden elde edilen proteinler, geleneksel hayvansal protein kaynaklarına alternatif olarak ön plana çıkmaktadır. Bu bitkisel proteinler; çevresel sürdürülebilirlik, besinsel işlevsellik ve hammadde çeşitliliği açısından önemli avantajlar sunmakta olup, sürdürülebilir gıda sistemlerinin geliştirilmesinde stratejik bir rol oynamaktadır (Çetiner ve Bilek, 2018).

Bitkisel protein kaynakları, sağlıklı ve sürdürülebilir gıdalar arayan tüketiciler tarafından giderek daha popüler hale gelmektedir. Soya, bezelye, fasulye, nohut gibi baklagillerin yanı sıra amarant, kinoa ve karabuğday gibi yalancı tahıllar; ayrıca yağlı tohumlar, badem ve fındık gibi kuruyemişler, bitkisel protein takviyesi olarak yaygın şekilde kullanılmaktadır. Baklagil proteinleri, yüksek jelleşme özellikleri ve lifli yapılar oluşturma yetenekleri nedeniyle hayvansal proteinlere önemli bir alternatiftir. Beslenme açısından bakıldığında, baklagil proteinleri tüm esansiyel amino asitleri içermekte; kolesterol seviyelerini düşürücü ve kardiyovasküler hastalık riskini azaltıcı etki göstermektedir. Ayrıca, tam tahılların diyete dahil edilmesi diyet lifi, vitaminler, mineraller ve biyoaktif bileşiklerin alımını artırmaktadır. Son dönemde yapılan araştırmalar, özellikle yalancı tahıllardan elde edilen proteinlerin ve peptitlerin, yaşa bağlı hastalıklar ve bazı kanser türlerinde

önemli rol oynayan kronik iltihaplanmayı ve oksidatif stresi azaltarak sağlık üzerinde birçok olumlu etkisi olduğunu ortaya koymuştur (Li ve ark., 2025).

Baklagiller, yüksek protein içeriği, dengeli amino asit yapısı ve düşük maliyeti ile iyi bir protein kaynağı olarak kabul edilmektedir. Başlıca baklagiller arasında soya, bezelye, nohut, maş fasulyesi, mercimek ve acı bakla yer almaktadır. Bu bitkilere ait protein miktarları %15-45 arasında değişim göstermekte olup, en yüksek protein oranı soyada ve en düşük ise nohutta bulunmaktadır (Zhang ve ark., 2024).

Tahıllar, önemli bir karbonhidrat ve protein kaynağı olarak değerlendirilmektedir. Protein oranı tahıl kuru ağırlığının yaklaşık %10 ila 20'si arasında değişim göstermektedir. Tahıllardaki proteinler tüm tahılın farklı kısımlarında heterojen olarak dağılım gösterir ve tahıllardaki toplam protein içeriği türlerden, çeşitlerden ve bitki büyüme koşullarından etkilenmektedir. Tahıl proteinlerinin çözünürlük, su ve yağ tutma kapasitesi, emülsifiye edici özellikleri, köpürme kabiliyeti ve jelleşme davranışı gibi teknolojik ve fonksiyonel özellikleri, bu proteinlerin gıda sistemlerindeki işlevselliğini doğrudan etkilemektedir. Bu parametreler, tahıl proteinlerinin gıda endüstrisindeki uygulama potansiyelini belirlemesi açısından büyük önem taşımaktadır (Avelar ve ark., 2024).

Yalancı tahıllar, yüksek oranda nişasta içeren ve gerçek tahıllara benzeyen dikotiledon türlerdir; en popüler yalancı tahıllardan (tahılımsılar) bazıları kinoa, amarant, chia ve karabuğdaydır. Vitaminler, mineraller ile antioksidan bileşenler açısından zengin olmaları ve önemli besinsel faydalar sunmaları nedeniyle yalancı tahıllara olan ilgi giderek artmaktadır. Ayrıca gluten içermemeleri, gluten intoleransı veya çölyak hastalığı olan kişiler için cazip bir seçenek olmalarını sağlamaktadır. Protein içerikleri amaranth için %13,2-18,4 arasında değişim gösterirken, karabuğday %12, chia %15-24, kinoa için ise %13,8-16,5 olarak belirtilmektedir (Pastrana-Pastrana ve ark., 2025).

Algler, sürdürülebilir protein kaynaklarının geliştirilmesine yönelik çalışmalarda, konvansiyonel hayvansal proteinlerin potansiyel ikameleri olarak ön plana çıkmaktadır. Henüz yeterince keşfedilmemiş olmalarına rağmen, gelişmekte olan ekstraksiyon teknolojileri sayesinde algler, büyük ölçekli ve verimli protein üretimi için önemli bir biyokütle kaynağı olarak değerlendirilmektedir. Algler Rhodophyceae (Kırmızı algler), Chlorophyceae (Yeşil algler) ve Phaeophyceae (Kahverengi algler) olarak sınıflandırılmaktadır. Bu sınıfların protein içeriklerinin sırası ile %20-47, % 9-26 ve %3-15 arasında değiştiği bildirilmiştir (Rather ve ark., 2025).

Bitkisel ve Hayvansal Protein Kaynaklarının Besinsel Farkları

Proteinler, insan sağlığının korunması, büyüme ve gelişmenin desteklenmesi ile bağışıklık sisteminin güçlendirilmesinde temel bir makro besin öğesi olup, vücut tarafından sentezlenemediği için dışarıdan, besinler yoluyla alınmaları zorunludur. Bununla birlikte, küresel nüfus artışı ve çevresel koşullardaki olumsuz değişimler, yeterli ve sürdürülebilir gıda üretimini her geçen gün daha da kritik bir hale getirmektedir. Bu bağlamda, yenilebilir gıda alternatifleri ile geleneksel kaynaklara ek olarak değerlendirilebilecek alternatif protein kaynaklarına yönelik araştırmalar hız kazanmakta ve bu eğilim, yeni nesil besin bileşenlerinin geliştirilmesini teşvik etmektedir (Pulluk, 2019).

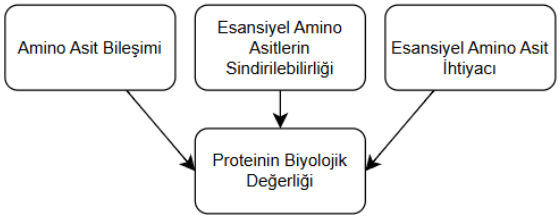
Beslenme ve sağlık arasındaki ilişki, her dönemde en çok araştırılan konuların başında gelmektedir. Özellikle vejetaryen bireylerde hastalık ve ölüm oranlarının düşük olması bilim insanlarının ilgisini çekmiş ve kırmızı et ile diğer hayvansal proteinlerin tüketimi ve kronik hastalıklar arasındaki ilişki çeşitli çalışmalarda incelenmiştir (Malik ve ark., 2016; Sakkas ve ark., 2020; Hargreaves ve ark., 2021).

Hayvansal gıdaların sık tüketilmesi sonucu gözlenen kolesterol ve kalp hastalıkları, içerdikleri doymuş yağ asitlerinden kaynaklanmaktadır. Bu durum, protein içerikleri yüksek olmasına rağmen beslenme alışkanlıklarının değişmesine ve bitkisel proteinlere yönelimin artmasına yol açmıştır. Bitkisel proteinler daha düşük maliyetli olmaları ve geniş çeşitlilik sunmaları sebebi ile de alternatif protein kaynağı olarak öne çıkmaktadır (Çetiner ve Bilek, 2018).

Günlük beslenmenin önemli bir parçası olan hayvansal ve bitkisel proteinler beslenme ile metabolizmaya alındıklarında, çocuklarda büyüme ve gelişme, yetişkinlerde ise hücre yenilenmesi gibi önemli anabolik amaçlara hizmet etmektedir. Bitkisel proteinler genellikle depo proteini olarak ifade edilmektedirler. Bileşimleri, yapıları ve etki mekanizmaları bitkisel proteinlerin besleyici ve fonksiyonel özelliklerini belirlemektedir. Beslenme ve sağlık arasındaki ilişkinin farkında olan bilinçli tüketicilerin ilgisi de bitkisel proteinlerin hayvansal proteinlere alternatif olarak değerlendirilmesine olanak tanımaktadır (Saldamlı ve Temiz 2017; Çetiner ve Bilek, 2018).

Bitki bazlı gıda ürünlerinin bulunabilirliği, çeşitliliği ve üretimi sürdürülebilir ve etik gıda tercihlerine yönelik artan taleple birlikte artmaya devam etmektedir. Tüketiciler gıda tüketimlerinin çevresel etkisi konusunda daha bilinçli hale geldikçe, bu ürünlere yönelik pazarın büyümesi, üreticilerin yeni bitkisel ürünler ile çeşitli alternatif bitkisel gıda üretimleri ve tüketicilerin de diyetlerine daha fazla bitki bazlı seçenek eklemek istemeleri kaçınılmaz olmuştur.

Bitkisel gıdalar veya bitkisel protein kaynakları ile üretilen gıdalar; aynı zamanda yüksek lif ve antioksidan bileşik içeriklerinin yanı sıra daha düşük miktarlarda sodyum, doymuş yağ asitleri ve kolesterol içermektedir. Bununla birlikte, bu gıda maddeleri hayvansal protein kaynaklarına kıyasla farklı tekstür, renk, tat ve besinsel özellikler de sergilemektedir. Bazı bitkisel ürünlerde esansiyel aminoasitlerin eksikliği beslenme açısından çeşitli desteklere ihtiyaç duyulmasına neden olsa da doğru bir diyet ile günlük dengeli beslenmeye katkıda bulunabilmektedirler (Day ve ark., 2022).



Şekil 2. Proteinin biyolojik değerini etkileyen faktörler (Adhikari ve ark., 2022)

Figure 2. Factors affecting the biological value of protein

Hayvansal ve bitkisel gıdalar arasındaki farklılıklardan birisi de proteinlerin sindirilebilme, emilebilme ve vücutta tutulabilme yeteneği yani biyoerişilebilirlikleri ile ilişkilidir. Proteinlerin biyolojik değeri ve metabolizmadaki sindirilebilirlikleri amino asit bileşimi, esansiyel amino asit miktarı ve vücudun duyduğu gereksinime göre de değişim gösterebilmektedir (Şekil 2). Bitkisel kaynaklarda bitki hücrelerindeki lifler ve antibesin faktörlerinden kaynaklı olarak %80-90 aralığında bir sindirilebilirlik oranı belirtilirken, et, balık, süt gibi hayvansal gıdalarda ise bu oran %95'e ulaşmaktadır. İnce bağırsakta emilimi gerçekleştirilen azot miktarı, vücut metabolizması için kullanılabilir hale gelen amino asit miktarını daha iyi yansıtmaktadır. Bu durum "ileal sindirilebilirlik'' olarak adlandırılmaktadır. Sindirim sonrası bazal kayıplar da dikkate alındığında "gerçek sindirilebilirlik'' belirlenebilmektedir (Mariotti, 2017).

Proteinlerin kalitesinin belirlenmesinde yaygın olarak kabul edilen Düzeltilmiş Amino Asit Skoru (PDCAAS) yöntemi, esansiyel amino asit miktarının toplam proteine oranını baz almaktadır. Sindirilebilir Vazgeçilmez Amino Asit Skoru (DIAAS) ise, ince bağırsakta emilen amino asit miktarına dayanan daha hassas bir ölçümdür. Protein kalitesinin daha doğru bir şekilde belirlenmesi için DIAAS daha güvenilir olarak bildirilmiştir (Köseoğlu ve ark, 2019; Azizi ve ark., 2024).

Son yıllarda tip 2 diyabet, karaciğer hastalıkları, obezite ve reflü gibi çeşitli hastalıkların artması da bitkisel diyetlere yönelimi artırmıştır. Hayvansal gıda ağırlıklı diyetlerin yüksek miktarda doymuş yağ asidi içermeleri nedeniyle kardiyovasküler hastalıklara neden oldukları bilinmektedir. Bu tip beslenme vücut kitle indeksini artırıcı özellik göstermekte ve kilo alımını artırmaktadır. Bitkisel gıdalar yüksek lif oranı ile tokluk hissini pekiştirici özellik göstermektedir. Ayrıca, lif alımının artması ile bağırsak mikroflorası olumlu yönde etkilenmekte ve hastalık riski azalmaktadır (Ewy ve ark., 2022).

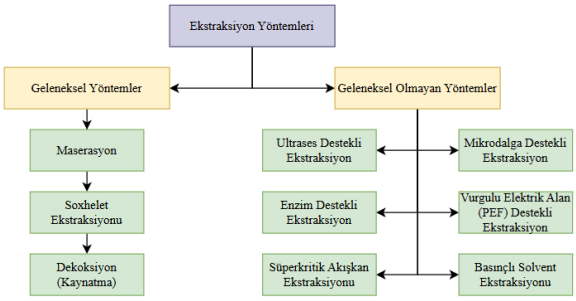
Hayvansal gıdalarla karşılaştırıldığında bitkisel gıdalar ekolojik ayak izini azaltmalarıyla çevre dostu olarak nitelenmektedirler. Hayvansal ve özellikle et bazlı beslenmenin sera gazı emisyonlarında artışa neden olduğu çeşitli çalışmalarda bildirilmiştir (Xu ve ark., 2021; Barthelmie, 2022; Espinosa-Marrón ve ark., 2022; Chen ve Qi, 2025). Bu nedenle, karbon ayak izini azaltmak için artan nüfusa karşı gıda sürdürülebilirliğini sağlamak ve hayvansal gıda tüketimini sınırlandırmak kaçınılmazdır (Chen ve ark., 2022; Shabir ve ark., 2023).

Protein Ekstraksiyon Yöntemleri

Ekstraksiyon yöntemleri genel olarak geleneksel ve geleneksel olmayan yöntemler olarak iki ana başlık altında sınıflandırılmaktadır. Geleneksel yöntemler büyük oranda termal ve kimyasal prensiplere dayanırken; yenilikçi yöntemler, matris direncini kırmak ve kütle transfer limitlerini aşmak amacıyla ekstraksiyon sağlamaktadır. Geleneksel yöntemler arasında maserasyon, Soxhlet ekstraksiyonu ve dekoksiyon (kaynatma) gibi teknikler yer almaktadır. Geleneksel olmayan yöntemler arasında ise ultrases, enzim, mikrodalga ile vurgulu elektrik alan (PEF) destekli ekstraksiyonlar ile süperkritik akışkan ve basınçlı solvent ekstraksiyonu gibi yenilikçi ve verimi yüksek teknikler bulunmaktadır. NADES'ler (Doğal Derin Ötektik Solventler) ise özellikle geleneksel olmayan yöntemlerle birlikte, çevre dostu çözücü sistemleri olarak kullanılabilmekte ve ekstraksiyon verimliliğini artırmada önemli avantajlar sunmaktadır (Şekil 3) (Pai ve ark. 2022).

Çizelge 2. Protein kaynaklarının sindirilebilirlik, biyolojik değer ve amino asit skorları (Berrazaga ve ark., 2019)
Table 2. Digestibility, biological value, and amino acid scores of protein sources

Protein Türü	Protein Sindirilebilirliği %	Net Protein Kullanımı	PDCAAS (Protein Sindirilebilirliği Düzeltilmiş Amino Asit Skoru)	DIAAS (Sindirilebilir Vazgeçilmez Amino Asit Skoru)
Kırmızı Et	99	73	92	-
Kazein	99	76-82	100	-
Süt	96	82	100	114
Yumurta	98	94	100	113
Siyah Fasulye	70	-	75	-
Pişmiş Siyah Fasulye	83	-	65	59
Soya Unu	80	-	93	89
Soya Protein İzolatı	98	61	100	-
Yeşil Mercimek	84	-	63	65
Sarı Bezelye	88	-	64	73
Bezelye Proteini Konsantresi	99	-	89	82
Nohut	89	-	74	83
Kavrulmuş Yer Fıstığı	98	-	51	43
Yer Fıstığı Ezmesi	98	-	45	46
Buğday	91	53-65	51	45
Gluten	93	67	25	-
Ekmek	93	-	28	29
Pirinç	93	-	56	57
Pişmiş Pirinç	87	-	62	60



Şekil 3. Geleneksel ve Geleneksel Olmayan Ekstraksiyon yöntemleri (Pai ve ark, 2022).

Figure 3. Conventional and non-conventional extraction methods

Geleneksel Yöntemler ile Protein Ekstraksiyonu

Farklı çözücülerin kullanılması ile proteinlerin bitkisel matrislerden ayrılmasını sağlayan kimyasal ekstraksiyon sıvı-sıvı veya sıvı-katı ekstraksiyon yöntemleri ile gerçekleştirilmektedir. Protein izolasyonu için standardize edilen bu geleneksel yöntemler, ekstraksiyonda kullanılan çözücüye göre isimlendirilmektedir. Etanol, bütanol, aseton gibi organik çözücüler, proteinleri çöktürücü özellik göstermekte ve sıklıkla tercih edilmektedirler. Sıvı-sıvı ekstraksiyonlar, proteinlerin çözünürlüklerinin farklı olmasından yararlanılarak gerçekleştirilmektedir. Alkali ekstraksiyon proteinlerin çözünürlüğünü arttırdığı için en yaygın olarak kullanılan yöntemdir. Bu yöntemle yüksek protein verimi elde edilebilmesine rağmen; yüksek pH değerleri proteinlerin fonksiyonel özelliklerinde kayıplara veya denatürasyona neden olabilmektedir. Bu yan etkileri minimize etmek amacıyla ekstraksiyon yönteminin farklı metotlar ile kombine edilmesi önerilmektedir. Öte yandan, asit bazlı ekstraksiyonlar ise genellikle düşük protein verimi sağlamaları nedeniyle daha az tercih edilmektedir. (Hadidi ve ark., 2023; Gümüş ve Yıldız, 2024).

Maserasyon yöntemi ile bitkisel protein ekstraksiyonu özellikle ısıl kararlılığı düşük bileşiklerin eldesi için tercih edilen bir yöntemdir. Bu yöntemde bitkisel materyal üzerine çözücü eklenmesi ile karıştırılarak bekletilmektedir. Ekstraksiyon tamamlandığında karışım süzülerek çözücü ayrılmakta ve düşük sıcaklıklarda buharlaştırma yöntemleri ile yoğunlaştırılmaktadır. Uzun ekstraksiyon süresi ve yüksek çözücü ihtiyacı gibi dezavantajları bulunmaktadır. Bu yöntem, çözücü ile çözünen arasındaki pasif difüzyon mekanizmasına dayandığından, kütle transferi sınırlı gerçekleşmektedir (Andrade ve ark., 2025).

Soxhlet ekstraksiyonu bitkisel proteinlerin eldesinde kullanılan geleneksel yöntemlerden birisidir. Bu yöntemde uygun bir çözücü ile bitkisel materyalden yağ uzaklaştırılmakta ve böylece protein ayrılmaktadır. Soxhlet yöntemi, özellikle yüksek sıcaklık toleransına sahip bitkisel materyallerde, yağ ve protein ayrımı için etkili sonuçlar sunsa da yüksek sıcaklık ve uzun süreli işlem gerektirmesi nedeniyle ısıya duyarlı bileşenlerde tercih edilmemektedir (Nebolisa ve ark., 2023).

Dekoksiyon veya kaynatma, bitkisel materyalin su içerisinde belirli bir süre kaynatılması esasına dayanan geleneksel bir ekstraksiyon yöntemidir. Bu işlem ile yüksek sıcaklık sayesinde bitki hücreleri parçalanarak çözünür bileşenler suya geçmektedir. Protein ekstraksiyonunda kaynatma, özellikle ısıya dayanıklı proteinlerin açığa çıkarılmasını sağlayarak çözünürlüklerini ve stabilitesini artırıcı etki gösterebilmektedir (Zhou ve ark., 2017).

Yenilikçi Yöntemler ile Protein Ekstraksiyonu

Doğal Derin Ötektik Çözücüler (NADES) ile Protein Ekstraksiyonu

Derin Ötektik Sistemler (DES), belirli bir mol oranında karıştırıldığında yüksek bir erime sıcaklığı düşüşüne maruz kalan iki veya daha fazla bileşiğin karışımı olarak tanımlanmaktadır. Tek tek bileşenlere kıyasla karışımın erime sıcaklığındaki bu düşüş, temel olarak bileşenler arasındaki hidrojen bağı oluşumuna dayanmaktadır. DES bileşenleri şekerler, polioller ve amino asitler gibi hayvanlarda ve bitkilerde yaygın olarak bulunan doğal metabolitler olduğundan, bunlar doğal derin ötektik sistemler (NADES) olarak adlandırılmaktadır (Jesus ve ark., 2023).

NADES, yüksek çözünürlük, düşük uçuculuk, düşük toksisite, yanmazlık, termal ve kimyasal kararlılığa sahip olması nedeni ile yeşil çözücüler olarak büyük ilgi görmektedir. NADES uygulamasıyla biyoaktif bileşikler yapılarına ve aktivitelerine zarar verilmeden doğal kaynaklardan etkili bir şekilde ekstrakte edilebilmektedir. Ayrıca organik reaksiyonlarda hem çözücü hem dekatalizör görevi görerek doğal bileşiklerin biyoyararlanımını da artırabilmektedirler. Bir hidrojen bağı donörü (HBD) ile doğal kaynaklı bir hidrojen bağı alıcısının (HBA), her bir bileşenden daha düşük bir erime noktasında yeni bir ötektik faz oluşturması ile NADES elde edilmektedir. Bu oluşum süreci, 100°C'nin altında gerçekleşmektedir (Tomé ve ark., 2018; Mansour ve ark., 2024).

Doğal derin ötektik çözücüler, düşük buhar basıncına sahip olmakla birlikte buharlaşma riskini minimize etmekte, biyolojik olarak parçalanabilen bileşiklerden elde edilmekte, solvent kullanımı ile bertarafının çevresel ve sağlık üzerindeki olumsuz etkilerini en aza indirmektedirler. NADES'in bileşenleri arasında amino asitler, şekerler, organik asitler, kolin tuzları, uçucu yağ bileşenleri ve inorganik tuzlar yer almaktadır. Bununla birlikte, çözücünün viskozitesi, polaritesi, asitliği ve iletkenliği, bileşen türü ve oranı değiştirilerek hedef uygulamaya göre uygun hâle getirilebilmektedir (Cannavacciuolo ve ark., 2022).

DES tabanlı ekstraksiyon sistemleri, geleneksel alkali ve asit bazlı çözücülere göre proteinlerin yapısal bütünlüğünü daha iyi korumaktadır. NADES ekstraksiyonu ile proteinlerin ikincil yapılarında bozulma gözlenmemektedir. Bununla birlikte, DES kullanımı bazı teknik sınırlamaları da beraberinde getirmektedir. Bu sistemlerin yüksek viskoziteye sahip olması, çözücünün kütle transferini zorlaştırarak ekstraksiyon verimini olumsuz etkileyebilmektedir. Ancak, ultrasonik kavitasyon ve mikrodalga ısı transferi gibi yardımcı modern teknikler bu sorunu azaltmakta; kütle aktarımını kolaylaştırarak hem işlem süresini kısaltmakta hem de verimi artırmaktadır. Ayrıca, çözücü bileşenlerinin türü ve oranları ile sıcaklık ve su içeriği gibi parametrelerin optimize edilmesi durumunda bu sınırlamalar büyük ölçüde aşılabilmektedir.

Bu yönüyle NADES'ler, sürdürülebilirlik, biyouyumluluk ve verimlilik açısından protein ekstraksiyonunda umut vadeden çözücüler olarak değerlendirilmektedir (Zhou ve ark., 2022).

Bitkisel Protein Ekstraksiyonunda Yenilikçi Teknolojik Yöntemler

Son yıllarda bitkisel proteinlerin ekstraksiyonunda daha verimli, sürdürülebilir ve çevre dostu olmaları sebebi ile yenilikçi ekstraksiyon yöntemlerinin uygulanması tercih edilmektedir. Bu ekstraksiyon yöntemleri arasında yüksek hidrostatik basınç (HHP), ultrases (US) destekli ekstraksiyon, mikrodalga (MW) destekli ekstraksiyon, enzim destekli ekstraksiyon ve bu yöntemlerin kombinasyonları yer almaktadır.

100-800 MPa basınç uygulamasıyla gerçekleştirilen yüksek hidrostatik basınçlı ekstraksiyon yöntemi, bitkisel protein ekstraksiyonu için yenilikçi bir yöntemdir. Uygulanan basınç etkisiyle hücre dokuları degradasyona uğramakta ve proteinler hücre matriksinden serbest hâle geçmektedir; bu durum kütle transferini kolaylaştırarak ekstraksiyon veriminin artmasını sağlamaktadır. Yüksek yatırım maliyetleri nedeni ile bitkisel protein ekstraksiyonunda kullanımı literatürde sınırlıdır (Şensu ve ark., 2024). Kalaycı ve ark. (2021), bezelye örneklerinde yüksek hidrostatik basınç uygulamasında 500 MPa basınçta 50 °C'de pH 5 koşullarında, proteinlerin su tutma kapasitesini en yüksek bulunmuştur. Su tutma kapasitesi arttıkça ekstraksiyon verimi de artmıştır. Bu durumu proteinlerin çözünebilirliğinin artması ile ilişkilendirmişlerdir. Zengin ve ark. (2024), soya protein izolatlarında yüksek hidrostatik basınç uygulaması ile protein ekstraksiyonu gerçekleştirmiştir. En yüksek protein çözünebilirlik değerini 400 MPa basınçta, pH 7 iken saptamışlardır. Düşük ve orta basınç seviyelerinde (300–400 MPa), proteinlerin amino asit gruplarının açığa çıkmasına bağlı olarak çözünebilirlik artarken, 500 MPa gibi yüksek basınç seviyelerinde protein agregasyonu nedeniyle çözünebilirliğin azaldığı rapor edilmiştir.

Ses dalgaları yardımı ile materyalin yapısı ve fizikokimyasal özeliklerine etki ederek ekstraksiyon veriminin arttırıldığı ultrases destekli ekstraksiyon farklı gıda matrislerinde kullanılmaktadır. Düşük enerji gereksinimi ve daha az çözücü kullanımı nedeni ile çevre dostu bir uygulamadır (Kumar ve ark., 2021, Gümüş ve Yıldız, 2024). Nguyen ve ark. (2019), yer fıstığı küspesinde 30 W, 50 °C'de 15 dakika olarak uygulanan ultrasesin, protein verimini %19 artırdığını saptamışlardır. Bu durumun, yüksek kavitasyon sayesinde parçacık boyutunun küçülmesine bağlı olarak olarak çözücüye kütle transferinin olmasından kaynaklandığı ifade edilmiştir. Golly ve ark. (2020) ise ceviz küspesinde protein veriminin %30'a ulaştığını ve işlem süresinin %25 oranında kısaldığını rapor etmişlerdir. Bu durum, ultrases etkinliğinin matriks yapısına bağlı olarak değiştiğini ortaya koymaktadır. Zhao ve ark. (2023), dut yapraklarında 150, 300 ve 450 W; 30, 40, 50°C'de ultrases destekli ekstraksiyonda kullanılan güç seviyesinin artması ile protein salınımının ve buna bağlı olarak protein veriminin artığını saptamışlardır.

Mikrodalga destekli ekstraksiyon, çözücülerin olduğu veya olmadığı durumlarda kullanılma potansiyeline sahip bir yöntemdir. Bitkisel hücrelerin yapısını etkileyen bir teknoloji olduğu için ekstraksiyon verimi üzerinde doğrudan etki göstermektedir. Son yıllarda, bitkisel materyallerde mikrodalga destekli ekstraksiyon, gücü, verimi, protein ekstraksiyonuna elverişliliği ve maliyet açısından uygun olması sebebi ile daha çok tercih edilmektedir (Özer ve ark., 2018). Varghese ve ark. (2019), soya fasulyesinde mikrodalga destekli ekstraksiyon ile protein veriminin %24 artırılabildiğini bildirmişlerdir. Araştırmacılar mikrodalga destekli ekstraksiyon ile bitkinin hücre duvarlarına etki edilerek protein çözünebilirliğinin arttığını ve hızlı, etkili bir ekstraksiyonun gerçekleştirildiğini saptamışlardır. Görgüç ve ark. (2020), susam kepeğinde mikrodalga destekli ekstraksiyon ile protein verimliliğini geleneksel alkali ekstraksiyon yöntemine göre daha yüksek olarak bulmuşlardır.

Enzim destekli ekstraksiyon (EAE), bitkisel kaynaklardan protein ekstraksiyonu için önemli bir çevre dostu tekniktir. Kimyasal ve fiziksel ekstraksiyon yöntemlerine kıyasla daha düşük enerji tüketimi, daha az atık üretimi ve daha basit çalışma koşulları sunmaktadır. Bu yöntemde, bitki hücre duvarlarını ve protein yapılarını hidrolize ederek protein çözünürlüğünü arttıran enzimlerden yararlanılmaktadır. Enzim destekli ekstraksiyon yönteminin ultrasonik işlem gibi fiziksel ekstraksiyon teknikleri ile birleştirilmesi, hücre duvarlarının daha etkili şekilde parçalanmasını sağlayarak protein ekstraksiyon verimliliğini artırmaktadır (Kleekayai ve ark., 2023). Örneğin, Akbağ (2024) tarafından yapılan güncel bir çalışmada, susam küspesinde sadece alkali yöntemle elde edilen %23,3'lük verimin, ultrases ve enzim kombinasyonuyla %48,6'ya yükseldiği ortaya konmuştur.

HHP, US, MW ve enzim destekli ekstraksiyon gibi yenilikçi yöntemlerin kombinasyonu, sinerjik etki göstererek matris direncini kırmakta ve istenilen bileşenin ekstraksiyon verimliliğini önemli ölçüde artırmaktadır. Ayrıca solvent kullanımının da azaltılması ile çevresel etkiler en aza indirilmekte ve sürdürülebilir üretim süreçlerine katkıda bulunulmaktadır. Cheng ve ark. (2021), *Moringa oleifera* yapraklarında ultrases ve mikrodalga ekstraksiyon kombinasyonunun, geleneksel çözücü ekstraksiyonuna göre daha kısa sürede daha yüksek protein verimi sağladığını bildirmişlerdir. Lai ve ark. (2024), nohut örneklerinde vurgulu elektrik alan ile ultrases uygulamasının proteinin çözünürlük, emülsiyon kapasitesi, köpürme özellikleri gibi işlevlerinde iyileşmeye neden olduğunu saptamışlardır. Bu durum, yenilikçi yöntemlerin yalnızca verim değil, protein kalitesi açısından da değerlendirilmesi gerektiğini ortaya koymaktadır.

Sonuç

Bitkisel proteinler ve bitkisel protein içeren gıdalar popülaritelerinin artması ile beslenme, çevresel ve sürdürülebilirlik açısından öncelik kazanmaktadır. Bitkisel protein kaynaklarının öne çıkmasıyla geleneksel beslenme şekilleri değişmiş, özellikle hayvansal proteinlerin neden olduğu çevresel etkiler, etik kaygılar ve sağlıkla ilgili olumsuz etkiler sebebiyle bitkisel proteinlere yönelim artmıştır. Bitkisel kaynakların çeşitliliği ve besleyicilik özellikleri bireysel beslenme alışkanlıklarının olumlu yönde oluşmasında önemli rol oynamaktadır.

Çizelge 3a. Farklı ekstraksiyon yöntemlerinin bitkisel protein verimi ve özellikleri üzerindeki etkileri
Table 3a. Effects of different extraction methods on plant protein yield and properties

Bitki Numunesi*: Susam Kepeği*	
Ekstraksiyon yöntemi: Mikrodalga destekli enzimatik ekstraksiyon *Proses Koşulları:* Enzim konsantrasyonu: 1.94 AU (Activity Unit)*/100 g Sıcaklık: 49 °C, 98 dakika işlem süresi. *AU (Activity Unit), enzim aktivitesini ifade eden bir birimdir. Belirli bir sıcaklık ve pH koşulunda enzim tarafından bir dakikada katalize edilen substrat miktarını belirttirmektedir. *Protein Verimi %:* %91,7 *Bulgular:* Mikrodalga ve enzim kombinasyonu ile en yüksek protein verimi sağlanmıştır. Protein verimi ve toplam fenolik içerik, standart alkali yöntemine göre daha yüksek bulunmuştur.	Görgüç ve ark. (2020)
Bitki Numunesi: Soya Fasulyesi (Öğütülmüş, Yağsız)	
Ekstraksiyon yöntemi: Enzim destekli alkali ekstraksiyon *Proses Koşulları:* 50°C, 1:10 katı/sıvı oranı, pH 5,5'te 1 saat enzimatik işlem (selülaz, ksilinaz, pektinaz), pH 8'de 1-2 saat alkali ekstraksiyon. *Protein Verimi %:* Tüm örneklerde protein veriminde %39,8'a varan artış gözlemlenmiştir. *Bulgular:* Enzim ve alkali ekstraksiyon kombinasyonu ile protein verimi %38 artırılmıştır. Ekstrakte edilen protein daha iyi çözünürlük (%79,9) ve emülsiyon özellikleri göstermiştir. Süre kısaltılarak protein hasarının önüne geçilmiştir.	Perović ve ark. (2020)
Bitki Numunesi: Şeker Pancarı Yaprağı	
Ekstraksiyon yöntemi: Enzim destekli ekstraksiyon + izoelektrik-amonyum sülfat çöktürme *Proses Koşulları:* Sıcaklık: 54,25 °C; Süre: 81,35 dakika; Çözücü/katı oranı: 27,65 mL/g; Enzim: %8 Pektinex Ultra SP-L *Protein Verimi %:* %79,01 *Bulgular:* Optimizasyon ve enzim destekli yöntemle protein verimi %43,27 artmıştır. SPC-IAP protein içeriği %69.08 bulunmuştur. Proteinler yüksek çözünürlük (%98,71, pH 7,5) ve gıda endüstrisi için uygun fizikokimyasal özellikler göstermiştir.	Akyüz ve Ersus (2021)
Bitki Numunesi: Pirinç Kepeği	
Ekstraksiyon yöntemi: Mikrodalga destekli ekstraksiyon (MAE), Ultrases destekli ekstraksiyon (UAE) ve alkali ekstraksiyon *Proses Koşulları:* DRB:su oranı 0,5:10; MAE sıcaklık 40 °C; UAE dalga duraklama süresi: 30 sn/60 sn; Alkali yöntemde 45 dk süre *Protein Verimi %:* MAE %12,2, UAE %11,7, Alkali %10,9 *Bulgular:* MAE, %12 protein verimi ile en yüksek performansı sağlamıştır. UAE %11,7 verim göstermiştir. MAE, 30 kat daha kısa sürede en yüksek protein çözünürlüğü (%75,9) ve fonksiyonel özellikler sunmuştur. Çevre dostu olan bu yöntemler protein kalitesini artırmıştır.	Bedin ve ark. (2020)
Bitki Numunesi: Soya Fasulyesi	
Ekstraksiyon yöntemi: Mikrodalga destekli ekstraksiyon *Proses Koşulları:* Mikrodalga gücü: 675 W; Sıcaklık: 80 °C; Karıştırma hızı: 160 RPM *Protein Verimi %:*%44,44 *Bulgular:* Mikrodalga destekli yöntemle protein verimi %24 artmıştır. Protein çözünürlüğü %31,9 ve protein sindirilebilirliği %4.22 artmıştır. Hücre duvarı yapısındaki bozulmalar protein çözünürlüğünü artırmıştır. İşlemin çevresel ve zamansal avantajları gözlenmiştir.	Varghese ve Pare (2019)
Bitki Numunesi: Moringa oleifera yaprakları	
Ekstraksiyon yöntemi: Ultrases ve Mikrodalga Destekli Ekstraksiyon (UMAE) Kombinasyonu *Proses Koşulları:* 91:1 çözücü/katı oranı, 148 s süre, 41°C sıcaklık, 81 W mikrodalga gücü. *Protein Verimi %:* %8,20 *Bulgular:* Maksimum protein verimi uygun tampon konsantrasyonu ve süre ile elde edilmiştir. Geleneksel yöntemle karşılaştırıldığında daha kısa sürede daha yüksek protein verimi sağlamıştır (Geleneksel yöntem ile 68,99 mg/g; UMAE 82,07 mg/g). Hücre duvarlarının bozulmasını hızlandırarak protein çözünürlüğünü artırmıştır.	Cheng ve ark. (2021)
Bitki Numunesi: Kavrulmuş kahve çekirdeği kabuğu	
Ekstraksiyon yöntemi: Geleneksel Ekstraksiyon (CE) Ultrases Destekli Ekstraksiyon (UAE) *Proses Koşulları:* 0,6 M NaOH ➔ 0,6 M HCl, 1:40 katı/sıvı oranı, 50°C, 10 dakika ve 24 saat süre Ultrases probu ile, 0,6 M NaOH ➔ 0,6 M HCl, 1:40 katı/sıvı oranı, 50°C, 10 dakika. *Protein Verimi %:* %6,23 (10 dk), %32,52 (24 saat) %14,04 *Bulgular:* Uzun sürelerde daha yüksek verim sağlanmıştır. Klasik yöntemlerin düşük sıcaklıkta uygulanabilir, ancak süreye bağlı olarak dezavantajları olabildiği belirtilmiştir. Ultrases kavitasyonu, matrisin parçalanmasını ve çözelti penetrasyonunu artırarak ekstraksiyon verimini geleneksel yönteme göre 2,3 kat artırmıştır. *Ekstraksiyon yöntemi:* Mikrodalga Destekli Ekstraksiyon *Proses Koşulları:* 434,7 W mikrodalga gücü, 0,6 M NaOH ➔ 0,6 M HCl, 1:40 katı/sıvı oranı, 10 ve 20 dakika süre *Protein Verimi %:* %43,53 (10 dk), %39,95 (20 dk) *Bulgular:* En yüksek protein verimi mikrodalga kullanımıyla elde edilmiştir. Ekstraksiyon süresi kısalırken geleneksel yönteme göre 7 kat daha fazla verim gözlenmiştir.	Wen ve ark. (2021)
Bitki Numunesi: Nohut	
Ekstraksiyon yöntemi: Vurgulu Elektrik Alan (PEF) ve Ultrases (UAE) Kombinasyonu (PEF-UAE) *Proses Koşulları:* Pulse süresi: 87 s; Elektrik alan şiddeti: 0,9 kV/cm; Ultrases süre: 15 dakika; Güç: 325 W; 20-25°C *Protein Verimi %:* PEF: %22.13 UAE: %20.07 PEF-UAE: %13.52 *Bulgular:* Kombine yöntemle ekstraksiyon verimi önemli ölçüde artırılmıştır. Ekstraksiyon sonrası proteinlerin işlevsel özelliklerinde (çözünürlük, emülsiyon kapasitesi ve köpürme özellikleri) iyileşme gözlenmiştir.	Lai ve ark. (2024)

Çizelge 3b. Farklı ekstraksiyon yöntemlerinin bitkisel protein verimi ve özellikleri üzerindeki etkileri
Table 3b. Effects of different extraction methods on plant protein yield and properties

Bitki Numunesi*: Bezelye (Pisum sativum L.)*	
Ekstraksiyon yöntemi: Yüksek Hidrostatik Basınç (YHB)	Kalaycı (2021)
Proses Koşulları: 300, 400, 500 MPa; 25-50 °C; pH 3, 5, 7; 5 dakika süresince	
Protein Verimi %: Nötr pH'de %60	
Bulgular: Su tutma kapasitesi (WHC) 500 MPa, 50 °C, pH 5 koşulunda en yüksek değere ulaşmıştır. pH 3'te WHC ve hidratasyon kapasitesi azalmıştır. Emülsiyon kabiliyeti pH 3'te kontrol örneklere göre daha yüksektir. Viskozite tüm işlem koşullarında düşmüştür. FTIR (Fourier Dönüşümlü Kızılötesi Spektroskopisi) sonuçları, yüksek basıncın protein yapısında geri dönüşümsüz açılmalara yol açtığını göstermiştir.	
Bitki Numunesi: Soy Protein İzolatı (SPI)	
Ekstraksiyon yöntemi: Yüksek Hidrostatik Basınç (HHP)	Zengin ve ark. (2022)
Proses Koşulları: Basınç: 300, 400, 500 MPa; Sıcaklık: 25 ve 40 °C; Süre: 5 dakika; pH: 5 ve 7	
Protein Verimi %: %82,37 (En yüksek, pH 7, 400 MPa, 40 °C)	
400 MPa'da, pH 7 koşulunda çözünebilirlik en yüksek değere ulaşmıştır. 500 MPa'da agregasyon nedeniyle çözünebilirlik azalmıştır. pH 5'te SPI en düşük seviye değerini almıştır, ancak pH farkı SPI üzerinde genel olarak belirgin olmadığı sonucuna varılmıştır. SPI'nın, HHP uygulaması sonrası azaldığı gözlenmiştir. Düşük basınç seviyelerinde (300 ve 400 MPa) proteinlerin polar amino asit gruplarının açığa çıkması çözünürlüğü artırırken, daha yüksek basınç seviyelerinde bu etkinin tersine döndüğü görülmüştür.	
Bitki Numunesi: Bezelye Protein İzolatı	
Ekstraksiyon yöntemi: Yüksek Hidrostatik Basınç (HHP)	Lv ve ark. (2019)
Proses Koşulları: Basınç: 200-500 MPa; Süre: 10-20 dk; pH: 6.5	
Protein Verimi %: %56,4 (En yüksek, 400 MPa, 20 dk)	
Bulgular: Protein çözünebilirliği 300 MPa'dan itibaren hızla artarken, 500 MPa'da çözünebilirlik düşüşe geçtiği sonucuna varılmıştır. Denatürasyon minimal düzeyde olup protein verimi partikül boyutlarının azalmasıyla desteklenmiştir.	
Bitki Numunesi: Legum Proteinleri (Soy Dahil)	
Ekstraksiyon yöntemi: Yüksek Hidrostatik Basınç (HHP)	Dehnad ve ark. (2024)
Proses Koşulları: Basınç: 200-600 MPa; Süre: 10-30 dk; pH: 6,5-7,5	
Protein Verimi %: %85 (En yüksek, 400 MPa)	
Bulgular: 400 MPa'da çözünebilirlik, emülsifikasyon ve stabilite özellikleri artmıştır. Basınç 600 MPa'ya çıktığında, protein yapılarında agregasyon eğilimi gözlemlenmiştir. Protein çözünebilirliği 200-400 MPa aralığında istikrarlı şekilde artarken, daha yüksek basınçlar denatürasyona yol açmıştır.	
Bitki Numunesi: Dut Yaprağı	
Ekstraksiyon yöntemi: Ultrases Destekli Ekstraksiyon (UAE)	Zhao ve ark. (2023
Proses Koşulları: 25 kHz frekans; 150, 300, 450 W/L güç yoğunluğu; 30°C, 40°C, 50°C sıcaklıklar; 20 dakika ekstraksiyon süresi; pH 9.	
Protein Verimi %: En yüksek: %30,03	
Bulgular: Ultrases kavitasyon, protein verimini %141,59 artırmıştır. Yüksek güç yoğunluğu ve sıcaklık, protein salınımı, çözünebilirlik, emülsifikasyon ve antioksidan özellikleri iyileştirmiştir.	
Bitki Numunesi: *Macrocystis pyrifera Chondracanthus chamissoi*	
Ekstraksiyon yöntemi: Enzim Destekli Ekstraksiyon (EAE)	Vásquez ve ark. (2019)
Proses Koşulları: 18 saat hidroliz süresi, 1/10 enzim/substrat oranı, 50°C, pH 4,5, Selülaz (Cellic CTec3) kullanılmıştır; 12 saat hidroliz süresi, 1/10 enzim/substrat oranı, 50°C, pH 4,5, Selülaz (Cellic CTec3) kullanılmıştır.	
Protein Verimi %: %74,6; %36,1	
Bulgular: Macrocystis pyrifera' ya uygulanan EAE işlemi, hücre duvarını parçalayarak protein verimini artırmış, ekstrakt güçlü antioksidan ve antihipertansif aktivite göstermiştir. *Chondracanthus chamissoi*' ye uygulanan EAE işlemi daha düşük protein verimi göstermesine rağmen ekstraktlarda antioksidan aktivite tespit edilmiştir. Ekstraktların, kan basıncını düşürme potansiyeli bulunmamıştır	
Bitki Numunesi: *Ulva rigida*	
Ekstraksiyon yöntemi: Ultrases Destekli Alkali Ekstraksiyon	Pan- Utai (2022)
Proses Koşulları: 35 kHz frekans, 320 W güç, 1:10 biyokütle/çözücü oranı, 0,05–1,0 M NaOH, çözücü ilavesi ile 1 veya 2 ekstraksiyon döngüsü.	
Protein Verimi %: %3,7 (fırında kurutulmuş), %8,5 (dondurarak kurutulmuş)	
Bulgular: Alkali ekstraksiyon en yüksek protein verimini sağlamış, dondurarak kurutma yöntemi ile kurutulmuş örneklerde ultrases uygulaması protein çözünürlüğü ve antioksidan özellikleri arttırmıştır.	
Bitki Numunesi: Susam Küspesi(Soğuk Sıkım)	
Ekstraksiyon yöntemi: Alkalin, Ultrases ve Enzim Destekli Ekstraksiyon	Akbağ (2024)
Proses Koşulları: Ultrases süresi: 70 dakika; enzim süresi: 30 dakika (optimum)	
Protein Verimi %: Alkali Ekst. %23,3 Ultrases Destekli Ekst. %37,5 Enzimatik Ekst. %29 Ultrases+Enzim %48,6	
Bulgular: Protein izolatları yüksek çözünürlük (%68,21), su ve yağ tutma kapasitesi (1,765 g/g ve 3,56 ml/g) ile emülsiyon aktivitesi (44 m^2/g) ve stabilitesi (31,6 dk) sergilemiştir.	
Bitki Numunesi: Yer Fıstığı Küspesi	
Ekstraksiyon yöntemi: Ultrases Destekli Ekstraksiyon	Nguyen ve Le (2019)
Proses Koşulları: 20 kHz frekans, 30 W/g güç, 1:20 solvent/oran, 50°C, 15 dakika süre.	
Protein Verimi %: %87,7	
Bulgular: Ultrases ile protein verimi %19 artmıştır. Yüksek kavitasyon sayesinde parçacık boyutu küçülmüş ve kütle transferi artmıştır.	

Çizelge 3b. Farklı ekstraksiyon yöntemlerinin bitkisel protein verimi ve özellikleri üzerindeki etkileri
Table 3b. Effects of different extraction methods on plant protein yield and properties

Bitki Numunesi*: Ceviz Küspesi*	
Ekstraksiyon yöntemi: Ultrases Destekli Ekstraksiyon	Golly ve ark. (2020)
Proses Koşulları: 80 W, 45 dk, 46,6 °C	
Protein Verimi %: %91,23	
Bulgular: Ultrason protein verimini %30 artırmıştır. Ekstraksiyon süresi %25 kısalmış ve emülsiyon/köpük stabilitesi gelişmiştir.	
Bitki Numunesi: Pamuk Tohumu (Çiğit)	
Ekstraksiyon yöntemi: Ultrases Destekli Ekstraksiyon Mikrodalga Destekli Ekstraksiyon	Küçükyıldırım (2024)
Proses Koşulları: pH 10, 600 W, 10 dk Mikrodalga Destekli Ekst., pH 10, %100 Genlik, 10 dk Ultrases Destekli Eks., Ekstraksiyon sonrası 15 dk santrifüj, çökelti pH=4,5'te 50°C'de 24 saat kurutma yapılmıştır.	
Protein Verimi %: %82,49; %80,52	
Bulgular: Mikrodalga ekstraksiyon yöntemi, yüksek protein verimi sağlamıştır. Fonksiyonel özellikler açısından avantajlı bulunmuştur. Ultrases destekli ekstraksiyon, emülsiyon ve köpük özelliklerinde iyileşmeye neden olmuştur.	
Bitki Numunesi: Domates Çekirdeği	
Ekstraksiyon yöntemi: Ultrases Destekli Ekstraksiyon	Özyurt ve ark. (2021)
Proses Koşulları: 210 W, 24kHz, 60 dk, 35 °C	
Protein Verimi %: %35,75	
Bulgular: Ultrases gücü ve katı/sıvı oranı arttıkça verimliliğin arttığı ve proteinlerin çözünürlük değerlerinin yükseldiği saptanmıştır. UAE'nin domates çekirdeği atığından protein ekstraksiyonu için etkili bir teknik olduğu sonucuna varılmıştır.	

Bu derlemede, mikrodalga destekli ekstraksiyon (MAE), ultrases (UAE), yüksek hidrostatik basınç (HHP), enzim destekli yöntemler ve bunların çeşitli kombinasyonları dahil olmak üzere farklı yenilikçi ekstraksiyon teknikleri değerlendirilmiştir. Elde edilen bulgular, geleneksel yöntemlere kıyasla bu tekniklerin protein verimini önemli ölçüde artırabildiğini, işlem süresini kısalttığını ve fonksiyonel özelliklerde belirgin iyileşmeler sağladığını göstermektedir. Yapılan incelemelerde MAE uygulamaları klasik alkali yöntemlere göre işlem süresini bazı materyallerde 30 kata kadar azaltırken, %12'ye varan verim artışları sağlamaktadır. Benzer şekilde, UAE yöntemiyle yer fıstığı küspesi gibi örneklerde protein verimi %19 oranında artış gösterirken, partikül boyutundaki küçülme sayesinde kütle transferi hızlanmakta ve protein çözünürlüğü iyileşmektedir. HHP yönteminde ise uygun basınç ve sıcaklık koşulları altında protein çözünürlüğü %82'ye kadar ulaşabilmektedir ancak bu yüksek oranların ekstraksiyon veriminden ziyade proteinin fonksiyonel bir özelliği olan çözünürlük kapasitesini temsil ettiği dikkate alınmalıdır. Ayrıca enzim destekli ekstraksiyonlar, özellikle alkali süreçlerle birleştirildiğinde hem verim hem de işlevsel niteliklerde anlamlı gelişmeler sağlamıştır. Kombine tekniklerin (örneğin PEF–UAE veya UMAE gibi) ise tek başına uygulanan yöntemlerin sınırlılıklarını azaltarak enerji tüketimini dengeleme ve verimi artırma potansiyeli taşıdığı görülmüştür. Genel olarak değerlendirilen çalışmalar göz önünde bulundurulduğunda, yenilikçi ekstraksiyon yöntemlerinin bitkisel protein üretiminde hammadde türü ve proses parametrelerine bağlı olarak verim artışı ve işlem süresi kısalması sağladığı tespit edilmiştir.

Bu doğrultuda, uygulamada enerji verimliliği ve proses kontrolü açısından hibrit proseslerin (örneğin UAE + enzim veya MAE + doğal derin ötektik çözücüler) geliştirilmesi önerilmektedir. Ayrıca ekstraksiyon süreci sonrası oluşan küspe gibi artıkların gıda katkı maddesi, diyet lifi ya da hayvan yemi gibi alanlarda değerlendirilmesi atık yönetimi açısından önem arz etmektedir. Ekipman yatırım maliyetleri ve proses optimizasyonu ihtiyacı yüksek olan HHP ve MAE gibi teknolojilerin endüstriyel ölçekte yaygınlaşması için maliyet etkin stratejiler ve yenilenebilir enerji kaynaklarının entegrasyonu dikkate alınmalıdır. Bununla birlikte, farklı bitki türleri için proses parametre tabloları oluşturulması, sanayiye yönelik teknik rehberlik sağlayabilmektedir.

Gelecekteki araştırmaların, NADES temelli çözücülerin ölçek-yukarı uygulamaları ve toksikolojik güvenlik değerlendirmeleri gibi yönlere odaklanması gerekmektedir. Ayrıca yaşam döngüsü analizi ile yenilikçi ekstraksiyon tekniklerinin çevresel ve ekonomik etkilerinin kapsamlı şekilde karşılaştırılması önemlidir. Türkiye'ye özgü gıda kaynaklarının protein potansiyelinin ortaya çıkarılması; bu proteinlerin fonksiyonel özelliklerinin belirlenmesi ve farklı gıda uygulamalarına entegrasyonu da gelecek çalışmalarda ele alınmalıdır. Son olarak, sürekli sistemlerde çalışabilecek ekstraksiyon reaktörlerinin tasarımı, proses kontrol sistemlerinin geliştirilmesi ve yenilikçi tekniklerin hem teknik-ekonomik fizibilite hem de tüketici kabulü açısından değerlendirilmesi, bu alandaki ilerlemeyi sürdürülebilir bir temele oturtacaktır.

Beyanlar

Bu çalışma için herhangi bir kurum veya kuruluş tarafından finansal destek alınmamıştır. Yazarlar, herhangi bir çıkar çatışması olmadığını beyan etmektedir.

Kaynaklar

Abdi, A. & Bozkır, H. (2024). Sürdürülebilir Beslenme: Bitki Bazlı Protein Kaynakları ve Çevresel Etkileri. International Journal of Advanced Natural Sciences and Engineering Researches, 8(7), 298-313.

Adhikari, S., Schop, M., de Boer, I. J., & Huppertz, T. (2022). Protein quality in perspective: a review of protein quality metrics and their applications. *Nutrients, 14(5)*, 947.

Akbağ, A. (2024). Susam Küspesinden Ultrases ve Enzim Destekli Protein Ekstraksiyonu. [Yüksek Lisans Tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi].

Akyüz, A., & Ersus, S. (2021). Optimization of enzyme assisted extraction of protein from the sugar beet (Beta vulgaris L.) leaves for alternative plant protein concentrate production. *Food Chemistry, 335*, 127673.

Andrade, T. A., Fetzer, D. E. L., dos Passos, N. H. M., & Ambye-Jensen, M. (2025). Maceration and fractionation technologies in a demonstration-scale green biorefinery: Proteins, sugars, and lipids extraction and energy efficiency. Industrial Crops and Products, 223, 120142.

Avelar, Z., Pereira, R. N., Vicente, A. A., & Rodrigues, R. M. (2024). Protein quality of cereals: Technological and functional perspectives. Journal of Cereal Science, 117, 103922.

Azizi, R., Baggio, A., Capuano, E., & Pellegrini, N. (2024). Protein transition: focus on protein quality in sustainable alternative sources. *Critical Reviews in Food Science and Nutrition*, 1-21.

Barthelmie, R.J. (2022). Impact of dietary meat and animal products on GHG footprints: the UK and the US. Climate, 10(3), 43. https://doi.org/10.3390/cli10030043

Bedin, S., Netto, F. M., Bragagnolo, N., & Taranto, O. P. (2020). Reduction of the process time in the achieve of rice bran protein through ultrasound-assisted extraction and microwave-assisted extraction. *Separation Science and Technology, 55(2)*, 300-312.

Berrazaga, I., Micard, V., Gueugneau, M., & Walrand, S. (2019). The role of the anabolic properties of plant-versus animal-based protein sources in supporting muscle mass maintenance: a critical review. *Nutrients, 11(8)*, 1825.

Cannavacciuolo, C., Pagliari, S., Frigerio, J., Giustra, C. M., Labra, M., & Campone, L. (2022). Natural Deep Eutectic Solvents (NADESs) Combined with Sustainable Extraction Techniques: A Review of the Green Chemistry Approach in Food Analysis. *Foods, 12(1)*, 56.

Chen, L., Msigwa, G., Yang, M., Osman, A.I., Fawzy, S., Rooney, D.W., Yap, P.S. (2022). Strategies to achieve a carbon neutral society: a review. Environmental Chemistry Letters, 20, 2277–2310. https://doi.org/10.1007/s10311-022-01435-8

Chen, Y., Qi, L. (2025). Carbon emissions of animal-based food can be reduced by adjusting production and consumption of residents in China. Environmental Technology & Innovation, 37, 103966. https://doi.org/10.1016/j.eti.2024.103966

Cheng, F., Shu, G., Chen, L., Dai, C., Wan, H., Chen, H., & Dong, X. (2021). Ultrasound-microwave assisted extraction of proteins from Moringa oleifera leaves: Comparative optimization study and LC-MS analysis of the protein concentrate. *Journal of Food Processing and Preservation, 45(6)*, e15547.

Çetiner, M., & Bilek, S. E. (2018). Bitkisel protein kaynakları. *Çukurova Tarım ve Gıda Bilimleri Dergisi, 33(2)*, 111-126.

Day, L., Cakebread, J. A., & Loveday, S. M. (2022). Food proteins from animals and plants: Differences in the nutritional and functional properties. *Trends in Food Science & Technology, 119*, 428-442.

Dehnad, D., Emadzadeh, B., Ghorani, B., Assadpour, E., Yang, N., & Jafari, S. M. (2024). The influence of high hydrostatic pressure on different properties of legume proteins with an emphasis on soy proteins; a comprehensive review. *Food Hydrocolloids, 146*, 109188.

Espinosa-Marrón, A., Adams, K., Sinno, L., Cantu-Aldana, A., Tamez, M., Marrero, A., Bhupathiraju, S.N., Mattei, J. (2022) Environmental impact of animal-based food production and the feasibility of a shift toward sustainable plant-based diets in the United States. Frontiers in Sustainability, 3, 41106. https://doi.org/10.3389/frsus.2022.841106

Ewy, M. W., Patel, A., Abdelmagid, M. G., Elfadil, O. M., Bonnes, S. L., Salonen, B. R., Hurt R. T. & Mundi, M. S. (2022). Plant-based diet: is it as good as an animal-based diet when it comes to protein?. *Current Nutrition Reports, 11(2)*, 337-346.

Golly, M. K., Ma, H., Yuqing, D., Dandan, L., Quaisie, J., Tuli, J. A., Mintah, B. K., Dzah, C. S., Agordoh, P. D. (2020). Effect of multi-frequency countercurrent ultrasound treatment on extraction optimization, functional and structural properties of protein isolates from walnut (Juglans regia L.) meal. *Journal Biochemistry, 44(6)*, e13210.

Görgüç, A., Özer, P., & Yılmaz, F. M. (2020). Microwave-assisted enzymatic extraction of plant protein with antioxidant compounds from the food waste sesame bran: Comparative optimization study and identification of metabolomics using LC/Q-TOF/MS. *Journal of Food Processing and Preservation, 44(1)*, e14304.

Gümüş, S., & Yıldız, S. (2024). Ultrases Prosesinin Bitkisel Atık ve Yan Ürünlerden Protein Eldesinde Kullanımı ve Proteinlerin Fonksiyonel Özellikleri Üzerine Etkisi. *Gıda, 49(1)*, 68-87.

Hadidi, M., Aghababaei, F., & McClements, D. J. (2023). Enhanced alkaline extraction techniques for isolating and modifying plant-based proteins. *Food Hydrocolloids, 109132*.

Hargreaves, S. M., Raposo, A., Saraiva, A., & Zandonadi, R. P. (2021). Vegetarian diet: an overview through the perspective of quality of life domains. *International journal of environmental research and public health*, *18*(8), 4067.

Jesus, A. R., Paiva, A., Duarte, A. R. C. (2023). Current developments and future perspectives on biotechnology applications of natural deep eutectic systems. *Current Opinion in Green and Sustainable Chemistry, 39*.

Kalaycı, C. A. (2021). Effect of high hydrostatic pressure (HHP) on the functional properties of pea protein isolate (PPI). [Master's Thesis, Middle East Technical University].

Kleekayai, T., Khalesi, M., Amigo-Benavent, M., Cermeño, M., Harnedy-Rothwell, P., & FitzGerald, R. J. (2023). Enzyme-assisted extraction of plant proteins. In *Green protein processing technologies from plants: Novel extraction and purification methods for product development* (pp. 131-178). Cham: Springer International Publishing.

Köseoğlu, S. Z. A. (2019). Bazı tahıl ürünlerinin protein kalite indeksinin protein sindirilebilirliği–düzeltilmiş amino asit skoru (PDCAAS) metodu ile belirlenmesi. Avrupa Bilim ve Teknoloji Dergisi, (17), 477-482.

Kumar, M., Tomar, M., Punia, S., Dhaka, J., Dhumal, S., Changan, S., Senapathy, M., Berwal, M. K., Sampathraj, V., Sayed, A. A. S., Chandran, D., Pandiselvam, R., Rais, N., Mahato, D. K., Udikeri, S. S., Satankar, V., Anitha, T., Reetu, R., Singh, S., Amarowicz, R., & Kennedy, J. F. (2022). Plantbased proteins and their multifaceted industrial applications. Lwt, 154, 112620

Küçükyıldırım, M. (2024). Ekstraksiyon Yöntemlerinin Pamuk Tohumu (Çiğit) Proteini Özellikleri ve Gosipol İçeriğine Etkisinin Araştırılması. [Yüksek Lisans Tezi, Harran Üniversitesi].

Lai, X. J., Chen, J. Q., Nie, J., Guo, P. F., Manzoor, M. F., Huang, Y. Y., & Wang, R. (2024). Enhancement of extraction efficiency and functional properties of chickpea protein isolate using pulsed electric field combined with ultrasound treatment. *Ultrasonics Sonochemistry, 111*, 107089.

Li, X., Cao, Q., & Liu, G. (2025). Advances, applications, challenges and prospects of alternative proteins. *Journal of Food Composition and Analysis, 137(Part A)*.

Malik, V. S., Li, Y., Tobias, D. K., Pan, A., & Hu, F. B. (2016). Dietary protein intake and risk of type 2 diabetes in US men and women. *American Journal of Epidemiology, 183(8)*, 715-728.

Mansour, F. R., Bedair, A., Hamed, M., Magdy, G., Ali, I., Locatelli, M. (2024). Applications of (natural) deep eutectic solvents in liquid phase microextraction: A review. *Microchemical Journal, 198*.

Mariotti, F. (2017). Plant protein, animal protein, and protein quality. In *Vegetarian and Plant-Based Diets in Health and Disease Prevention* (pp. 621-642). Academic Press.

Nebolisa, N. M., Umeyor, C. E., Ekpunobi, U. E., Umeyor, I. C., & Okoye, F. B. (2023). Profiling the effects of microwave-assisted and soxhlet extraction techniques on the physicochemical attributes of Moringa oleifera seed oil and proteins. Oil Crop Science, 8(1), 16-26.

Nelson, D.L. & Cox, M.M. (2017) Lehninger Principles of Biochemistry. 7th Edition, W.H. Freeman, New York, 1328.

Nguyen, T. H., & Le, V. V. M. (2019). Effects of technological parameters of ultrasonic treatment on the protein extraction yield from defatted peanut meal. *International Food Research Journal, 26(3)*, 1079-1085.

Özer, P., Görgüç, A., & Yılmaz, F. M. (2018). Mikrodalga teknolojisinin bitkisel dokulardan makro ve mikro bileşenlerin özütlenmesinde kullanımı. *Gıda, 43(5)*, 765-775.

Özyurt, V. H., Tetik, I., & Ötleş, S. (2021). Influence of process conditions on ultrasound-assisted protein extraction from cold-pressed tomato seed waste. *Journal of Food Processing and Preservation, 45(12)*, e16079.

Pai, S., Hebbar, A., & Selvaraj, S. (2022). A critical look at challenges and future scopes of bioactive compounds and their incorporations in the food, energy, and pharmaceutical sector. Environmental Science and Pollution Research, 29(24), 35518-35541.

Pan-Utai, W., Pantoa, T., Roytrakul, S., Praiboon, J., Kosawatpat, P., Tamtin, M., & Thongdang, B. (2022). Ultrasound-assisted extraction and antioxidant potential of valuable protein from *Ulva rigida* macroalgae. *Life, 13(1)*, 86.

Pastrana-Pastrana, Á. J., Rodríguez-Herrera, R., Solanilla-Duque, J. F., & Flores-Gallegos, A. C. (2025). Plant proteins, insects, edible mushrooms and algae: More sustainable alternatives to conventional animal protein. *Journal of Future Foods, 5(3)*, 248-256.

Perović, M. N., Jugović, Z. D. K., & Antov, M. G. (2020). Improved recovery of protein from soy grit by enzyme-assisted alkaline extraction. *Journal of Food Engineering, 276*, 109894.

Pulluk, E. (2021). Beslenmede Alternatif Protein Kaynakları. *Gastronomi Araştırmaları, (92-102)*.

Rather, J. A., Akhter, N., Punoo, H. A., Haddad, M., Ghnamat, S. A., Manzoor, N., Goksen, G., & Dar, B. N. (2025). Sustainable algal proteins, novel extraction techniques and applications in the bakery, dairy and pharmaceutical industries: A comprehensive review. *Food Chemistry, 465(2)*.

Sakkas, H., Bozidis, P., Touzios, C., Kolios, D., Athanasiou, G., Athanasopoulou, E., Gerou, I., & Gartzonika, C. (2020). Nutritional status and the influence of the vegan diet on the gut microbiota and human health. *Medicina*, *56*(2), 88.

Saldamlı, İ. (2015). *Gıda Kimyası (7. baskı)*. Hacettepe Üniversitesi Yayınları.

Saldamlı, İ., & Temiz, A. (2017). Amino Asitler, Peptitler, Proteinler. *Gıda Kimyası, 227-317*. Hacettepe Üniversitesi Yayınları, Ankara, Türkiye.

Shabir, I., Dash, K.K., Dar, A.H., Pandey, V.K., Fayaz, U., Srivastava, S., Nisha, R. (2023). Carbon footprints evaluation for sustainable food processing system development: A comprehensive review. Future Foods, 7, 100215. https://doi.org/10.1016/j.fufo.2023.100215

Statista. (2022). *Global plant protein market value from 2022 to 2027*. https://www.statista.com/statistics/658619/global-plant-protein-market-value/ (Erişim Tarihi: 18.05.2025)

Şensu, E., Yücetepe, A., & Özçelik, B. (2024). Alternatif protein kaynağı olarak makroalgler ve makroalgal proteinlerin ekstraksiyonu: Bir derleme çalışması. *Gıda, 49(6)*, 1175-1189.

Taha, A., Hu, H., Lu, Q., & Pan, S. (2019). Effects of ultrasonic -assisted extraction on the physicochemical properties of different walnut proteins. *Molecules, 24(23)*, 4260.

Tomé, L. I., Baião, V., da Silva, W., & Brett, C. M. (2018). Deep eutectic solvents for the production and application of new materials. *Applied Materials Today*, *10*, 30-50.

Varghese, T., & Pare, A. (2019). Effect of microwave-assisted extraction on yield and protein characteristics of soymilk. *Journal of Food Engineering, 262*, 92-99.

Vásquez, V., Martínez, R., & Bernal, C. (2019). Enzyme-assisted extraction of proteins from the seaweeds *Macrocystis pyrifera* and *Chondracanthus chamissoi*: Characterization of the extracts and their bioactive potential. *Journal of Applied Phycology, 31*, 1999-2010.

Wen, L., Álvarez, C., Zhang, Z., Poojary, M. M., Lund, M. N., Sun, D. W., & Tiwari, B. K. (2021). Optimisation and characterisation of protein extraction from coffee silverskin assisted by ultrasound or microwave techniques. *Biomass Conversion and Biorefinery, 11*, 1575-1585.

Xu, X., Sharma, P., Shu, S., Lin, T.-S., Ciais, P., Tubiello, F.N., Smith, P., Campbell, N., Jain, A.K. (2021). Global greenhouse gas emissions from animal-based foods are twice those of plant-based foods. Nature Food, 2, 724–732. https://doi.org/10.1038/s43016-021-00358-x

Zengin, K., Ozel, B., Oztop, M. H., & Alpas, H. (2024). Effects of high hydrostatic pressure on the functional properties of soy protein isolate. *Journal of Food Process Engineering, 47(3)*, e14578.

Zhang, X., Zhang, Z., Shen, A., Zhang, T., Jiang, L., El-Seedi, H., Zhang, G., & Sui, X. (2024). Legumes as an alternative protein source in plant-based foods: Applications, challenges, and strategies. Current Research in Food Science, 9, 100876.

Zhao, L., Cheng, X., Song, X., Ouyang, D., Wang, J., Wu, Q., & Jia, J. (2023). Ultrasonic-assisted extraction of mulberry leaf protein: Kinetic model, structural and functional properties, in vitro digestion. *Process Biochemistry, 128*, 12-21.

Zhou, J., Liu, J., Lin, D., Gao, G., Wang, H., Guo, J., ... & Ke, L. (2017). Boiling-induced nanoparticles and their constitutive proteins from Isatis indigotica Fort. root decoction: Purification and identification. Journal of traditional and complementary medicine, 7(2), 178-187.

Zhou, Y., Wu, W., Zhang, N., Soladoye, O. P., Zhang, Y., & Fu, Y. (2022). Deep eutectic solvents as new media for green extraction of food proteins: Opportunity and challenges. *Food Research International*, *161*, 111842.