



**T.C.
HARRAN ÜNİVERSİTESİ
LİSANSÜSTÜ EĞİTİM ENSTİTÜSÜ**

DOKTORA TEZİ

**FARKLI EKSTRAKSİYON YÖNTEMLERİ VE MODİFİKASYON
UYGULAMALARININ KAYISI ÇEKİRDEĞİ PROTEİNİNİN
FONKSİYONEL ÖZELLİKLERİ ÜZERİNE ETKİSİ**

GÜLBAHAR ALTUN

GIDA MÜHENDİSLİĞİ

**Şanlıurfa
2025**



**T.C.
HARRAN ÜNİVERSİTESİ
LİSANSÜSTÜ EĞİTİM ENSTİTÜSÜ**

DOKTORA TEZİ

**FARKLI EKSTRAKSİYON YÖNTEMLERİ VE MODİFİKASYON
UYGULAMALARININ KAYISI ÇEKİRDEĞİ PROTEİNİNİN
FONKSİYONEL ÖZELLİKLERİ ÜZERİNE ETKİSİ**

GÜLBAHAR ALTUN

**GIDA MÜHENDİSLİĞİ
Tez Danışmanı: Prof. Dr. MEHMET KARAASLAN**

**Şanlıurfa
2025**

TEŞEKKÜR

Doktora tezimi hazırlarken bilgi, tecrübe ve desteğiyle bana rehberlik eden, çalışmamın her aşamasında yol gösterici olan değerli danışmanım Sayın Prof. Dr. Mehmet KARAASLAN' a en içten teşekkürlerimi sunarım. Bilimsel bakış açısı, yönlendirmeleri ve yapıcı eleştirileri, bu çalışmanın şekillenmesinde büyük rol oynamıştır.

Ayrıca bu süreçte tezimin her köşesinde izi olan bir diğer kıymetli hocam Doç. Dr. Bülent BAŞYİĞİT' e, tez izleme komitemde yer alan Sayın Prof. Dr. Hasan VARDİN' e, Doç. Dr. Fatih Mehmet YILMAZ' a ve Dr. Öğr. Üyesi Hamza ALAŞALVAR' a yapıcı katkıları ve önerileri için teşekkür ederim.

Laboratuvar çalışmaları sırasında her türlü desteği sağlayan ve tüm araştırma sürecinde yanımda olan değerli çalışma arkadaşlarım Dr. Zana KARABOĞA, Melike YÜCETEPE, ve Merve AKALAN' a minnettarım.

Bu uzun ve zorlu süreçte manevi desteğini hiçbir zaman esirgemeyen, sabırla yanımda olan sevgili aileme sonsuz teşekkür ederim. Özellikle çok değerli annem Sudet AKYAR' a, bugünlerimi görmesini istediğim babam Hüsnü AKYAR' a ve kıymetli eşim Ali ALTUN desteğiniz ve inancınız olmasaydı bu yolculuk tamamlanamazdı.

Bu çalışma, Harran Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projeleri Koordinasyon Birimi (HÜBAK) tarafından sağlanan proje desteği ile gerçekleştirilmiştir, sağladıkları katkılardan dolayı teşekkür ederim.

Son olarak, bu süreçte emeği geçen, katkıda bulunan, destek olan herkese şükranlarımı sunarım.

İÇİNDEKİLER

ÖZET	i
ABSTRACT	ii
ŞEKİLLER DİZİNİ	iii
ÇİZELGELER DİZİNİ	iv
SİMGELER	v
KISALTMALAR	vi
1. GİRİŞ	1
2. ÖNCEKİ ÇALIŞMALAR	5
3. GEREÇ VE YÖNTEM	21
3.1. Gereç	21
3.2. Yöntem	21
3.2.1. Kayısı çekirdeğinden protein ekstraksiyonu	22
3.2.2. Püskürtmeli kurutucu koşulları	25
3.2.3. Protein modifikasyonu	26
3.2.4. Hidrojel üretimi	26
3.2.5. Analizler	27
3.2.5.1. Proteinlerin ekstraksiyon verimi	27
3.2.5.2. Nem miktarı	28
3.2.5.3. Kül miktarı	28
3.2.5.4. Su aktivitesi (aw)	28
3.2.5.5. Yağ miktarı	29
3.2.5.6. Toplam protein miktarı	29
3.2.5.7. Yüzey renk analizi	30
3.2.5.8. Köpük oluşturma kapasitesi ve stabilitesi	30
3.2.5.9. Yağ bağlama kapasitesi	30
3.2.5.10. Emülsiyon özellikleri	31
3.2.5.10.1. Emülsiyonların hazırlanması	31
3.2.5.10.2. Emülsiyon aktivitesi ve stabilitesi	31
3.2.5.10.3. Santrifüj çöktürme hızı	32
3.2.5.10.4. Stabilite katsayısı	32
3.2.5.11. Fourier dönüşümü kızılötesi spektroskopisi (FTIR)	33
3.2.5.12. Taramalı Elektron mikroskobu (SEM)	33
3.2.5.13. Sodyum Dodesil Sülfat Poliakrilamid Jel Elektroforezi (SDS-PAGE)	33
3.2.6. Hidrojel analizleri	34
3.2.6.1. Su tutma kapasitesi	34
3.2.6.2. Şişme oranı	34
3.2.6.3. Protein sızıntı miktarı	34
3.2.6.4. Tekstür profili	35
3.2.6.5. Hidrojellerin reoloji davranışları	35
3.2.6.6. Fenolik salınımı	35
3.2.7. İstatistiksel analizler	36
4. BULGULAR	37
4.1. Kayısı Çekirdeği Protein Ekstraksiyon Verimi	37
4.2. Farklı ekstraksiyon teknikleri ile üretilen proteinlerin kimyasal bileşeni	38
4.3. Proteinlerin yağ bağlama ve emülsiyon özellikleri	38
4.4. Protein modifikasyonunun deneme sonuçları	39
4.5. Kayısı çekirdeği proteininin fonksiyonel özellikleri	41
4.5.1. KÇP ve modifiye KÇP'nin köpük oluşturma kapasitesi ve stabilite indeksi	41
4.5.2. Modifiye edilmiş proteinlerin yağ bağlama ve emülsiyon özellikleri	42
4.6. Kayısı çekirdeği proteini ve modifiye edilmiş proteinlerin SEM görüntüleri	43
4.7. Sodyum Dodesil Sülfat Poliakrilamid Jel Elektroforezi (SDS-PAGE)	44
4.8. Fourier dönüşümü kızılötesi spektroskopisi (FT-IR)	45

4.9. Hidrojel analizleri	46
4.9.1. Hidrojel örneklerinin renk özellikleri	46
4.9.2. Hidrojellerin fonksiyonel özellikleri	46
4.9.3. Hidrojellerin SEM görüntüleri	47
4.9.4. Hidrojellerin tekstürel özellikleri	49
4.9.5. Hidrojellerin reolojik özellikleri	51
4.9.6. Fenolik Salınım	53
5. TARTIŞMA	55
5.1. Protein ekstraksiyon verimi	55
5.2. Farklı ekstraksiyon teknikleri ile üretilen proteinlerin fonksiyonel özellikleri	56
5.3. Protein modifikasyon deneme deseni	60
5.4. Modifikasyon sonrası kayısı çekirdeği proteininin fonksiyonel ve yapısal özellikleri	61
5.5. Hidrojellerin fonksiyonel ve yapısal özellikleri	68
6. SONUÇLAR	77
7. ÖNERİLER	79
KAYNAKLAR	80
ÖZGEÇMİŞ	96



ÖZET

DOKTORA TEZİ

FARKLI EKSTRAKSİYON YÖNTEMLERİ VE MODİFİKASYON UYGULAMALARININ KAYISI ÇEKİRDEĞİ PROTEİNİNİN FONKSİYONEL ÖZELLİKLERİ ÜZERİNE ETKİSİ

GÜLBAHAR ALTUN

HARRAN ÜNİVERSİTESİ
LİSANSÜSTÜ EĞİTİM ENSTİTÜSÜ
GIDA MÜHENDİSLİĞİ

Tez Danışman: Prof. Dr. MEHMET KARAASLAN
Yıl: 2025, Sayfa : 96

Bitkisel kaynaklı proteinler hem sürdürülebilir hem de minimum düzeyde çevresel etkiye sahip olma özelliğinden dolayı alternatif bir kaynak olarak görülmektedir. Ancak sahip olduğu düşük köpürme ve emülsiyon özelliklerinden dolayı gıda endüstrisinde kullanımı sınırlıdır. Bu çalışmada kayısı çekirdeği proteininin (KÇP) fonksiyonel özelliklerini geliştirmek için farklı ekstraksiyon ve modifikasyon tekniklerinin kullanılması umut verici bir yaklaşımdır. Çalışmada, alkali ekstraksiyon, mikrodalga destekli alkali ekstraksiyon ve ultrason destekli alkali ekstraksiyon teknikleri kullanılarak KÇP'nin fonksiyonel özellikleri ile verim değerleri belirlenmiştir. Üretilen KÇP'nin modifikasyonu için klasik ısıtma (KI), mikrodalga ısıtma (MI) ve ultraviyole radyasyon (UV) teknikleri ile optimum koşullar sistematik olarak tespit edilmiştir. Uygulamaların protein bağ yapıları üzerindeki olası etki mekanizmaları FTIR spektroskopisi ile incelenmiştir. Modifiye edilen KÇP'nin tekno-fonksiyonel özelliklerinde, yani yağ bağlama kapasitesinde, köpürme ve emülsifikasyon davranışlarında meydana gelen olumlu yönde değişiklikler tespit edilmiştir. Uygulanan modifikasyon teknikleri arasında farklılıklar olduğu ve en gelişmiş özelliklerin mikrodalga ısıtma uygulanan örneklerde gözlemlenmiştir. Ayrıca KÇP'nin hidrojel sistemlerine dahil edilmesi sağlanmıştır. Doğal hidrojel üretimleri pektin ile gerçekleştirilmiştir. Üretilen protein-pektin hidrojelleri üstün su tutma ve şişme kapasitesi yeteneği göstermişlerdir. Pektinsiz üretilen hidrojellerin ise daha düşük fonksiyonel özellikler gösterdiği belirlenmiştir. Üç boyutlu hidrojellerin üstün yetenekleri SEM görüntüleri ile doğrulanmıştır. Ayrıca bu işlevsel sonuçlar hidrojellerin tekstürel özellikler (sertlik, esneklik, sakızimsılık ve çiğnenebilirlik) ile orantılı olduğu belirlenmiştir. Modifikasyonun KÇP bazlı hidrojelleri biyoaktif bileşik dağıtım sistemleri için kullanışlı hale getirmiştir. Elde edilen veriler ışığında KÇP uygun ekstraksiyon ve modifikasyon teknikleri ile fonksiyonel özelliklerinin geliştirilebileceği ve KÇP'nin pektinle birlikte hidrojel üretiminde başarılı bir şekilde kullanılabileceğini göstermiştir. Bu çalışma, sürdürülebilir biyomateryal geliştirilmesi ve gıda endüstrisinde yeni fonksiyonel bileşenlerin tasarımı açısından önemli bir potansiyel sunmaktadır.

ANAHTAR KELİMELE: Kayısı çekirdeği proteini, Protein ekstraksiyonu, Protein modifikasyonu, Hidrojel

ABSTRACT

DOCTORATE THESIS

THE EFFECT OF DIFFERENT EXTRACTION METHODS AND PRE—TREATMENT APPLICATIONS ON THE FUNCTIONAL PROPERTIES OF APRICOT SEED PROTEIN

GÜLBAHAR ALTUN

**HARRAN UNIVERSITY
INSTITUTE OF GRADUATE EDUCATION
FOOD ENGINEER**

Thesis Supervisor: Prof. Dr. MEHMET KARAASLAN

Year: 2025, Page : 96

Plant-based proteins are considered promising alternatives to animal-derived proteins due to their sustainability and minimal environmental impact. However, their application in the food industry is limited by inherently poor foaming and emulsifying properties. In this study, various extraction and modification techniques were investigated to improve the functional properties of apricot seed protein (ASP). ASP was extracted using three methods: conventional alkaline extraction, microwave-assisted alkaline extraction, and ultrasound-assisted alkaline extraction. The extraction yield and functional properties of ASP obtained by each method were evaluated. Subsequently, the extracted proteins were modified using conventional heating, microwave heating, and ultraviolet radiation to determine optimal modification conditions. The potential effects of each modification method on the protein's structural bonds were examined via Fourier-transform infrared spectroscopy (FTIR). Functional properties such as oil holding capacity, foaming ability, and emulsifying behavior significantly improved after modification, with microwave heating (MH) yielding the most enhanced characteristics. Furthermore, ASP was incorporated into hydrogel systems. Natural hydrogels were produced using pectin as a biopolymer. The resulting ASP–pectin hydrogels demonstrated excellent water retention and swelling capacity, while hydrogels produced without pectin exhibited inferior functional properties. The three-dimensional network structures of the hydrogels were confirmed through scanning electron microscopy (SEM). In addition, a strong correlation was observed between the hydrogels' functional performance and their textural attributes, including hardness, elasticity, cohesiveness, and chewiness. These findings demonstrate that ASP can be functionally enhanced through appropriate extraction and modification techniques and successfully utilized in the production of bio-based hydrogels in combination with pectin. This study offers a valuable contribution to the development of sustainable biomaterials and the design of novel functional ingredients for the food industry.

KEYWORDS: Apricot seed protein, Protein extraction, Protein modification, Hydrogels

ŞEKİLLER DİZİNİ

Şekil 2.1.	Protein ekstraksiyon teknikleri	7
Şekil 2.2.	Ultrason cihazı çalışma prensibi	10
Şekil 2.3.	Mikrodalga ısıtma cihazı çalışma prensibi	12
Şekil 2.4.	Ultraviyole radyasyon frekans aralığı	15
Şekil 2.5.	Hidrojellerin sınıflandırılması	18
Şekil 3.1.	Tez çalışması akış şeması	22
Şekil 3.2.	Hidrojel üretimi	27
Şekil 4.1.	KÇP ve modifiye edilmiş KÇP'nin SEM görüntüleri	44
Şekil 4.2.	KÇP ve modifiye edilmiş KÇP'nin SDS-page	45
Şekil 4.3.	KÇP ve modifiye edilmiş KÇP'nin FT-IR spektrumları	46
Şekil 4.4.	KÇP ve modifiye edilmiş KÇP kontrol hidrojellerin SEM görüntüleri	48
Şekil 4.5.	KÇP ve modifiye edilmiş KÇP pektin hidrojellerin SEM görüntüleri	49
Şekil 4.6.	KÇP ve modifiye edilmiş KÇP'nin kontrol hidrojellerin reolojik grafikleri	52
Şekil 4.7.	KÇP ve modifiye KÇP'nin pektinli hidrojellerin reolojik grafikleri	53
Şekil 4.8.	KÇP ve modifiye KÇP hidrojellerin nar kabuğu fenoliği salınım grafikleri	54



ÇİZELGELER DİZİNİ

Çizelge 2.1.	Protein ekstraksiyonu literatür çalışmaları	8
Çizelge 2.2.	Hidrojel üretimine dair yapılan literatür çalışmaları	19
Çizelge 3.1.	Elemental analiz cihazının çalışma koşulları	29
Çizelge 4.1.	Protein ekstraksiyon teknikleri ve verim değerleri	37
Çizelge 4.2.	Püskürterek kurutma proteinlerin kimyasal bileşimi	38
Çizelge 4.3.	Proteinlerin yağ bağlama ve emülsiyon özellikleri	38
Çizelge 4.4.	KÇP modifikasyon denemesinin köpük oluşturma kapasitesi ve 10. ve 30. dk köpük oluşturma stabiliteleri	39
Çizelge 4.5.	KÇP modifikasyon denemesini yağ bağlama kapasitesi ve emülsiyon özellikleri	40
Çizelge 4.6.	KÇP ve modifiye KÇP'nin köpük oluşturma kapasitesi (%)	41
Çizelge 4.7.	KÇP ve modifiye KÇP'nin 30 dk köpük oluşturma stabiliteleri	42
Çizelge 4.8.	KÇP ve modifiye KÇP'nin 60 dk köpük oluşturma stabiliteleri	42
Çizelge 4.9.	KÇP ve modifiye KÇP'nin emülsiyon özellikleri	43
Çizelge 4.10.	KÇP ve modifiye KÇP hidrojel renk değerleri	46
Çizelge 4.11.	KÇP ve modifiye KÇP hidrojellerin fonksiyonel özellikleri	47
Çizelge 4.12.	KÇP ve modifiye KÇP üretilen hidrojellerin tekstürel parametre verileri	49
Çizelge 4.13.	KÇP ve modifiye KÇP'den üretilen hidrojellerin tekstürel parametre verileri	50

SİMGELER

%	Yüzde
&	Ve
C	Derece
g	Gram



KISALTMALAR

AÇ	Aseton ile çöktürme
AE	Alkali ekstraksiyon
AE-H	Alkali ekstraksiyon protein hidrojel
AE-KI	Alkali ekstraksiyon proteine klasik ısıtma uygulaması
AE-KI-H	Alkali ekstraksiyon-klasik ısıtma protein hidrojel
AE-KI-PH	Alkali ekstraksiyon-klasik ısıtma protein-pektin hidrojel
AE-MI	Alkali ekstraksiyon proteine mikrodalga ısıtma uygulaması
AE-MI-H	Alkali ekstraksiyon-mikrodalga ısıtma protein hidrojel
AE-UV	Alkali ekstraksiyon proteine ultraviyole ısıtma uygulaması
AE-UV-H	Alkali ekstraksiyon-ultraviyole radyasyon protein hidrojel
AE-UV-PH	Alkali ekstraksiyon-ultraviyole radyasyon protein-pektin hidrojel
ASE	Asidik ekstraksiyon
dk	Dakika
EAI	Emülsiyon aktivite indeksi
FTIR	Fourier dönüşümü kızılötesi spektroskopisi
GAE	Galik Asit Eşdeğeri
HCl	Hydrochloric acid
KÇP	Kayısı çekirdeği proteini
KI	Klasik ısıtma
MAE	Mikrodalga Destekli Ekstraksiyon
ME-KI-H	Mikrodalga destekli alkali ekstraksiyon-klasik ısıtma protein hidrojel
ME-KI-PH	Mikrodalga destekli alkali ekstraksiyon-klasik ısıtma protein-pektin hidrojel
ME-MI-PH	Mikrodalga destekli alkali ekstraksiyon-mikrodalga ısıtma protein pektin hidrojel
ME-UV-H	Mikrodalga destekli alkali ekstraksiyon-ultraviyole radyasyon protein hidrojel
ME-UV-PH	Mikrodalga destekli alkali ekstraksiyon-ultraviyole radyasyon protein-pektin hidrojel
MI	Mikrodalga ısıtma
PK	Püskürterek kurutma
SÇH	Santrifüj çöktürme hızı
SDS-PAGE	Sodyum Dodesil Sülfat Poliakrilamid Jel Elektroforezi
SEM	Taramalı Elektron Mikroskopu
SK	Stabilite katsayısı
STK	Su tutma kapasitesi
TCA-AÇ	Trikloroasetik-aseton ile çöktürme
UE-KI-PH	Ultrason destekli alkali ekstraksiyon-klasik ısıtma protein-pektin hidrojel

UE-MI-PH	Ultrason destekli alkali ekstraksiyon-mikrodalga ısıtma protein-pektin hidrojel
UE-UV-H	Ultrason destekli alkali ekstraksiyon-ultraviyole radyasyon protein hidrojel
USAE	Ultrason destekli asidik ekstraksiyon
uv	ultraviyole



1. GİRİŞ

Son yıllarda hızlı bir şekilde artan dünya nüfusu ile birlikte gıda ihtiyacının karşılanmasında zorluklar karşımıza çıkmaktadır. Özellikle büyüme, hücrelerin onarılması, yeni hücrelerin üretilmesi ve sağlıklı bir yaşam için ihtiyaç duyulan protein kaynakları zamanla azalmaktadır. Bu sebepten dolayı yeni protein kaynaklarına duyulan ihtiyaç artmaktadır. Protein ihtiyacı genellikle hayvansal kaynaklardan karşılanmaktadır. Fakat son zamanlarda hayvansal kaynaklı ürünlerin tüketimiyle ortaya çıkan hastalıkların ve obezitenin artması ile bitkisel kaynaklı proteinlere duyulan ihtiyaç artış göstermektedir (Asgar vd., 2010). Ayrıca dünyada vejetaryen beslenme alışkanlığının artması ve dini hassasiyetlerden dolayı bitkisel proteine olan yönelim artmaktadır. Hayvansal protein kaynakları istenilen fonksiyonel özelliklere sahip olması ve yüksek protein içermesi dışında, sürekli tüketildiğinde kalp ve damar hastalıklarına neden olmaktadır (Simopoulos, 2002). Bunun nedeni ise hayvansal kaynakların içerdiği doymuş yağ asitleri ve yüksek kolesterol içeriğidir (Salter, 2013). Buna ek olarak, hayvansal kaynaklı protein üretimi için harcanan enerji miktarının daha fazla olması ve hayvansal üretim atıkları çevreye olumsuz etkisinin bulunması bitkisel kaynaklı proteinlere ilginin artmasına neden olmuştur. Bu bitkisel kaynaklı proteinler bitki yapraklarından, bitki köklerinden, meyve-sebze dokularından ve özellikle çekirdeklerinden elde edilebilmektedir.

Gıda endüstrisinde işlenen meyve ve sebzelerin çekirdekleri atık olarak ortaya çıkmaktadır. Gıda atık maddeleri çevre kirliliğine sebep olmakta ve bunların uzaklaştırılması ekonomik kayıpların yaşanmasına neden olmaktadır. Bu olumsuzlukları gidermek ve ayrıca artan dünya nüfusunun besin ihtiyacını karşılamak amacıyla bu atık maddeler değerlendirilmektedir. Bu yaklaşıma paralel olarak vişne çekirdeği (Başyigit vd., 2022), domates çekirdeği (Sarkar vd., 2016) ve susam kepeği (Görgüç vd., 2019) gibi protein açısından zengin materyallerin bu alandaki potansiyeli önceki çalışmalarda ortaya konmuştur. Yapılan çalışmalarda görüldüğü gibi bitkisel protein elde etmede gıda işleme yan ürünleri büyük önem arz etmektedir.

Kayısı (*Prunus armeniaca* L.) *Prunus* türlerinden Rosaceae familyasında Rosales grubu içinde sınıflandırılmaktadır. Türkiye, Mısır, Pakistan, ABD ve birçok Akdeniz ülkesinde yetiştirilmektedir. Türkiye’de en çok Malatya, Mersin ve Iğdır illerinde üretilmektedir. Türkiye İstatistik Kurumu verilerine göre yaklaşık 800.000 ton kayısı üretimi yapılmış, bunun 72 000 tonu taze kayısı ve 71 000 bin ton ise kuru

kayısı olarak ihraç edildiği bildirilmiştir (TÜİK, 2024). Ülkemiz kayısı meyvesinde olduğu gibi çekirdeği açısından da büyük bir potansiyele sahiptir. Kayısı çekirdeğinin kabuk kısmı aktif karbon üretiminde, kompozit malzeme ve yakıt olarak kullanılmaktadır (Koby vd., 2005). Kabuk kısmından ayrılmış iç çekirdek ise gıda sanayinde, kozmetik, ilaç ve biyolojik ürünler üretiminde kullanılmaktadır (El-Hajjaji vd., 2024).

Kayısı popüler bir endüstriyel meyvedir ve çeşitli ürünlere (kuru kayısı, reçel, konserve, meyve suyu vb.) işlenir (Malgarejo vd., 2014). Bu meyvenin işlenmesi, tohum (çekirdek), posa, kabuk ve yapraklar dahil olmak üzere çeşitli yan ürünler üretir. Bu ürünler fenolik antioksidanlar, flavonoidler, karotenoidler ve diğer fonksiyonel grupları içerir. Ancak meyvenin çekirdeğindeki makromoleküller (yağ, protein ve karbonhidrat) bilimsel literatürde ve sektörel uygulamalarda daha fazla merak uyandırmaktadır (Munekata vd., 2023). Bu spesifik yapıların geri kazanılmasının çevre dostu bir yaklaşım olduğu ve potansiyel olarak katma değer yaratacağı açıktır. Tüm bu vurgulanan noktalar nedeniyle kayısı çekirdeğinden bitkisel protein elde etmek sürdürülebilir bir yaklaşım gibi görünmektedir. Konuyla ilgili bilimsel literatürde çalışmalar yapılmış ve devam etmektedir (Rampáčková vd., 2021). Kayısı proteinlerinin ekstraksiyonun da proses verimini arttırmak için hala daha ileri araştırmalara ihtiyaç vardır. Ayrıca proteinlerin bu tür bitki materyallerinden ekstrakte edilmesi amaçlanan hedeflere ulaşmak için önemli bir adımdır.

Meyve-sebze çekirdeklerinden protein ekstraksiyonu genellikle alkali ekstraksiyon ve tuzla çöktürme işlemleri ile yapılmaktadır. Fakat bu yöntemler uzun sürede gerçekleşmekte ve yeterli saflıkta protein elde edilememektedir. Bu nedenle günümüzde protein üretimini ve verimini artırmak için birçok ekstraksiyon yöntemi geliştirilmiştir. Enzim, mikrodalga, ultrason, yüksek basınç gibi işlemler ile protein ekstraksiyonu yapılabilmektedir. Bu teknikler ile bitki hücre duvarı yıkılarak protein ekstraksiyon işlemi kısa sürede, yüksek verimde ve saflıkta gerçekleşmektedir. Protein ekstraksiyonlarının yanı sıra elde edilen proteinlerin fonksiyonel özellikleri de önemli bir faktördür. Gıda endüstrisinde bu amaçla birçok ön işlem (modifikasyon) kullanılarak proteinlerin fonksiyonel özellikleri geliştirilmesi sağlanmaktadır. Modifikasyon uygulamalarında yaygın olarak klasik ısıtma, mikrodalga ve ultraviyole uygulamaları kullanılmaktadır. Günümüzde mikrodalga kullanımı gıda endüstrisinde ürün özelliklerinin geliştirilmesi ve kurutma amacıyla tercih edilmektedir. Ayrıca ürün verimliliğini artırarak işlem süresini kısalttığı belirtilmiştir. Mikrodalga uygulamaları moleküller arasında oluşturduğu sürtünme

kuvveti ile ürün verimini ve saflığını artırarak protein yapısında olumlu değişimler meydana getirmektedir. Mikrodalga uygulamaları ile fonksiyonel özelliklerin geliştirilmesi için yüksek mikrodalga gücünde çalışılması gerektiği birçok çalışmada belirtilmiştir (Li vd., 2018). Diğer bir modifikasyon uygulaması olan ultraviyole radyasyon ise proteinlerin yapısında bulunan tirozin ve triptofan gibi ışığa duyarlı olan aminoasitler üzerinde modifikasyona neden olmaktadır (Reid vd., 2021). Ayrıca proteinlerin bağlanma modelleri üzerine etki ederek fonksiyonel özellikler üzerinde olumlu etki sergilemektedir. Ayrıca proteinlerin bitki materyallerinden ekstrakte edilmesi ve modifikasyon uygulamaları ile amaçlanan hedeflere ulaşmak tam olarak yeterli değildir. Bunları çeşitli sistemlere (örn. gıda, tıbbi ve farmasötik uygulamalar) dahil etmek proteinlerin etkin bir şekilde değerlendirilmesi için çok önemlidir.

Hidrojeller hidrofilik yapıya sahip üç boyutlu polimerik ağlardır. Bu özel sistemler, önemli miktarda suyu yapıları içerisinde tutar ve yapısal bütünlüğü korurken şişer. Hidrojeller, basınç, glikoz, pH, ışık, sıcaklık, iyonik güç vb. gibi çevresel uyaranlara yanıt verme becerisine sahip oldukları için akıllı sistemler olarak bilinir (Thivya vd., 2022). Vurgulanan karakteristik özellikleri nedeniyle gıdadan ilaca kadar çok yönlü bir kullanım alanına sahiptirler. Hidrojel sistemleri gıda alanında belirli uygulamalara hizmet etmektedir. Bu sistemleri biyosensör şeklinde kullanarak balık tazeliğini test etmede son derece etkili olduğu (Luo vd., 2021) ve başka bir çalışmada ise hidrojellerin emici materyaller olarak faydalı etkisi gıda paketlenme teknolojisinde de kendini göstermektedir (Batista vd., 2019). Ayrıca biyoaktif bileşiklerin hapsedilmesini içeren kapsülleme işlemleri için de ideal adaylardır. Hidrojeller, fenoliklerin ve aroma bileşiklerinin kontrollü-sürekli bir şekilde salınmasını sağlayacak şekilde tasarlanabilmektedir (Ćorković vd., 2021). Hidrojeller doğalarına göre iki ana türe ayrılır: sentetik ve doğal hidrojeller ((Rather vd., 2022) Sentetik hidrojel tasarımında kullanılan yaygın malzemeler poli(akrilamid) veya poli(sodyum akrilat), polietilen glikol (PEG), poli (hidroksietil metakrilat), polivinil alkol (PVA) ve poli(N-izopropilakrilamid) (PNIPAAm)'dir (Mani ve Bhandari, 2022; Ahmad vd, 2022). Bu malzemelerin varlığında oluşturulan hidrojel sistemleri, mekanik dayanım, mükemmel su tutma kapasitesi ve şişme davranışı gibi birtakım avantajlara sahiptir (Bucak ve Sahin, 2023; Bajpai ve Singh, 2006). Sentetik hidrojellerin bu arzu edilen doğaları, onları geniş bir uygulama yelpazesinde aranan malzemeler haline getirmektedir. Ancak biyolojik olarak parçalanamaması ve toksik doğaları nedeniyle kullanımları şüphe uyandırmaktadır (Panahi ve Baghban-Salehi, 2019). Bu nedenle biyoyumlu, çevre dostu ve biyolojik olarak parçalanabilen hidrojellerin üretilmesine yönelik girişimler devam etmektedir. Bu amaçla proteinler, karbonhidratlar ve bunların kombinasyonlarını yapı malzemesi

olarak kullanımı yoluyla doğal hidrojellerin oluşturulmasına yönelik bilimsel literatürde büyük çabalar verilmektedir. Bu çabalara yön vermek için protein kaynaklarının etkin değerlendirilmesi ve proteinlerin hidrojel sistemlerinde değerlendirilmesi avantajlı bir yaklaşımdır.

Yapılan çalışmalar doğrultusunda, tez çalışmasının amacı kayısı çekirdeği proteininin tekno-fonksiyonel özelliklerini geliştirmek ve çeşitli sistemlere dahil edilmesini sağlayarak proteine işlevsellik kazandırmaktır. Bu amaçla, bitkisel protein kaynağı olan kayısı çekirdeğinden farklı teknikler kullanılarak protein ekstraksiyonu gerçekleştirilmiştir. Kullanılan teknikler ile en verimli ekstraksiyon yöntemi ve uygulanabilir teknik (alkali, mikrodalga destekli alkali ve ultrason destekli alkali) belirlenmiştir. Üretilen kayısı çekirdeği proteinlerinin karakterizasyonu yapılmıştır. Kayısı çekirdeği proteininin fonksiyonel özelliklerini geliştirmek amacıyla uygulanan klasik ısıtma (KI), mikrodalga ısıtma (MI) ve ultraviyole radyasyon (UV) teknikleri ile ön denemeler yapılmıştır. Bu denemeler ışığında en uygun koşullar belirlenerek modifikasyon tekniklerinin kayısı çekirdeği proteinine etkisi araştırılmıştır. Böylece fonksiyonel özellikleri değiştirilen kayısı çekirdeği proteininin (KÇP) potansiyel kullanımının artırılması değerlendirilmiştir. Ayrıca ekstrakte ve modifiye edilen proteinlerden hidrojel üretimi yapılarak çeşitli sistemlere dahil edilmesinin sağlanması konuları ele alınmıştır.

2. ÖNCEKİ ÇALIŞMALAR

Kayısı meyvesi gıda endüstrisinde meyve suyu ve reçel üretiminde sıkça tercih edilmektedir. Kurutularak ticareti yapılmakta ve ülkemiz kuru kayısı üretiminde birinci sırada yer almaktadır (TÜİK, 2024). Malatya ve Iğdır illerinde yoğun olarak yetişen kayısı meyvesinin işlenmesi sonucunda çekirdekleri atık olarak ortaya çıkmaktadır. Kabuklarından ayrılmış iç çekirdeklerin yüksek oranda yağ, protein, fenolik bileşik, lif, vitamin ve mineral madde içerdiği çalışmalarda belirtilmektedir (Omer vd., 2020). Kuruyemiş, pastacılık ve çeşitli işlenmiş gıdalarda yaygın olarak kullanılmaktadır. İçerdiği yüksek yağ miktarı ile biyodizel ve kozmetik ürünlerinde kullanılarak değerlendirilmektedir. Çekirdekte bulunan 14.1-45.7 g protein miktarı ile gıdaların zenginleştirilmesinde tercih edilebilmektedir (Liu vd., 2012).

Kayısı çekirdeği içerisinde bulundurduğu yüksek yağ, protein, karotenoid ve antioksidan özelliklerinden dolayı birçok çalışmaya konu olmaktadır. Bu amaçla yapılan bir çalışmada Polonya’da yetişen 5 farklı kayısı çeşidinin çekirdeklerinden yağ elde edilip kimyasal ve biyolojik özellikleri incelenmiştir (Stryjecka vd., 2019). Bu doğrultuda elde edilen yağlarda iyot indeksi, sabunlaşma değeri, oksidasyon durumları, içerdikleri yağ asitleri, karotenoid içeriği ve antioksidan aktiviteleri değerlendirilmiştir. Sonuç olarak, kayısı çekirdeklerinin hem diyet hem de kozmetik alanda kullanılabilecek potansiyel bir yağ kaynağı olduğu belirtilmiştir. Kayısı çekirdeği üzerine yapılan başka bir çalışmada ise farklı coğrafi bölgeden (74 çeşit) toplanan kayısıların çekirdeklerindeki yağ içeriği, yağ asidi bileşimi ve biyodizel özellikleri değerlendirilmiştir (Ma vd., 2021). Ayrıca farklı coğrafik bölgelerde yetişen kayısı çekirdeklerinin bileşiminde gözlenen varyasyonlar üzerine etkili olan temel çevresel faktörler incelenmiştir. Sibiryaya kayısı çekirdeklerinin yağ içeriğinin %48-61 olduğunu ve yağ asitlerinin ise sırasıyla en fazla oleik (%54-76), linoleik (%16-38) ve erusik (%3-6) asit olarak belirtilmiştir. Ayrıca kayısı çekirdeğinin biyodizel üretim standartlarını karşıladığı bildirilmiştir.

Meyve-sebze endüstrisinde atık olarak ortaya çıkan kayısı ve kabak çekirdeği gibi ürünler kuruyemiş ve pastacılık sektöründe kullanılmaktadır. Fakat günümüzde kayısı çekirdekleri yeterince değerlendirilmemektedir. Yapılan bir çalışmada kabak ve kayısı çekirdeklerinin yağ asidi kompozisyonları ile biyoaktif özellikleri incelenip gıda endüstrisinde kullanımı değerlendirilmiştir (Yücel vd., 2021). Kayısı ve kabak çekirdeği yağlarının bileşiminde oleik ve linoleik asit tespit edilmiştir. Kayısı ve kabak çekirdeği yağlarının toplam fenolik madde miktarları sırası ile 86.75 ve 123.60

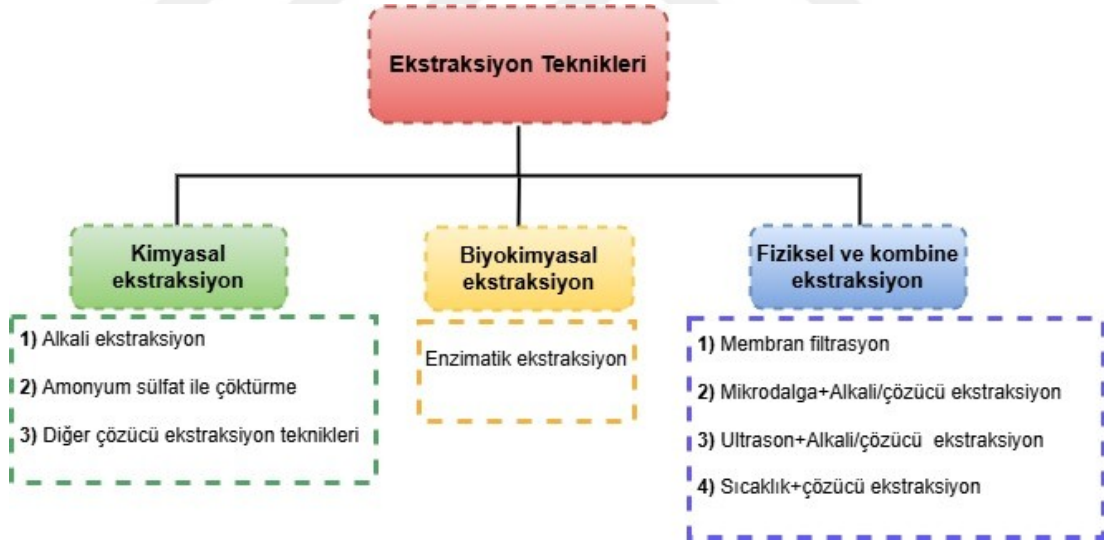
mg GAE/100 g olarak belirlenmiş ve antioksidan aktivite değerleri DPPH metoduna göre kayısı yağında %39.61 kabak çekirdeği yağında ise %46.53 olarak tespit edilmiştir. Sonuçlar doğal antioksidan ürün olarak bu yağların gıda endüstrisinde kullanılabileceğini göstermiştir.

Yüksek yağ içeriğine sahip olan kayısı çekirdeği aynı zamanda önemli miktarda protein içeren bitkisel bir kaynaktır. Bu proteini değerlendirmek için bazı araştırmacılar tarafından bir dizi çalışma gerçekleştirilmiştir. Rampackova vd., 2021’de yaptıkları çalışmada farklı kayısı çekirdeği örneklerinin protein miktarını ve ikincil metabolitleri (fenolik ve flavonidler) araştırmışlardır. Çalışmada protein içeriğinin %14.56 ve %28.77 aralığında olduğu tespit edilmiştir (Rampáčková vd., 2021). Yapılan başka bir çalışmada ise farklı çeşitteki kayısı çekirdeklerinden elde edilen proteinlerin amino asit içerikleri incelenmiştir. Çekirdek proteinlerinde %26.5 glutamik asit, %11.3 aspartik asit ve %10.1 oranında arjinin amino asit içerdiği belirtilmiştir. Bu nedenle kayısı çekirdeğinin günlük diyet ve fonksiyonel gıdalar için besleyici protein kaynağıdır (Yin vd., 2020). Yapılan başka başka bir çalışmada kayısı çekirdeğinde bulunan amigladin acılık maddesinin giderilmesi sırasında amino asitlerin değişimini gözlemlemişlerdir. Farklı pH’ da gerçekleştirilen çalışmada amino asitlerin besinsel değerinin değiştiği ve optimum pH değerinin 5 olduğu belirtilmiştir (Liu vd., 2021).

Sürdürebilir, ucuz ve bitkisel kaynaklı protein üretimini gerçekleştirmek birçok gelişmiş ülke için çok önemlidir. Bu doğrultuda doğada yetişen bitkiler, meyve-sebze atıkları değerlendirmeye alınmıştır. İçeriğinde bulunan proteinin miktarı yanı sıra ekstraksiyon tekniği de büyük öneme sahiptir. Bu teknikler kimyasal, biyokimyasal, fiziksel ve kombine edilmiş teknikler olarak sınıflandırılıp Şekil 2.1’de gösterilmiştir (Fang vd., 2024). Çevre dostu, enerji tüketimi minimum olan ve yüksek verim ile en uygun ekstraksiyon tekniğinin belirlenmesi birçok çalışmanın konusu olmuştur. Ayrıca farklı ekstraksiyon teknikleri ile üretilen proteinlerin fonksiyonel özellikleri de araştırılmıştır. Bu amaçla yapılan bir çalışmada yüksek protein içeriğine sahip olan Caragana Korshinskii Kom. bitkisinden farklı ekstraksiyon tekniği ile protein ekstrakte edilmiştir. Alkali, aseton ve trikoloasetik asit ekstraksiyon yöntemi ile elde edilen proteinlerin fonksiyonel özellikleri karşılaştırılmıştır. Emülsiyon aktivitesinin, yağ-su tutma ve köpük oluşturma kapasitesinin alkali ekstraksiyon tekniğinde daha iyi olduğu belirtilmiştir (Zhong vd., 2012).

Bezelye proteini dünya genelinde çok yaygın olarak kullanılan bitkisel protein

kaynağıdır. Birçok yöntemle işlenme olanağı bulunmuş bezelye proteini alkali ekstraksiyon, misel çökeltme ve tuz çözeltisi ile ekstrakte edilmiştir. Farklı yöntemlerle ekstrakte edilen bezelye proteinin bileşimleri ve yapıları nedeniyle jelleşme özelliklerinde farklılıklar gösterildiği belirtilmiştir (Yang vd., 2021). Bitki bazlı gıdalara olan talebi karşılamak için geliştirilmiş çözünürlük, köpürme ve emülsiyon oluşturma özelliklerine sahip bitki proteinleri gereklidir. Bu amaçla Miranda vd., 2022’de yaptığı çalışmada mercimek proteinini farklı ekstraksiyon teknikleri ile elde etmiş ve fonksiyonel özellikleri incelenmiştir. Alkali ekstraksiyon, ultrason ve enzim destekli ekstraksiyon ile üretilen proteinlerin verimleri tespit edilmiştir. Çalışmada ultrason ve enzim desteği ile protein veriminin alkali ekstraksiyona göre arttığı bildirilmiştir. Ayrıca üretilen proteinlerin köpük oluşturma kapasitesi ve emülsiyon aktivitesinin sırasıyla ultrason, enzim destekli ve alkali ekstraksiyon örneklerinde olduğu tespit edilmiştir. Protein çözünürlüğünün ise ultrason ve enzim destekli ekstraksiyon örneklerinde daha yüksek değere sahip olduğu belirtilmiştir. Böylelikle çalışmada protein ekstraksiyonunun farklı tekniklerle desteklenerek olumlu sonuçlar elde edildiği anlaşılmıştır (Miranda vd 2022).



Şekil 2.1. Protein ekstraksiyon teknikleri

Proteinler doğaları gereği oldukça hassastırlar. Bu nedenle elde edilmesi sırasında ekstraksiyon yöntemine, çözücü ortamına ve uygulanan ön işlemlere göre yapısal değişikliğe uğrayabilirler. Çözücü molekülleri protein molekülleri ile etkileşime girdiğinde protein molekülleri üzerinde bulunan yük etkilenmektedir. Böylece proteinlerin bağlanma ve katlanma modelinde değişimler meydana gelmektedir. Uygulanan ön işlemler ile çözünme kolaylaşmakta ve yapıda değişim meydana gelmektedir. Yapılan bir çalışmada zeytin çekirdeğinde bulunan değerli

bileşenlerin geri kazanımını sağlamak amacıyla ön işlemler uygulanmıştır (Roselló-Soto vd., 2015). Ekstraksiyon işleminden önce uygulanan, vurgulu elektrik alan ve ultrason işlemleri gerçekleştirilmiştir. Yüksek voltajlı elektrik alan enerji girişi (0-109 kJ/kg), farklı pH (2.5-12) ve etanol (%0-50) etkenlerinin ekstraksiyon verimliliği üzerine çalışılmıştır. Ön işlemler sonucunda elde edilen ekstraktların toplam fenolik bileşenleri, antioksidan aktivite, protein ve karotenoid içerikleri tespit edilmiştir. Yüksek voltajlı elektrik alan ön işleminin diğer uygulamalara kıyasla, protein ve fenolik bileşenler üzerinde önemli derecede olumlu etki gösterdiği, pH 12’de yüksek protein içeriğine sahip olduğu belirtilmiştir. Etanol ile ekstraksiyonun en yüksek verimliliği çözücü içerisinde %49 etanol bulunduğu koşullarda sağladığı bildirilmiştir.

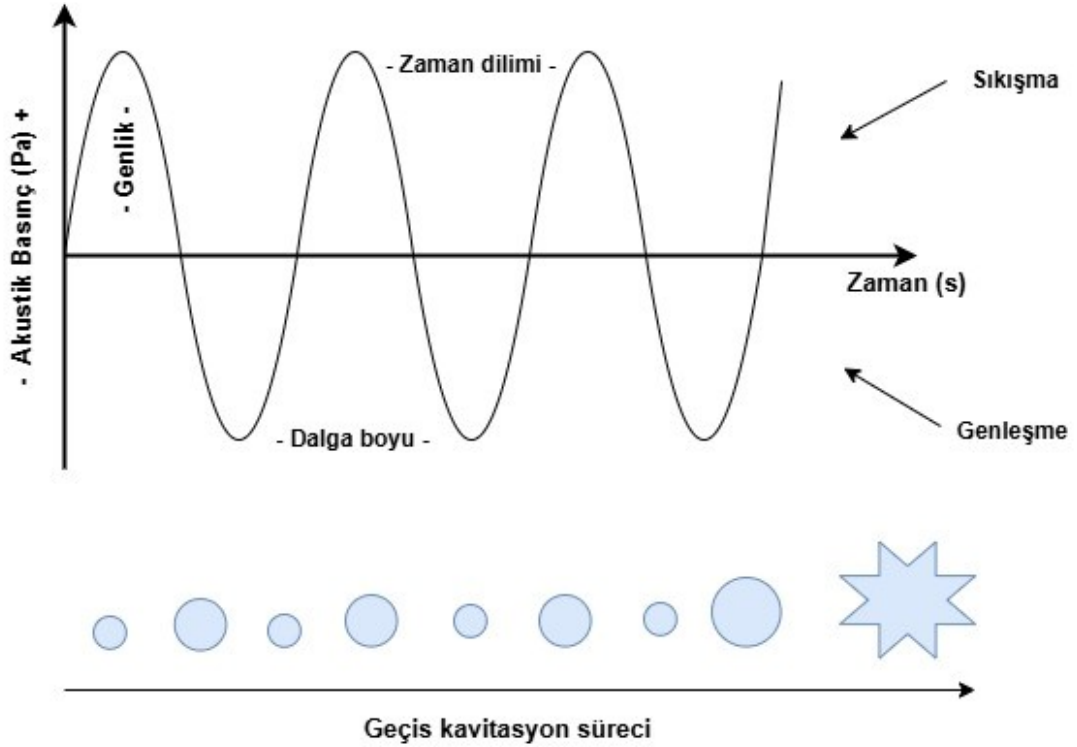
Fıstık unundan alkali koşullar altında mikrodalga ve ultrason yardımı ile protein ekstraksiyonunun yapıldığı çalışmada proteinlerin fonksiyonel özellikleri ve saflıkları incelenmiştir. Mikrodalga ön işlemi 145, 290, 435, 580 ve 725 W gücü ile 2, 4, 6, 8 ve 10 dakika uygulanmış, ultrason ön işleminde ise %20 ve %100 genlikte 15 ile 40 dakika süre ile yapıldığı belirtilmiştir. Bu işlemler sonucunda 725 W ile 8 dakikada % 10 saflıkta ve kontrole göre %77 daha fazla protein izolatu elde edildiği bildirilmiştir. Ultrason destekli ön işlemde ise %86 saflık ile %136 artış değerinde protein ekstraksiyonu gerçekleştirilmiştir. Ayrıca köpük oluşturma kapasitesinin en yüksek ultrason ön işlem (%197±1.41) ve ardından mikrodalga uygulaması ile (%169.90±0.71) elde edildiği bulunmuştur. Emülsiyon aktivitesinin en yüksek mikrodalga ön işlem uygulaması ile elde edilen proteinlerde olduğu tespit edilmiştir (Ochoa-Rivas vd., 2017). Protein ekstraksiyon tekniğine dair diğer literatür çalışmaları Çizelge 2.1.’de verilmiştir.

Çizelge 2.1. Protein ekstraksiyonu literatür çalışmaları

Protein kaynağı	Ekstraksiyon tekniği	Önemli veriler	Referans
Bezelye	Alkali Tuz Miseller	Gelişmiş emülsiyon-köpük oluşturma özellikleri	(Stone vd., 2015)
Yeşil Mercimek	Asidik	Gelişmiş Çözünürlük, emülsiyon-köpük oluşturma özellikleri	(Boye vd., 2010)
Kırmızı Mercimek	Ultrafiltrasyon		
Yeşil Mercimek	Alkali Ultrason-Alkali Enzimatik-Alkali	Artan verim, gelişmiş fonksiyonel özellik ve termal davranış	(Miranda vd., 2022)
Bezelye	Ultrason	Gelişmiş biyolojik aktivite, emülsiyon-köpük oluşturma özellikleri ve su tutma kapasitesi	(F. Wang vd., 2020)
Akebi meyve çekirdeği	Alkali Mikrodalga Ultrason	Çözünürlük, emülsiyon-köpük oluşturma, su tutma ve reolojik özellikler	(Jiang vd., 2021)
Soya		Gelişmiş tekno-fonksiyonel özellikler	
Pirinç	Ultrason		(Omura vd., 2021)
Soya	TCA-Aseton	Soya çeşidi örneklerinde verim değerlendirilmesi	(Ippoushi vd., 2020)
Pirinç	Alkali Mikrodalga Ultrason	Artan protein verimi, çözünürlük sindirilebilirlik ve termal davranış	(Bedin vd., 2020)
Kavun çekirdeği	Alkali Yüksek basınç Ultrason Alkali-Ultrason Alkali-Basınç	Gelişmiş fonksiyonel özellik, sindirilebilirlik, termal davranış	(Yıldız, 2025)
Ay çekirdeği	Alkali Alkal-Ultrafiltrasyon	Gelişmiş fonksiyonel özellik ve sindirilebilirlik	(Huang vd., 2024)
Amarant	Alkali	Emülsiyon ve köpük oluşturma özellikleri	(Fidantsi & Doxastakis, 2001)
Vişne Çekirdeği	Asidik	Gelişmiş fonksiyonel ve termal özellik sindirilebilirlik derecesi	(Kasapoğlu vd., 2021)
Yulaf	Alkali Asidik	Gelişmiş fonksiyonel özellikler	(Spaen & Silva, 2021)
Brokoli	Aseton	ACE-inhibitör etkisi	(J.-E. Lee vd., 2006)

Gıda işleme endüstrisinde önemli bir potansiyel uygulamaya sahip olan ultrason işleme teknolojisi, insan duyma frekans aralığını aşan bir ses dalgasıdır (Zhou vd., 2024). Ultrason 20–100 kHz ses dalgaları üreten ve 1 W/cm² üzerinde yüksek enerji sağlamaktadır. Bu yüksek enerji ultrason ortamında termal, kimyasal ve mekanik etkilere neden olmaktadır. Termal etki, ultrason ortamında oluşan

titreşim enerjisini absorbe etmektedir. Bu emilen enerji ile ortamın sıcaklığını yükseltir ve ısı enerjisine dönüştürür. Böylelikle ortamda etkin bir faaliyet sağlamaktadır (Qiu vd., 2020). Bir diğer mekanizma olan kimyasal etki, ultrason işleminde oluşan kabarcıklar aracılığıyla kimyasal bağların kırılmasını ve serbest radikallerin oluşmasını ifade etmektedir (Yu vd., 2022). Mekanik etki ise; ortamdaki parçacıkların mekanik dalga etkisi ile titreşim durumuna girmesini, hareketini güçlendirmesini ve kütle transferini hızlandırması anlamına gelmektedir. Bu üç etki sayesinde ultrasonik dalgalar akustik kavitasyonlar oluşturmaktadır. Dalganın yayılması, sıvıdaki molekülleri sıkıştırma ve inceltme döngüsü esnasında farklı derecelerde değişmektedir. Bu değişim ortamdaki hidrostatik basıncın yanı sıra ses basıncı da oluşturmaktadır. Basınç dalgalanmaları boşluklar oluşturarak sıvı kabarcıklarını ve akustik kavitasyonu meydana getirmektedir. Akustik kavitasyon enerjisinin artmasıyla kabarcık çaplarında genleşme ve sıkıştırma hareketleri oluşmaktadır (Şekil 2.2). Enerjinin kavitasyon kabarcığını patlama eşiğini karşılaması durumunda, kavitasyon kabarcığı kırılır ve yüksek sıcaklık (5500°C) ile yüksek basınç (100 MPa) açığa çıkar (Tao ve Sun, 2015; Xiong vd., 2020).

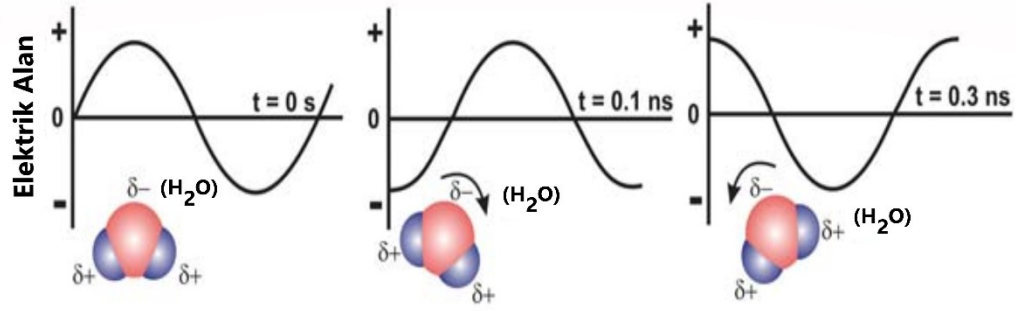


Şekil 2.2. Ultrason cihazı çalışma prensibi

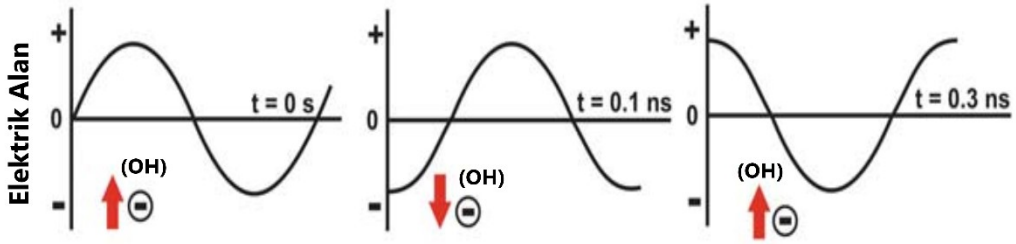
Ultrason işleme teknolojisi yüksek ürün verimliliği, hızlı proses ve minimum çözücü tüketimi sağlamaktadır. Bu faydalarından dolayı protein ekstraksiyonunda sıkça tercih edilmektedir. Ayrıca proteinlerin fiziko-kimyasal özellikleri üzerine

olumlu etkisi literatürde belirtilmiştir (Kumari ve ark., 2018). Yapılan çalışmada bezelye proteinin, alkali ve ultrason destekli alkali ekstraksiyon ile elde edilmesi karşılaştırılmıştır. Ultrason desteği ile kısa sürede yüksek verimle protein üretildiği belirtilmiştir. Çözünürlük, emülsiyon ve köpük oluşturma gibi fonksiyonel özelliklerin arttığı tespit edilmiştir (F. Wang vd., 2020). Benzer bir çalışmada ise börülce proteinini fvdli (100 W-200 W, 5-10-20 dk) sonikasyon derecelerinde ekstraksiyonu sağlanmıştır. Bu doğrultuda 200 W-10 dk optimum sonuçlar elde edildiği belirtilmiştir. Bu işlem kombinasyonunda protein veriminin %31.78'den %58.96, çözünürlüğün %57.26'dan %68.85'e ve su tutma kapasitesinin %30.6'dan %70.64'e yükseldiği bildirilmiştir. Diğer fonksiyonel özelliklerinde de olumlu değişimler gözlemlenmiştir. Sonikasyondan kaynaklanan proteinlerin mikro yapısı ve ikincil yapı değişiklikleri SEM görüntüleri, SDS-PAGE ve FTIR analizleri ile doğrulandığı belirtilmiştir (Loushigam ve Shanmugam, 2023). Çuha çiçeği tohumundan, ultrason destekli alkali ekstraksiyon ve protein-glutaminaz enzimi ile protein ekstraksiyonu sağlanmış ve tekno-fonksiyonel özelliklerinin incelendiği belirtilmiştir. Her iki prosesin optimum koşulları yanıt yüzey metodolojisi kullanılarak ölçüldüğü ifade edilmiştir. Optimize edilmiş ekstraksiyon koşullarında maksimum verimin %26.4, protein içeriğinin %86.1 olduğu bildirilmiştir. Ayrıca ekstraksiyon tekniklerinin, çuha çiçeği tohum proteininin fonksiyonel özellikleri üzerinde olumlu etkileri olduğu belirtilmiştir. Modifiye edilmiş tekno-fonksiyonel özelliklere sahip, yenilebilir çuha çiçeği tohum proteinini üretmek için kullanılan bu tekniklerin büyük bir potansiyele sahip olduğu ifade edilmiştir (Hadidi vd., 2021).

Mikrodalga 0.001-1 m dalga boyuna sahip ve 300 MHz ile 300 GHz frekans aralığındaki elektromanyetik dalgalardır (Nayak vd., 2019). Isıtma amacıyla tercih edilen mikrodalgalar da üç ana mekanizma yer almaktadır. Bu mekanizmalar; dipolar yönlendirme, iyonik iletim ve arayüz polarizasyonudur. Su, dipolardır ve daha yüksek frekanslara sahiptir. Böylece hızla değişen elektrik alanıyla polarizasyonunu yeniden hizalamaya çalışmaktadır. Bu değişiklik sürtünmeye neden olur ve ortamın iç ısını artırır. İkinci mekanizmada, hammadde içindeki iyonlar sürekli değişen elektrik alanının etkisi altında yer değiştirmektedir. Ancak, iyonların hareketi elektrik alanının salındığı frekansa uyum sağlayamaz, çarpışmalara ve ısı oluşumuna neden olmaktadır (Şekil 2.3.) (Kumar ve Karim, 2019). Arayüz polarizasyonu, dipolar yönlendirme ve iyonik iletimin kombinasyonu olarak ifade edilmektedir. Yüklü parçacıkların hareketi, farklı malzemeler arasındaki arayüzler de pozitif ve negatif uzay yükleri oluşturur ve buda alan dağılımını değiştirmektedir. Heterojen dielektrik özelliklere sahip ısıtma için önemli bir mekanizma olarak kabul edilmektedir.



A) Dipolar dönme mekanizması



B) İyon iletim mekanizması

Şekil 2.3. Mikrodalga ısıtma cihazı çalışma prensibi

Yeşil ve temiz enerji kaynağı olarak tercih edilen mikrodalga gıda endüstrisinde yaygın olarak kullanılmaktadır (Chizoba Ekezie vd., 2017). Geleneksel yöntemlere kıyasla kısa ısıtma süresi, düşük çalışma sıcaklığı, ürün verimliliği ve modifikasyon etkileri de diğer avantajlarıdır. Bu avantajlarından dolayı birçok çalışmaya konu olmuştur. Protein ekstraksiyonu ve modifikasyonu önemli araştırma çalışmalarındandır. Ekstraksiyon işleminde kullanılan NaOH bitki hücre duvarını parçalama yeteneğine sahiptir. Mikrodalga ile desteklenen ekstraksiyon işleminde sürtünme kuvvetinin ve ısının etkisi ile hücre duvarı daha kısa sürede yıkıma uğramaktadır. Ayrıca etkin bir parçalanma sağlayarak protein verimi ve saflığını artırmaktadır (Varghese ve Pare, 2019). Mikrodalgalar modifikasyon işleminde, proteinlerin iç yapısını ve protein agregasyon derecesini değiştirmek için sıklıkla tercih edilmektedir. Proteinlerde dipol momenti olan polar moleküller, mikrodalga alanının da bir dönme kuvvetine maruz kalmaktadır. Bu kuvvet etkisi ile dönen ‘değişken kutup’ hareketleri üretilmektedir (Aguilar-Reynosa vd., 2017). Ayrıca protein yüzeyindeki yüklerin etkileşimini de artırmaktadır. Proteinlerdeki moleküler farklılık, mikrodalganın elektromanyetik rezonansına verdiği tepkilerde de farklılık göstermektedir. Elektromanyetik alan proteinler üzerinde yıkma etkisine sahiptir ve protein moleküllerinin kolayca açılmasını sağlamaktadır. Buna ek olarak mikrodalga

ortam sıcaklığının artması ile protein yapıları ortamdaki ısıyı emer ve yapıda değişiklik meydana getirmektedir. Bu değişiklik mikrodalga'nın etkisi ile proteinlerde meydana gelen modifikasyonu belirtmektedir. Ayrıca mikrodalga ısıtması proteinlerin ikincil yapısı olan α -helix yapısının başka yapılara dönüşümünü kolaylaştırmaktadır. β -düzlemsel yapının ise agregasyonunu sağlamaktadır (Cao vd., 2018). Mikrodalga'nın bu etkileri aracılığıyla proteinlerin çözünürlük, köpük oluşturma, emülsifikasyon, esneme ve jel özellikleri olumlu yönde değişim göstermektedir (Jiao vd., 2021).

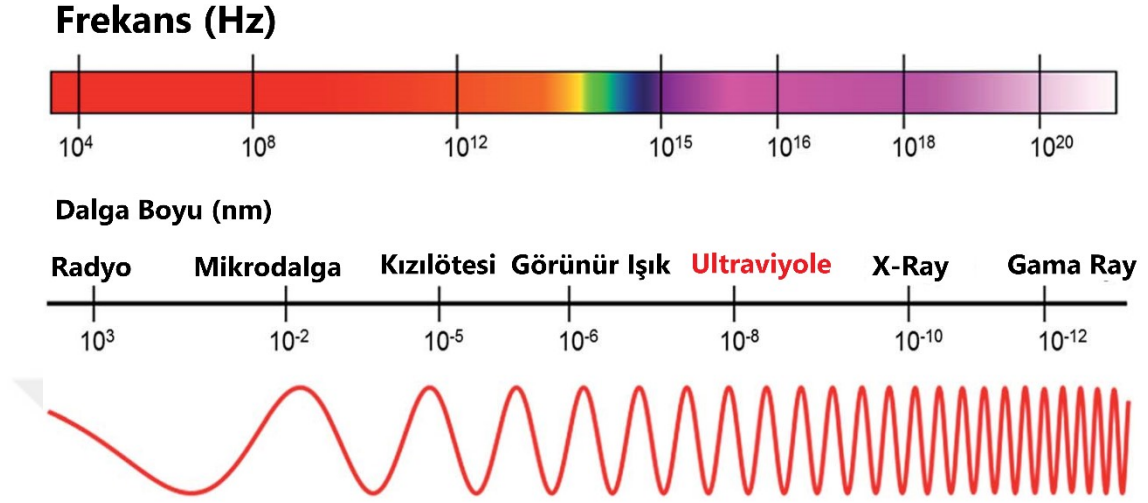
Proteinlerin modifikasyonu gıda bilimi için oldukça önemli bir konudur. Bu nedenle belirli çalışmalara araştırma konusu olmuştur. Literatürde yer alan çalışmalar; yumurta akı proteinini pH 8'de sodyum tripolifosfat ortamında mikrodalga uygulamasının etkisini incelemişlerdir (Li vd., 2018). Mikrodalga modifikasyon işlemi farklı güçlerde (200, 300, 400, 500 ve 600 W) uygulanıp protein üzerindeki etkilerini değerlendirmiştir. FTIR analizi sonucunda yumurta akı proteininin fosforilasyon etkisi ile yeni karakteristik absorpsiyon bantlarına sahip olduğunu tespit etmişlerdir. Mikrodalga uygulamasında 500 W seviyesinde fosforilize edilmiş protein, mikrodalga işlemi uygulanmamış proteinlere göre 0.44 kat daha fazla köpürme kabiliyetine ve 1.1 kat daha fazla köpürme stabilitesine sahip olduğu belirtilmiştir. Bunun nedeni ise mikrodalga'nın, protein ve peptitlerin aktiviteleri üzerine önemli etkisi olduğu düşünülen yüksek dielektrik aktivitesine sahip olmasıdır. Bu çalışma sonucunda, mikrodalga ön işlemlili fosforilasyon modifikasyonunun protein köpürme özelliklerini geliştirmek için pratik bir yöntem olduğu tespit edilmiştir. Yapılan başka bir çalışmada ise mikrodalga süresinin protein fonksiyonel özellikleri üzerine etkisi değerlendirilmiştir (Feng vd., 2021). Çalışmada domuz derisi jelatinine farklı sürelerde (0, 5, 10, 20 ve 30 dk) 350 W gücünde mikrodalga ön işlemi uygulanarak, jelatinin çözünürlük, yüzey gerilimi, köpük oluşturma ve emülsiyon özellikleri incelenmiştir. Bahsedilen çalışmada mikrodalga uygulama süresinin artması ile polar gruplarda titreşimlere yol açtığı için çözünürlüğün arttığı ve yüzey geriliminin ise azaldığı tespit edilmiştir. Ayrıca sürenin artmasıyla köpürme ve emülsiyon özellikleri üzerine olumlu etki gösterdiği bildirilmiştir.

Mikrodalga uygulamalarının gıdalar üzerinde bileşimsel, besinsel ve fonksiyonel değişimlere neden olduğu bilinmektedir. Bu nedenle proteinlerin fonksiyonel özelliklerini geliştirmek veya yeni ürün elde etmek amacıyla tahıl (buğday ve halem) ve bakliyat (fasulye) unu örnekleri mikrodalga ön işlemi uygulanmıştır (Ashraf vd., 2012). Uygulama süreleri 0, 50, 90 ve 300 dk olarak

uygulanmış ve sürenin artması ile su tutma, yağ bağlama, köpük oluşturma kapasitesi ve stabilitesinin arttığı tespit edilmiştir. Ayrıca pH 7’de protein çözünürlüğünün ön işlem uygulama süresinin artması ile arttığı bildirilmiştir. Buna benzer başka bir çalışmada ise mercimek unu proteinine farklı güç (540 W, 720 W ve 900 W ve sürelerde (0, 2, 4 ve 6 dk) mikrodalga ön işlemi uygulanarak meydana gelen değişimler incelenmiştir (Mahalaxmi vd., 2022). Çalışmada güç ve süre parametreleri arttıkça yağ bağlama kapasitesinin arttığı, köpük stabilitesinin dalgalanmalar gösterdiği bildirilmiştir. Emülsiyon aktivitesinin 720 W gücünde 4 dakikada, emülsiyon stabilitesinin ise 720 W 6 dakikada en yüksek değere sahip olduğu tespit edilmiştir. Ayrıca örneklerde FTIR analizi yapıp mikrodalga gücünün artışına bağlı olarak bağlarda sola doğru kaymaların olduğu belirtilmiştir.

Ultraviyole radyasyon uygulamaların sürdürülebilirliği, daha uzun ömürlü olması, düşük maliyetliliği, enerji tüketimi ve bakım kolaylığı nedeniyle gıda endüstrisinde yaygın olarak tercih edilen bir teknolojidir (Marques vd., 2024). X-ışını ve görünür dalga boyları arasında yer alan ultraviyole, 10 ile 400 nm dalga boyu spektrumundaki elektromanyetik radyasyondur (Şekil 2.4). Genellikle iyonlaştırıcı olmayan radyasyon olarak adlandırılmaktadır. Ultraviyole spektrumu bilimsel literatürde yaygın olarak dalga boyuna göre sınıflandırılmaktadır. Ultraviyole-A (315-400 nm), Ultraviyole-B (280-315 nm), Ultraviyole-C (200-280 nm) ve Ultraviyole-V (10-200 nm) olmak üzere 4 farklı şekilde uygulama mevcuttur. Gıda teknolojisinde ise UV-C ışığı fotokimyasal reaksiyonlara neden olduğu için daha çok tercih edilmektedir. UV-C endüstriyel olarak katı ve sıvı gıdaların yüzey hijyenin de kullanılmaktadır. Patojenik ve bozulma yapan mikroorganizmaların DNA’sına UV-C dalga boyunda zarar verebilmektedir (Bolton ve Cotton, 2008). Gıda teknolojisinde tercih edilen bir diğer ışın ise UV-A radyasyonudur. UV-A, mikroorganizmaları inaktive etmesinin yanı sıra reaktif oksijen türlerinin üretimi yoluyla proteinler ve lipidler dahil olmak üzere diğer biyomoleküller de oksidatif bozulmaya neden olmaktadır (Brem vd., 2017). Proteinler foto-oksidasyon için önemli hücrel hedeflerdendir. Fotooksidasyon sırasında, proteinin birincil yapısı, karbonillerin oluşumu ve aromatik amino asitlerin kaybından etkilenmektedir (Scheidegger vd., 2010). Çift bağlar ve aromatik halkalar tarafından UV radyasyonunun emilmesi, amino asitlerde (histidin, tirozin ve fenilalanin, triptofan, sistein gibi) serbest radikal oluşumuna neden olur ve bu da moleküller arası kovalent bağların oluşumuna yol açabilmektedir (Fathi vd., 2018). Ayrıca amino asitlerin yapısında bulunan O-H, C-C, C-H, C-N ve S-S bağlarını etkilediği yapılan çalışmalarda ifade edilmiştir (Ferrero, 2017). UV radyasyon ile buğday gluteni, mısır zeini (Kumar vd., 2020), fıstık proteini (Liu ve vd., 2004) ve soya protein izolatını (Rhim vd., 2000) çapraz

bağlanmasını sağlayarak fonksiyonel özellikleri geliştirilmiştir.



Şekil 2.4. Ultraviyole radyasyon frekans aralığı

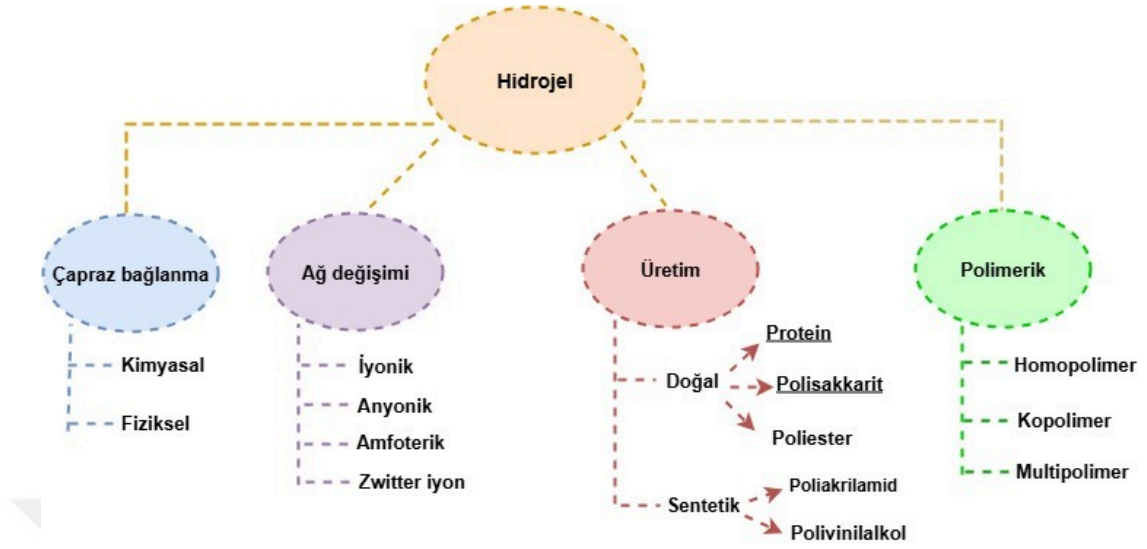
Ultraviyole radyasyon proteinlerin bağlanma modelini değiştirme yeteneğine sahip alternatif bir teknolojidir. Protein yapısında bulunan triptofan ve trozin aromatik aminoasitler ışığa duyarlı olduğundan UV radyasyon uygulamasıyla yapıda istenilen değişim gerçekleştirilebilmektedir. Bu doğrultuda Kumar ve arkadaşları (2021), ultraviyole radyasyonun (UV) etkisi ile buğday unundaki protein modifikasyonunu incelemişlerdir (Kumar vd., 2021). Yumuşak ve sert buğday unu örnekleri 100 sn boyunca 12 ve 36 W gücünde UV ışınlarına maruz bırakılarak protein fraksiyonlarının çözünürlüğü ile sülfhidril gruplarında değişim olduğu belirtilmiştir. Ayrıca 50 sn' de 24 W gücünde gliadin konsantrasyonunun maksimum olduğu tespit edilmiştir. Yapılan başka bir çalışmada, sıvı yumurtanın fonksiyonel özellikleri (köpürme ve stabilite), depolama süresi ile bakteriyel aktivitesi üzerine depolama sıcaklığı ve ultraviyole radyasyonun etkisi incelenmiştir (Abdanan Mehdizadeh vd., 2015). Örnekler hazırlanmış Salmonella süspansiyonu ile kontamine edilmiştir. Bu işlemin ardından yumurta sıvısı farklı kalınlıklarda (1, 2 ve 3 mm) ve farklı sürelerde (3, 5, 10 ve 15 dk) ultraviyole ışınlar altında bekletip 5, 15, 25 ve 37 °C'de 8 güne kadar depolanmıştır. Ultraviyole radyasyon sürelerinin Salmonella bakteri sayılarını azalttığını, yumurtanın fonksiyonel özelliklerini geliştirdiğini fakat yumurta beyazı ve sarısındaki protein oksidasyonunda artış meydana geldiğini tespit etmiştir. Ayrıca köpük oluşturma kabiliyetini ve stabilitesini geliştirmek için en iyi ışılama süreleri sırasıyla 10 ve 5 dakika olarak belirtilmiştir.

Sıcaklığın proteinlerin fonksiyonel özellikleri üzerine önemli bir etkisi vardır. Proteinler karmaşık üç boyutlu bir yapıya sahip biyolojik makromoleküllerdir. Sıcaklık etkisi ile bu yapı bozulabilir veya fonksiyonel özellikleri üzerinde değişimlere yol açabilir (Nguir vd., 2021). Bu değişimleri tespit etmek amacıyla yapılan bir çalışmada *Moringa oleifera* bitki çekirdeği proteinine ısı işlem uygulaması yapıldığı belirtilmiştir. Dondurularak kurutulan toz proteinlerin fosfat çözeltisinde hazırlanıp 25°C, 50°C, 70°C ve 80°C ısı işleme tabi tutulduğu ve fonksiyonel özelliklerinin incelendiği bildirilmiştir. Çalışma kapsamında prolaminin 70°C’de yüksek çözünürlük gösterdiği, oda sıcaklığında toplam proteinin ve glutelinin yüksek emülsiyon kapasitesine sahip olduğu tespit edilmiştir. Ayrıca çalışmada kullanılan albumin, glutelin, prolamin ve globulin proteinlerinin sıcaklık artışı ile emülsiyon stabilitesinin arttığı belirtilmiştir.

Dünyada bitkisel proteinlere olan yönelim artmış ve bunun için birçok yöntem geliştirilerek gıda endüstrisine katkı sağlanmıştır. Ayrıca fonksiyonel özellikleri çok iyi olmayan bitkisel proteinlerin çeşitli yöntemlerle bu özelliklerinin geliştirilmesi sağlanmıştır. Çalışmamızda bu doğrultuda farklı tekniklerle kayısı çekirdeği proteini üretilmiş ve farklı yöntemlerle fonksiyonel özelliklerinin gelişimi sağlanmıştır. Ayrıca sadece fonksiyonel özelliklerinin gelişimi ile sınırlı kalmayıp proteinleri çeşitli sistemlere dahil ederek katma değer yaratma sağlanmaktadır. Bu sistemlerden biri olan hidrojel gıda endüstrisi için oldukça önemlidir. Hidrojeller entegre yapılarını kaybetmeden büyük miktarda su ile etkileşime girebilen ve tutabilen üç boyutlu çapraz bağlı polimer zincirleridir (Batista vd., 2019). Su tutma yetenekleri hidrojinin polimer zincirlerindeki hidrofilik fonksiyonel gruplarından kaynaklanmaktadır. Ağlarda çapraz bağlanma noktalarının oluşumu, suda çözünmeye karşı direnci artırmaktadır. Hidrojellerin yüksek su içeriği ve su tutma yetenekleri sayesinde gıda, tıp, eczacılık, kozmetik, biyoloji, elektrik ve tarım bilimi alanında geniş uygulamalara sahiptir (Ma vd., 2023). Ayrıca mekanik dirençleri, toksik olmamaları ve biyolojik olarak parçalanabilmeleri nedeniyle de bu alanlarda tercih edilmektedir. Hidrojeller gıda biliminde, balık tazeliğinin test edilmesi amacıyla biyosensör olarak kullanıldığı belirtilmiştir (Luo vd., 2021). Ayrıca biyoaktif maddelerin iletimi açısından da kullanıldığı yapılan çalışmada rapor edilmiştir. Fenolikleri ve aroma bileşiklerini kontrollü ve sürdürebilir bir şekilde serbest bırakılmasını sağlamaktadır (Ahmad vd., 2019). Hidrojeller polimer seçimine, bağlanma tekniğine, iyon yük değişimine, kompozisyon seçimine, biyolojik olarak parçalanabilme ve uyaran-tepki sistemine göre sınıflandırılmaktadır (Leyva-Jiménez vd., 2023)(Şekil 2.5). Hidrojeller, ortamdaki çözücü ve moleküler

etkileşimler aracılığıyla uyarılma ve tepki verme yeteneklerine sahiptirler. Uyarma-tepki sistemi kimyasal (pH, iyonik güç ve kimyasal ajanlar) fiziksel (sıcaklık, ışık, basınç ve mekanik stres) ve biyokimyasal (ligant, enzim ve antijenler) olmak üzere 3 şekilde gerçekleşmektedir (Gıl ve Hudson, 2004). Çapraz bağlanmaya göre hidrojeller fiziksel ve kimyasal olarak gruplandırılmaktadır. Fiziksel çapraz bağlanan hidrojeller, hidrojen ve Vander wals bağları gibi zayıf polimerik ağlarla bağlanmış yapılardır. Fiziksel hidrojeller pH, sıcaklık ve iyonik güç gibi etkenlerden etkilenerek çözülebilirler (Ćorković vd., 2021). Ancak bu fiziksel çapraz bağlı hidrojellerin toksik olmaması, biyo-uyumluluğu ve sürdürülebilir olmaları en önemli avantajlarıdır (Akhtar vd., 2016). Kimyasal çapraz bağlı hidrojeller ise mekanik olarak daha sağlam ve dirençli jellerdir. Bu avantajları yapılarında bulundurdıkları kovalent bağlara atfedilmektedir. Fakat bu hidrojeller düşük seviyede biyolojik parçalanabilme ve yüksek toksisite göstermeleri dezavantajları arasındadır (Moiseev ve James, 2020). Bir diğer kategoride yer alan iyon yük değişimi kendi içinde iyonik, iyonik olmayan, amfoterik ve zwitter iyon hidrojeller olarak sınıflandırılmaktadır. Nötr hidrojeller, polimer zinciri boyunca elektrik yükü göstermemektedir. Bu hidrojellerin şişme kabiliyetleri, pH veya sıcaklık değişikliklerinden etkilenmemektedir. Jeller pozitif yüklüyse, katyonik hidrojeller, negatif yüklüyse anyonik hidrojeller olarak adlandırılmaktadır (Yang vd., 2022). Amfoterik hidrojeller, belirli bir pH'da dengelenmiş olan pozitif ve negatif yüklere ve zincir ağlarına sahiptir ve dolayısıyla pH değişikliklerine de tepki verebilmektedirler (Leyva-Jiménez vd., 2023). Hidrojel üretiminde kompozisyon seçimi önemli bir faktördür. Tek bir monomerden üretilen hidrojeller homopolimer olarak adlandırılmaktadır. Homopolimerler, hidrojellerde istenilen özellikleri karşılama yeteneğine sahip değildirler (Motamedi vd., 2020). İki farklı polimerin birleşmesi ile oluşan kopolimerler, kararlı yapıda hidrojel oluşturma özelliği göstermektedir (Ahsan vd., 2021). Multipolimer ise çok bileşenli olup üç boyutlu polimerik hidrojellerdir. Bu hidrojeller, sert yapıda olup dayanıklı mekanik özellik göstermektedirler. Ayrıca kontrol edilebilir fiziksel özellik sağlamaktadırlar (Lipatov, 2002). Hidrojel üretiminde polimer seçimi de bir diğer önemli faktördür. Polimerlerin doğasına bağlı olarak, hidrojeller doğal makromoleküllerden türetilmişlerse doğal, sentetik polimerler kullanıldığında sentetik veya her ikisinin bir karışımı uygulandığında hibrit olarak sınıflandırılmaktadır. Sentetik polimerler çok çeşitli uygulamalara sahip mekanik özellikler kazandırmaktadır. Ancak doğal polimerlere göre daha düşük biyouyumluluk ve biyolojik olarak parçalanabilirliğe sahiptirler. Doğal polimerler bitki ve hayvan kaynaklarında bulunabilmektedir. Bu kaynaklardan elde edilen protein (soya, jelatin, balık ve çekirdek proteinleri) ve karbonhidrat (nişasta, keçi boynuzu gamı, pektin ve kitosan vb.) hidrojel üretiminde

kullanılan ana polimerlerdir (Leyva-Jiménez vd., 2023).



Şekil 2.5. Hidrojellerin sınıflandırılması

Son yıllarda, proteinler ve polisakkaritler de dahil olmak üzere doğal polimerlerden hazırlanan hidrojeller, düşük toksisiteleri, yenilebilirlikleri, biyouyumlulukları, biyolojik olarak parçalanabilirlikleri ve uygun fiyatlı olmaları nedeniyle büyük ilgi görmüştür. Polisakkaritler ve proteinler, doğal hidrojel oluşumunda kullanılan en yaygın makromoleküllerden ikisidir (Ullah vd., 2015). Literatür çalışmalarında pektin (Ishwarya S. vd, 2022), nişasta (Zhang, 2015), kitosan (Woranuch ve Yoksan, 2013) gibi polisakkaritlerden hidrojeller üretilerek gıda sistemlerinde kullanımı belirtilmiştir. Soya (Bealer vd., 2020), mısır (Moreno vd., 2019) ve buğday (Leyva-Jiménez vd., 2023) gibi bitkisel kaynaklı proteinler de doğal hidrojel üretimlerinde kullanıldığı yapılan çalışmalarda rapor edilmiştir. Çalışmamızda kayısı çekirdeğinden elde edilen protein hidrojel üretiminde kullanılmıştır. Bitkisel proteinler gıda ürünlerinde tek başına kullanıldığında işlevsel ve dokusal kusurlar ortaya çıkmaktadır. Bu kusurları minimum düzeye indirme yeteneğine sahip polisakkaritlerin hidrojel sistemine dahil edilmesi yapılan çalışmalarda belirtilmiştir (He vd., 2021). Bu amaçla çalışmamızda kayısı çekirdeği proteini ve pektin kullanılarak hidrojel üretimleri gerçekleştirilmiştir. Pektin, FAO/WHO Gıda Katkı Maddeleri Ortak Uzman Komitesi ve Amerika Birleşik Devletleri Gıda ve İlaç Dairesi (FDA) tarafından hiçbir sınırlaması olmayan güvenli bir katkı maddesi olarak kabul edilmektedir (FDA. 2020). Turuncgil kabuğu ve elma posasının asit ekstraksiyonundan elde edilen pektin, gıda işleme endüstrileri için önemli bir kaynaktır (M. Kumar vd., 2020). Metilasyon derecelerine (yani metil ile esterlenmiş karboksi gruplarının yüzdesine) bağlı olarak pektin ürünleri yüksek

metoksilli pektin ve düşük metoksilli pektin olarak sınıflandırılır. Pektin kendi başına jel oluşturabilmektedir. Ancak bu jel yeterli su tutma ve şişme gibi. Bu nedenle yapılan birçok çalışmada pektin ve protein karışımı ile elde edilen hidrojellerin üretim kolaylığı ve gelişmiş işlevsel özellik sağladığı belirtilmiştir (Zhang ve Vardhanabhuti, 2014;F. Zhou vd., 2020). Hidrojel uygulamaları ile ilgili yapılan diğer çalışmalar Çizelge 2.2’de verilmiştir.

Çizelge 2.2. Hidrojel üretimine dair yapılan literatür çalışmaları

Protein	Polisakkarit	Koşullar	Hidrojel özellikleri	Kaynak
Soya	Karragenen	pH:7 85°C 20 dk	Gelişmiş reolojik, tekstürel ve sindirim özellikleri	(Q. Zhang vd., 2021)
Soya	Keçi boynuzu gam	pH:7 90°C	Gelişmiş su tutma, şişme kapasitesi ve mekanik özellikler	(Başyigit vd., 2023)
Soya	Mısır lif gam	pH:7 Glukano delta laktoz eklenmesi	Gelişmiş su tutma kapasitesi ve mekanik özellikler	(Yan vd., 2020)
Bezelye	-	Sıvı azot uygulaması pH: 7 90°C	Gelişmiş su tutma, şişme kapasitesi, TPA ve reolojik özellik	(Başyigit vd., 2024)
Vişne çekirdeği	Pektin	pH: 7 90°C	Su tutma, şişme kapasitesi ve TPA	(Demirkıran vd., 2022)
Peynir altı suyu	Pektin	pH:5 90 °C 30 dk	Gelişmiş şişme kapasitesi, salınım davranışı	(Ozel vd., 2017)
-	Jelatin-tara gam	pH: 3.5-11 90 °C 30 dk	Gelişmiş reolojik özellikler	(J. Zhang vd., 2019)
Amarant	Ksantan gam	pH:10 90°C	su tutma ve şişme kapasitesi	(Cortez-Trejo vd., 2022)
Yulaf	Karragenen	pH:3 ve 7, 110°C 30 dk	Gelişmiş su tutma kapasitesi ve reolojik özellik	(Nieto Nieto vd., 2016)
Yumurta beyazı	Dekstran sülfat	pH: 4,7 ve 9 90°C 30 dk	Gelişmiş su tutma kapasites, tekstürel ve reolojik özellik	(J. Liu vd., 2022)

Literatür çalışmalarında belirtildiği üzere hayvansal kaynaklı protein üretimi

yerine bitkisel proteinlere olan yönelimin arttığı görülmektedir. Çünkü hayvansal kaynaklı ürünlerdeki doymuş yağların kalp-damar sağlığına zarar vermesi ve dini hassasiyetlerden dolayı tercih edilmemesi alternatif kaynaklara yönelimi artırmıştır. Bitkisel ürünler en iyi alternatif kaynaktır. Bu kaynakları ise daha çok bitkilerin kök, gövde, yaprakları ve meyve atıkları oluşturmaktadır. Gıda endüstrisinde atık olarak meyve sap ve çekirdeklerinin değerlendirilmesi de önemli bir besin kaynağını oluşturmaktadır. Bazı meyve çekirdeklerinin kuruyemiş ve pastacılık sektöründe kullanılarak değerlendirilmesi sağlanmaktadır. Bunlardan kabak, karpuz ve kayısı çekirdeği olarak örneklendirebilir. Ayrıca bu kullanım alanları dışında birçok meyve çekirdeği katma değerli ürün üretmek için kullanılabilir. Fakat bununla ilgili çalışmaların yeterli seviyede olmaması önemli bir eksiklik oluşturmaktadır. Bu nedenle bu tez çalışmasında bitkisel kaynak olan kayısı çekirdeğinden farklı ekstraksiyon teknikleri ile protein üretimi sağlanmıştır. Ayrıca farklı modifikasyon uygulamaları ile fonksiyonel özelliklerinin gelişimi sağlanarak çeşitli sistemlere dahil edilip literatüre katkı sağlanmıştır.

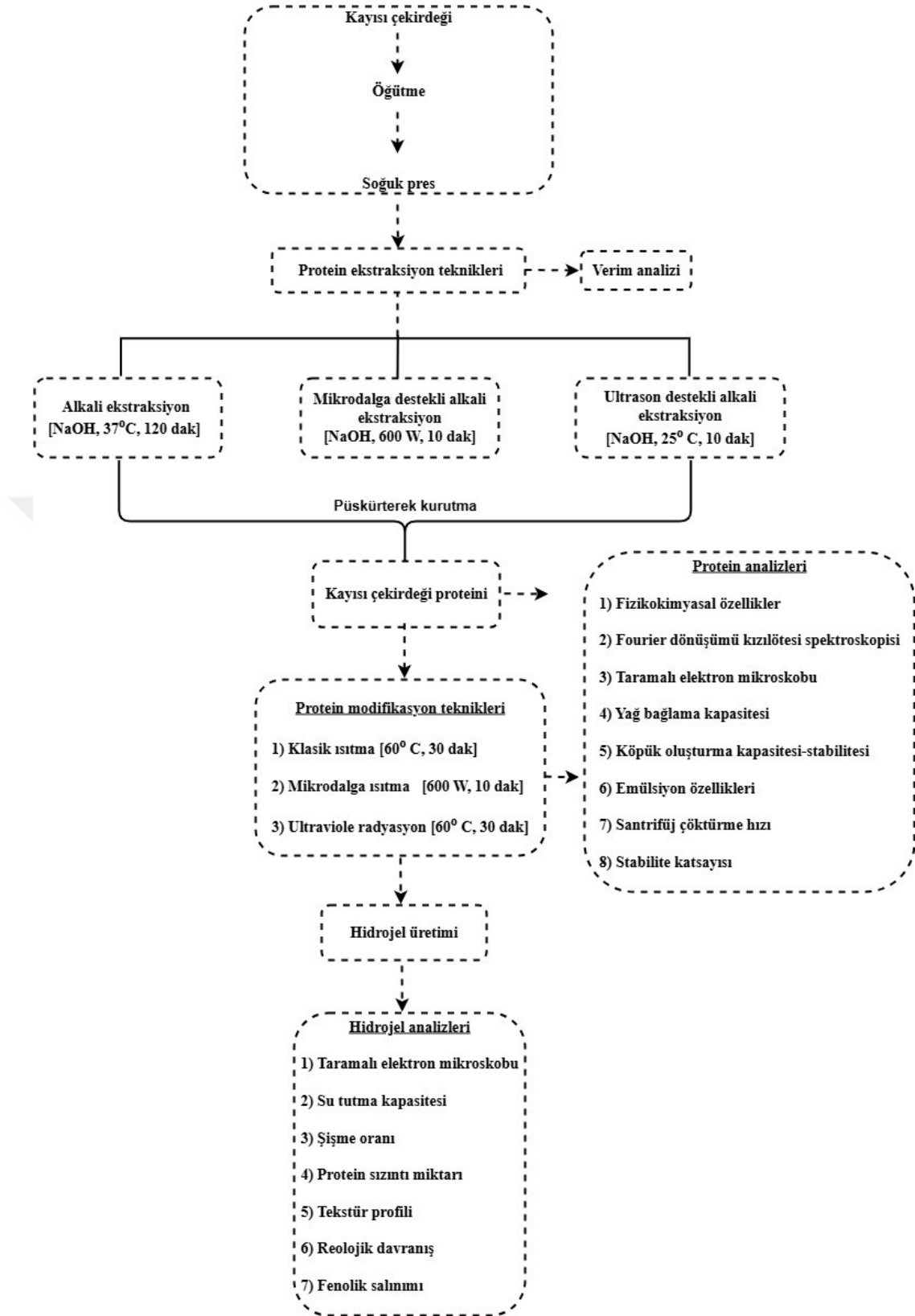
3. GEREÇ VE YÖNTEM

3.1. Gereç

Kayıısı çekirdeği Malatya ilindeki yerel bir pazardan temin edilmiştir. Kabuklardan ayrılmış olan iç çekirdek laboratuvar tipi öğütücüde (DMS253, Demsan, Türkiye) öğütülmüş ve soğuk sıkım ile yağlarından ayrıştırılmıştır. Yağı alınmış tohumlar, protein ekstraksiyon işlemine kadar +4 °C'de polietilen torbada saklanmıştır. Tüm kimyasallar analitik saflıktaydı Sigma veya Merck'ten temin edildi.

3.2. Yöntem

Tez çalışmamızda belirlenen hedeflere ulaşmak için 3 aşamalı bir plan oluşturulmuştur. Planlanan tez çalışmasının akış şeması Şekil 3.1.' de verilmiştir. Çalışmanın ilk kısmında, laboratuvara getirelen kayısı çekirdekleri öğütülmüş ve soğuk sıkım (12 kg çekirdek/s, 750 W) ile yağ içeriğinden ayrılmıştır. Elde edilen yağsız posadan 10 farklı ekstraksiyon tekniği ile protein ekstraksiyon işlemi gerçekleştirilmiştir. Ekstraktardan püskürtmeli kurutucu yardımıyla protein üretimi sağlanmıştır. Bu işlem sırasında ekstraksiyon verimi hesaplanmıştır. Her bir ekstraksiyon koşulu ve verimi Çizelge 4.1.' de verilmiştir. püskürterek kurutma ile üretilmiş proteinlerin nem, kül, yağ, protein oranları ve fonksiyonel özellikleri analiz edilmiştir. İkinci aşamada kayısı çekirdeğinden ekstrakte edilen proteinler klasik ısıtma, mikrodalga ısıtma ve ultraviyole teknikleri ile modifiye edilmiştir. Modifiye edilen proteinlerin yağ bağlama, köpük oluşturma kapasitesi-stabilitesi ve emülsiyon özellikleri incelenmiştir. Son aşamada ise farklı teknikler ile modifiye edilen ve edilmeyen proteinlerden hidrojel üretimi yapılmıştır. Hidrojellerin su tutma kapasitesi, şişme oranı, protein sızılabilirliği ve mekaniksel özellikleri detaylandırılmıştır.



Şekil 3.1. Tez çalışması akış şeması

3.2.1. Kayısı çekirdeğinden protein ekstraksiyonu

Temin edilen kayısı çekirdekleri laboratuvar ortamında öğütüldükten sonra

laboratuvar ölçekli soğuk sıkım ile yağından ayrılmıştır. Yağsız posa ise protein ekstraksiyonu için polietilen torbalarda 25°C’de depolanmıştır. Protein ekstraksiyonu 10 farklı teknikle gerçekleştirilmiştir. Bunlar; alkali ekstraksiyon, mikrodalga destekli alkali ekstraksiyon, ultrason destekli alkali ekstraksiyon, aseton ile çöktürme, trikloroasetik asit- aseton çöktürme, trikloroasetik asit ile çöktürme, asidik ekstraksiyon, mikrodalga destekli asidik ekstraksiyon, ultrason destekli asidik ekstraksiyon ve miseller ile çöktürme teknikleri kullanılmıştır.

Protein ekstraksiyonu için kullanılan alkali ekstraksiyon, mikrodalga destekli ve ultrason destekli alkali ekstraksiyon daha önce literatürde belirtilen metot üzerinde küçük değişimler yapılarak uygulanmıştır (Du vd., 2012). Yağsız poasadan 10 g tartılıp üzerine 90 ml saf su eklenmiştir. Hafif bir şekilde el yardımıyla karıştırılan çözelti 1 M NaOH ile pH 10 olarak ayarlanmıştır. Son hacim 100 ml olacak şekilde saf su eklenmiştir. Çözelti 37°C’ de 2 saat süre ile 100 rpm karıştırmaya bırakılmıştır. Bu işlemten sonra karışım 50 ml santrifüj tüplerine alınarak 15 dk 4000 rpm santrifüj edilmiştir. Oluşan üst faz filtreden geçirilerek 1 M HCl pH değeri 4.5 ayarlanmıştır. Bir gece 4°C’de buzdolabında bekletilmiş ve pH değeri 10 olarak ayarlanıp püskürtmeli kurutucuda (Unopex B15, Bak-On, Mak. Müh. Ltd. Sti., İzmir, Türkiye) kurutulmuştur.

Mikrodalga destekli alkali ekstraksiyon tekniğinde alkali ekstraksiyon yönteminde olduğu gibi 10 g yağsız posaya 90 ml saf su eklenmiştir. 1 M NaOH ile pH 10 ayarlanmış ve son hacim 100 ml tamamlanmıştır. Cam şişelerde hazırlanmış olan karışım mikrodalgada 10 dk 600 W gücünde bekletilmiştir. Ardından çözelti 15 dk 4000 rpm’de santrifüj edilmiştir. Üst faz filtreden geçirilerek 1 M HCl ile pH değeri 4.5’e ayarlanmıştır. Ekstrakt 24 saat buzdolabı sıcaklığında bekletildikten sonra pH değeri 10 olarak ayarlanmıştır. Püskürtmeli kurutucuda kurutmaya alınmıştır.

Ultrason destekli alkali ekstraksiyon tekniğinde yağı ayrılmış kayısı çekirdeğinden 10 g tartılıp üzerine 90 ml saf su eklenmiştir. pH değeri 1M NaOH ile 10 olarak ayarlanmış ve son hacim 100 ml olarak ayarlanmıştır. Cam şişelerde hazırlanmış olan çözelti 25 °C’de 10 dk ultrasonda bekletilmiştir. Bu süre sonunda çözelti 15 dk 4000 rpm’de santrifüj edilmiştir. Üst faz filtreden geçirilip 1 M HCl ile pH 4.5 ayarlanmıştır. Bir gece 4°C’de buzdolabında bekletildikten sonra pH değeri 10 olarak ayarlanmıştır. Püskürtmeli kurutucuda kurutularak protein tozu elde edilmiştir.

Aseton ile çöktürme, Trikloroasetik asit-aseton ile çöktürme ve sadece trikloroasetik asit ile çöktürme teknikleri literatürde belirtilen metot uygulanarak gerçekleştirilmiştir (Zhong vd., 2012). Aseton ile çöktürme tekniğinde yağı ayrılmış kayısı çekirdeğinden 10 g tartılıp üzerine 100 ml ekstraksiyon buffer [pH 6.8 62.5 mmol/L Tris-HCl, 0.5 g/100 ml SDS, 10 ml/100 ml gliserol ve 5 ml/100 ml β -ME] eklenmiştir. Ardından 250 rpm'de 1 saat karıştırılmıştır. Çözelti 4°C'de buzdolabında 7 saat bekletilmiştir. 50 ml santrifüj tüplerine alınmış 4°C'de 30 dk santrifüj edilmiştir. Santrifüj edilen örneklerin üst fazı alınarak aynı hacimde önceden soğutulmuş aseton eklenmiştir. Protein çökmesi için bir gece -20° C'de bekletilmiş ve oda sıcaklığına getirildikten sonra püskürtmeli kurutucuda protein tozu elde edilmiştir.

Trikloroasetik asit-aseton ile çöktürme tekniğinde 10 g yağsız kayısı çekirdeği tartılıp üzerine 100 ml ekstraksiyon buffer [pH 6.8 62.5 mmol/L Tris-HCl, 0.5 g/100 ml SDS, 10 ml/100 ml gliserol ve 5 ml/100 ml β -ME] eklenmiştir. Çözelti 1 saat 250 rpm'de karıştırılmış, 7 saat 4°C'de buzdolabında bekletilmiştir. 50 ml santrifüj tüplerine alınmış 4°C'de 30 dk santrifüj edilmiştir. Santrifüj edilen örneklerin üst fazı alınarak aynı hacimde önceden soğutulmuş aseton içeren 0.07 ml/100 ml β -ME ve 10 g/ 100 ml Trikloroasetik asit eklenmiştir. Protein çökmesi için bir gece -20° C'de bekletilmiş ve oda sıcaklığına getirildikten sonra püskürtmeli kurutucuda protein tozu elde edilmiştir.

Trikloroasetik asit ile protein çöktürerek elde etme tekniğinde 10 g yağsız posaya 100 ml ekstraksiyon buffer [0.2 M sodyum asetat, 1.4 M sodyum klorit] eklenmiştir. Çözelti 1 dk vortex yardımı ile karıştırılmış ve 1 saat 4°C'de buzdolabında bekletilmiştir. Bu süre sonunda çözelti kaba filtreden geçirilmiş ve 5000 rpm'de 30 dk santrifüj edilmiştir. Üst faz alınarak aynı hacimde 0.04 M CaCl eklenmiştir. Ardından 24 saat boyunca 4°C'de buzdolabında bekletilmiş ve 5000 rpm'de 30 dk santrifüj işlemi yapılmıştır. Süpernatant kısım filtreden geçirilerek hacminin yarısı kadar %20'lik trikloroasetik asit eklenmiştir. Çözelti tekrardan 1 saat 4°C'de bekletilip santrifüj edilmiştir. Çöken alt kısım aseton ile yıkandıktan sonra sprey kurutucuda kurutmaya alınmıştır.

Protein ekstraksiyonu için kullanılan asidik ekstraksiyon, mikrodalga destekli ve ultrason destekli asidik ekstraksiyon daha önce literatürde belirtilen metot üzerinde küçük değişimler yapılarak uygulanmıştır (Feyzi vd., 2018). Yağsız posadan 10 g tartılıp 90 ml saf su eklenmiştir. 1 M HCl ile pH 2.5 ayarlanmış, saf su ile 100 ml tamamlanmıştır. Çözeltiler 2 saat boyunca 100 rpm'de karıştırılmış ve 15

dk santrifüj edilmiştir. Üst faz filtre edildikten sonra 1 M HCl ile pH 4.5 ayarlanmıştır. Bir gece 4°C'de buzdolabında bekletilmiş ve püskürtmeli kurutucuda kurutulmuştur.

Mikrodalga destekli asidik ekstraksiyon tekniğinde alkali ekstraksiyon yönteminde olduğu gibi 10 g yağsız posaya 90 ml saf su eklenmiştir. 1 M HCl ile pH 2.5 olarak ayarlanmış ve son hacim 100 ml tamamlanmıştır. Cam şişelerde hazırlanmış olan karışım mikrodalgada 10 dk 600 W gücünde bekletilmiştir. Ardından çözelti 15 dk 4000 rpm'de santrifüj edilmiştir. Üst faz filtreden geçirilerek 1 M HCl ile pH değeri 4.5'e ayarlanmıştır. Ekstraktlar 24 saat buzdolabı sıcaklığında bekletildikten sonra pH değeri 10 olarak ayarlanmıştır. Püskürtmeli kurutucuda kurutmaya alınmıştır.

Ultrason destekli asidik ekstraksiyon tekniğinde yağı ayrılmış kayısı çekirdeğinden 10 g tartılmış üzeirne 90 ml saf su eklenmiştir. pH değeri 1M HCl ile 2.5 olarak ayarlanmış ve son hacim 100 ml olarak ayarlanmıştır. Cam şişelerde hazırlanmış olan çözelti 25 °C'de 10 dk ultrasonda bekletilmiştir. Bu süre sonunda çözelti 15 dk 4000 rpm'de santrifüj edilmiştir. Üst faz filtreden geçirilip 1 M HCl ile pH 4.5 ayarlanmıştır. Bir gece 4°C'de buzdolabında bekletildikten sonra pH değeri 10 olarak ayarlanmıştır. Püskürtmeli kurutucuda kurutularak protein tozu elde edilmiştir.

Miseller ile protein çöktürme tekniği Yang ve ark., (2021) belirttiği tekniğe göre uygulanmıştır. Bu tekniğe göre numuneden 10 g tartılmış üzerine 100 ml 0.5 M NaCl eklenmiştir. Oda sıcaklığında 24 saat 100 rpm'de karıştırıldıktan sonra 4°C'de 15 dk boyunca santrifüj edilmiştir. Süpernatant soğuk Mili-Q su ile 4 kat seyreltilmiştir. Çözelti bir gece 4°C'de bekletilmiş ardından 4000 rpm'de 15 dk boyunca 4°C'de santrifüj edilmiştir. Çöken proteinler saf suda çözündürülüp püskürtmeli kurutucuda toz halinde elde edilmiştir.

3.2.2. Püskürtmeli kurutucu koşulları

Farklı ekstraksiyon teknikleri ile elde edilen çözeltilerin olabildiğince düşük hava giriş sıcaklığında protein üretimlerinin sağlanması hedeflenmiştir. Üretim boyunca giriş sıcaklığının 160°C, hava akış hızının 600 L/s ve besleme hızının ise 8 ml/dk olarak sabit tutulmuştur. Siklonda toplanan protein tozları hermetik olarak kapatılabilen cam ambalajlarda 4°C'de depolanmıştır. Tüm üretimler sonucunda analizler yürütülmüştür. Protein ihtiyacı durumunda tekrar üretimler

gerçekleştirilmiştir.

3.2.3. Protein modifikasyonu

Bitkisel kaynaklı proteinler tekno-fonksiyonel özellikleri bakımından zayıf özellik göstermektedirler. Bu özellikleri geliştirmek amacıyla çeşitli teknikler kullanılmaktadır. Bu tez çalışmasında maksimum proses verimi sağlayan ekstraksiyon tekniği kullanılarak elde edilen proteinin tekno-fonksiyonel özelliklerini artırmak amacıyla klasik ısıtma, mikrodalga ısıtma ve UV radyasyon ön işlem teknikleri ile modifiye edilmiştir.

Klasik ısıtma (Bakwo Bassogog vd., 2022), mikrodalga (Deore vd., 2023) ve ultraviyole (Fathi vd., 2018) modifikasyon teknikleri literatürde yapılan çalışmalardan yola çıkarak deneme yoluyla optimum noktaları belirlenerek uygulanmıştır. Klasik ısıtma tekniğinde KÇP'den 10 g tartılıp 100 ml ile tamamlanmıştır. Cam şişelerde hazırlanan solusyonlar su banyosunda 50°C ve 60°C'de 15, 20, 30 ve 40 dakika boyunca bekletilmiştir. Süre sonunda dondurarak kurutma cihazında kurutularak analizler yapılınca kadar +4°C'de depolanmıştır.

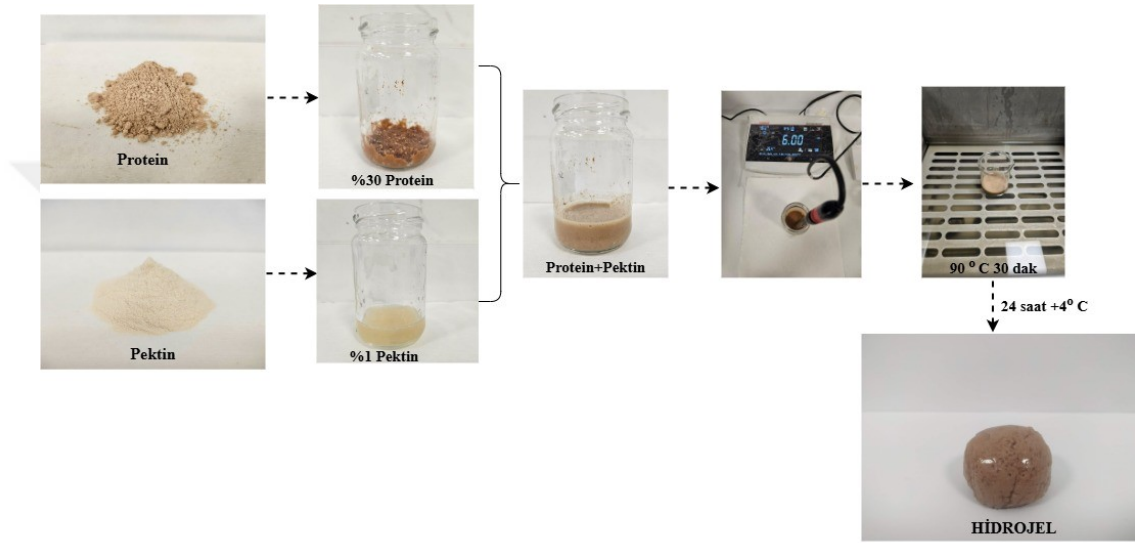
Modifikasyon için kullanılan mikrodalga ısıtma uygulamasında 10 g kayısı çekirdeği proteini 100 ml saf suda çözündürülmüştür. Mikrodalga cihazında farklı süre (5, 10 ve 15 dakika) ve güçlere (360, 600 ve 800 W) maruz bırakılmıştır. Bu süre sonlarında proteinler dondurularak kurutulmuştur. Optimum nokta belirlendikten sonra modifiye edilen protein tozları analizler yapılınca kadar +4°C'de saklanmıştır.

Ultraviyole radyasyon tekniğinde, 5 adet UV lamba (90 cm ve 360 nm) ile donatılmış Siemens SMATIC HMI MTK500 test kabini kullanılarak gerçekleştirilmiştir. Işık şiddeti seviyesi ve dalga boyu sırasıyla 0,38 W/m² ve 360 nm idi. Bu cihazın ilgili kısmına %10'luk protein çözeltisi içeren cam şişe yerleştirilmiştir. UV işlemi çeşitli sıcaklıklarda (40 ve 60 °C) farklı sürelerde (10, 20, 30 ve 40 dakika) uygulanmıştır. Optimum nokta belirlendikten sonra protein çözeltileri dondurularak kurutuldu ve analizlere kadar +4 °C'de saklanmıştır.

3.2.4. Hidrojel üretimi

Hidrojeller He vd., (2021) belirttiği yöntem üzerinde küçük değişimler yapılarak elde edilmiştir (Şekil 3.2). Üretilen toz proteinlerden saf su ile % 30'luk protein ve % 1'lik pektin çözeltisi hazırlanmış ve Lab-line inkübatör karıştırıcıda

(Lab-Line instruments, Inc., Melrose Park, IL) 5 saat boyunca oda sıcaklığında karıştırmaya bırakılmıştır. Bu süre sonunda çözeltiler daha iyi hidrate olması amacıyla bir gece +4°C’de bekletilmiştir. Buzdolabından alınan çözeltiler oda sıcaklığına getirildikten sonra 1:1 oranında karıştırılmıştır. Daha sonra pH 6 olarak ayarlanmış ve 1 saat boyunca oda sıcaklığında karıştırılmaya bırakılmıştır. Homojen hale gelmiş çözelti cam beherlere alınarak 90°C’lik su banyosunda (Nüve, Türkiye) 30 dk bekletilmiştir. Hidrojeller bir gece +4°C’de bekletilmiş ve üretimler tamamlanmıştır.



Şekil 3.2. Hidrojel üretimi

3.2.5. Analizler

3.2.5.1. Proteinlerin ekstraksiyon verimi

Farklı ekstraksiyon teknikleri sonunda elde edilen proteinin püskürtmeli kurutucuda toz haline getirilip tartılması ve başlangıçta kullanılan numune miktarına göre hesaplanmıştır. Protein ekstraksiyon verimi aşağıdaki denkleme göre hesaplanmıştır.

$$\text{ekstraksiyon verimi (\%)} = \frac{y}{x} \times 100$$

x: başlangıç protein miktarı (g)

y: ekstrakte edilen protein miktar (g)

3.2.5.2. Nem miktarı

Kurutulan proteinlerde toplam nem miktarını hesaplamak için ilk olarak cam petriler etüvde 105°C’de sabit tartıma getirilmiştir. Desikatöre alınıp soğutulduktan sonra petrilerde 1 g numune tartılmıştır. Tekrar etüv fırında 105°C sıcaklığında 24 saat bekletilmiştir. Bu süre sonunda numuneler soğutulmak amacıyla desikatöre alınmış ve tartım işlemi yapılmıştır. Proteinlerdeki nem miktarı aşağıda verilen denkleme göre hesaplanmıştır (AOAC 1998).

$$\text{Nem miktarı (\%)} = \frac{(x-y)}{x} \times 100$$

x = Kurutma öncesi örnek ağırlığı (g)

y = Kurutma sonrası örnek ağırlığı (g)

3.2.5.3. Kül miktarı

Üretilen proteinlerin mineral madde miktarını hesaplamak için ilk olarak kullanılacak krezeler etüv fırında 105°C sıcaklığında 2 saat boyunca sabit tartıma getirilmiştir. Desikatöre alınmış soğutulduktan sonra 2 g numune tartılmıştır. Kül fırınına alınan örnekler 550°C sıcaklığında 24 saat boyunca bekletilmiştir. Süre sonunda örnekler desikatörde soğutulup tartılmıştır. Proteinlerdeki mineral madde miktarı aşağıda verilen denkleme göre hesaplanmıştır (AOAC 1998).

$$\text{Kül miktarı (\%)} = \frac{(x - y)}{z} \times 100$$

x = kroze ağırlığı (g) + kalan örnek miktarı (g)

y = kroze ağırlığı (g)

z = ilk örnek miktarı (g)

3.2.5.4. Su aktivitesi (aw)

Laboratuvar ölçekli Pre Aqua LAB su aktivitesi cihazı proteinlerin aw değerinin ölçülmesinde kullanılmıştır. Yaklaşık 4 g protein tozu, cihazın numune kabına konulmuştur. Oda sıcaklığında (25°C) denge nem değerine ulaşınca su

aktivitesi değeri dijital ekrandan okunarak kayıt edilmiştir (Tatar ve ark., 2014).

3.2.5.5. Yağ miktarı

Püskürterek kurutulmuş olan proteinlerin yağ içeriği soxhlet tekniği kullanılarak belirlenmiştir (AOAC, 1998). Protein örneklerinden 5 g tartılıp pamuk tamponla beraber kartuşlara yerleştirilmiştir. Çözücü olarak hegzan kullanılmış ve ekstraksiyon işlemi 2 saat süre sonunda tamamlanmıştır. Ekstrakte edilen yağlarda çözücünün tamamen uçması için etüvde 105°C’de 3 saat bekletilmiştir. Bu süre sonunda desikatörde soğutulan örnekler tartım işlemine alınmıştır. Yağ miktarı aşağıdaki denkleme göre hesaplanmıştır.

$$\text{Yağ miktarı (\%)} = \frac{M_2 - M_1}{m} \times 100$$

M_1 = Sabit tartıma gelmiş balon ağırlığı (g)

M_2 = Son tartımdaki yağ miktarı + balon ağırlığı (g)

m= örneğin ilk ağırlığı (g)

3.2.5.6. Toplam protein miktarı

Toplam protein içeriğini belirlemek için elemental analiz cihazı (FlashSmart Elemental, ThermoFisher Scientific, ABD) kullanılmıştır. Analiz için 3 mg numune tartılmış, ilgili alana yerleştirilmiştir. Cihazın çalışma şartları belirlenmiş ve protein miktarı tespiti için azot dönüşüm faktörü 6.25 ile hesaplanmıştır. Cihazın çalışma koşulları Çizelge 3.1.’de belirtilmiştir.

Çizelge 3.1. Elemental analiz cihazının çalışma koşulları

Parametreler	Cihaz koşulları
GC fırın sıcaklığı	65°C
CHNS reaktör sıcaklığı	950°C
Helyum referans akışı	100 ml/dk
Helyum taşıyıcı akışı	140 ml/dk

Oksijen enjeksiyon süresi	5 sn
Oksijen akışı	250 ml/dk
Örnek gecikmesi	12 sn
Toplam çalışma süresi	600 sn'den daha kısa

3.2.5.7. Yüzey renk analizi

Protein örneklerinin ve hidrojenlerin renk parametreleri Color Quest XE HunterLab cihazı ile ölçümleri yapılmıştır. Örneklerin renk parametreleri $\pm L^*$ beyazlık-koyuluk, $\pm a^*$ kırmızı-yeşil, $\pm b^*$ sarılık-maviliği temsil etmektedir (Vega-Gálvez vd., 2009). Numunelerin renk analizi 3 tekerrürlü yapılmıştır.

3.2.5.8. Köpük oluşturma kapasitesi ve stabilitesi

Numunelerin köpük oluşturma özellikleri küçük revizyonlarla Du ve ark.'nın yöntemine göre ölçülmüştür (Du vd., 2018). Protein (100 mg/ml) çözündürülmüş ve 1 dk boyunca Ultra-Turrax homojenleştirici (IKA-T18 Basic) kullanılarak homojenleştirilmiştir. Başlangıç ve son hacimler not edilmiş ve köpüklenme özellikleri aşağıdaki denklemlere göre hesaplanmıştır.

$$\text{Köpük oluşturma kapasitesi (\%)} = \frac{V_2 - V_1}{V_1} \times 100$$

$$\text{Köpük oluşturma stabilitesi (\%)} = \frac{V_1}{V_2} \times 100$$

V_1 = Ölçülen ilk hacim

V_2 = Ölçülen son hacim

3.2.5.9. Yağ bağlama kapasitesi

Proteinlerin yağ tutma kapasitesi Du vd., (2018) belirlediği yöntem üzerinde küçük değişimler yapılarak uygulanmıştır. Protein örneklerinden 0.5 g tartılıp üzerine 10 ml ay çiçek yağı eklenmiştir. Sabit bir şekilde 100 rpm'de 30 dk boyunca karıştırmaya bırakılmıştır. Bu süre sonunda örnekler 4000 rpm'de 20 dk santrifüj edilmiştir. Ardından üst faz süzölmüş kalan kısım tartılmıştır. Proteinlerin gram

başına absorbe edilen yağın ağırlığı tespit edilmiş ve hesaplama aşağıdaki denkleme göre yapılmıştır.

$$\text{Yağ bağlama kapasitesi (\%)} = \frac{((z - y) - x)}{(z - y)} \times 100$$

x = örnek miktarı (g)

y = santrifüj tüpünün darası (g)

z = son tartım + tüp ağırlığı (g)

3.2.5.10. Emülsiyon özellikleri

3.2.5.10.1. Emülsiyonların hazırlanması

Proteinlerin emülsiyon özelliklerinin belirlenmesi için ilk olarak hazırlık aşaması yer almaktadır. Bu doğrultuda protein örnekleri (0.5 g) 100 ml 10 mM Potasyum fosfat tamponu (pH 7) içinde çözündürülmüştür. Hazırlanan çözeltiye 75 ml'lik kısmına 25 ml mısır yağı eklenmiştir. Çözelti Ultra-Turrax homojenleştirici kullanılarak 25000 rpm'de 1 dakika boyunca karıştırılmıştır. Hazırlanan emülsiyonlar analiz için kullanılmıştır (Lee vd., 2021).

3.2.5.10.2. Emülsiyon aktivitesi ve stabilitesi

Aktivite ve stabilite indeksleri için 50 uL taze emülsiyon, 5 ml SDS çözeltisi (%1) ile karıştırıldı ve absorbans, 500 nm'de bir UV-Spektrofotometre (Model UV-1700, Shimadzu Corp., Kyoto, Japonya) kullanılarak okuma yapılmıştır. Ardından 10 ve 30 dk sonra benzer karışımlar hazırlanmış ve absorbansları not edilmiştir (Lee vd., 2021). Emülsiyon aktivitesi ve stabilite indeksi değerlerinin hesaplanmasında aşağıdaki denklemler kullanılmıştır.

$$\text{Emülsiyon aktivite indeksi (m}^2/\text{g)} = \frac{2 \times 2.03 \times A_0 \times D_f}{C \times \varphi \times \theta \times 1000}$$

$$\text{Emülsiyon stabilitesi (dk)} = \frac{A_0}{A_0 - A_{10}} \times 10$$

A_0 = SDS ile seyreltilmiş emülsiyon absorbanı

D_F = seyreltme faktörü

C = protein konsantrasyonu

Φ = optik yol

Θ = yağ hacim oranı

A_{10} = seyreltilmiş emülsiyonun 10 dk absorbanı

3.2.5.10.3. Santrifüj çöktürme hızı

Santrifüj çöktürme hızı Li vd., (2019) belirlediği yöntemle göre uygulanmıştır. Taze emülsiyonlardan 10 ml alınarak 2500 rpm'de 30 dk santrifüj edilmiştir. Süpernatant kısmı boşaltılmış ve tüpler 30 dak boyunca ters çevrilmiştir. Santrifüj çöktürme hızı (SÇH) aşağıdaki denkleme göre hesaplanmıştır.

$$\text{Santrifüj çöktürme hızı (\%)} = \frac{m_1}{m_2} \times 100$$

m_1 = santrifüj sonrası çökeltinin ağırlığı (g)

m_2 = santrifüj öncesi emülsiyonun ağırlığı (g)

3.2.5.10.4. Stabilite katsayısı

Taze emülsiyonlardan 10 ml tüplere alınmıştır ve 2000 rpm'de 15 dkika santrifüj edilmiştir. Süpernatant kısım distile su ile 100 kat seyreltilmiştir. Örneklerin absorban değerleri, bir UV-Spektrofotometre kullanılarak 750 nm'de okunmuştur ve stabilite katsayısının (R) hesaplanması aşağıdaki denkleme göre yapılmıştır (Li vd., 2019)

$$R(\%) = \frac{A_2}{A_1} \times 100$$

R = stabilite katsayısı

A_1 = ilk örneğin absorbens değeri

A_2 = seyreltilmiş örneğin absorbens değeri

3.2.5.11. Fourier dönüşümü kızılötesi spektroskopisi (FTIR)

Örneklerin moleküler bağ karakterizasyonunu belirlemek için FTIR (IRTracer-100, Shimadzu Corporation, Kyoto, Japonya) spektroskopisi kullanılmıştır. Örnekler oda sıcaklığında cihazın ilgili bölümüne yerleştirilmiş ve 1 cm^{-1} çözünürlükte 500-4000 cm^{-1} spektral aralıkta analiz yapılmıştır (Başyigit vd., 2023).

3.2.5.12. Taramalı Elektron mikroskobu (SEM)

Üretilen protein ve hidrojellerin morfolojik yapısını incelemek amacıyla taramalı elektron mikroskobu (SEM) (ZEISS Sigma 300 Field Emission SEM, Oberkochen, Almanya) kullanılmıştır. Numunelerden net görüntü alabilmek için yüksek vakum altında altın-paladyum ile kaplanmış ve 2.000kx boyutunda görüntüler alınmıştır (Başyigit vd., 2023).

3.2.5.13. Sodyum Dodesil Sülfat Poliakrilamid Jel Elektroforezi (SDS-PAGE)

SDS-page elektriksel alan altında proteinlerin molekül ağırlıklarına göre ayırımı için kullanılan bir tekniktir. Bu teknikte ilk olarak örnekler, (10 mg/ml) numune tamponu içinde (0,1 M Tris-HCl, 0,1 M NaCl ve %10 SDS) çözündürülmüştür (Ata ve ark., 2022) Belirlenen oranda (1:1) hazırlanan yükleme tamponu (%5 Tris-HCl (pH 6,80), %4 gliserol, %0,8 SDS, %0,02 brom fenol mavisi ve %2 β -merkaptoetanol) içeren tüplere aktarılmıştır. Elde edilen karışımlar bir su banyosunda 10 dk süreyle 95°C'ye maruz bırakılmıştır. SDS- page aparatları hazırlanmış ve 10 ml (%12) çözücü jel eklenmiştir. Ardından üzerine saf su eklenmiş ve 30 dk bekleme işleminden sonra eklenen su dökülmüştür. Depolama jeli hazırlanarak cam aparatlara aktarılmıştır. Cihaz tarakları cam aparat arasına yerleştirilmiş ve jelin donması için 30 dk kadar beklenilmiştir. Donmuş jelden taraklar çıkartılmıştır. Ardından cam aparatlar yürütme fanusuna yerleştirilmiş ve örnekler yüklenmiştir. Yürütme işlemi yaklaşık 120 V gerçekleştirilmiştir. İşlem sonunda cam aparatlardan ayrılan jeller sabitleme çözeltisinde 60 dk bekletilmiştir. Bu süre sonunda jeller boyama çözeltisine (60 dk) bırakılmıştır. Son olarak jeller

yıkama çözeltisi ile yıkanarak boyadan arındırılmıştır.

3.2.6. Hidrojel analizleri

3.2.6.1. Su tutma kapasitesi

Üretilmiş olan hidrojellerin su tutma kapasitesini belirlemek için jellerden 2 g tartılarak 3000 rpm’de 20 dk santrifüj edilmiştir. Bu süre sonunda üst faz dikkatlice dökülerek kalan miktar tartılmıştır. Su tutma kapasitesi yüzdesel olarak aşağıdaki denkleme göre hesaplanmıştır (He vd., 2021) .

$$\text{Su tutma kapasitesi (\%)} = \frac{W_2}{W_1} \times 100$$

W_1 = ilk tartım (g)

W_2 = son tartım (g)

3.2.6.2. Şişme oranı

Üretilmiş olan hidrojellerin şişme oranını belirlemek için ilk olarak örneklerden yaklaşık olarak 1 cm yüksekliğinde kesilerek tartılmıştır. Jeller 50 °C’de 30 dk boyunca su banyosunda bekletilmiştir. Bu süre sonunda çıkarılan jeller filtre kağıdı ile kurularak tartımı yapılmıştır (He vd., 2021) Şişme oranı aşağıdaki eşitliğe göre hesaplanmıştır.

$$\text{Şişme oranı} = \frac{W_2 - W_1}{W_1} \times 100$$

W_1 : İlk tartım (g)

W_2 : Son tartım (g)

3.2.6.3. Protein sızıntı miktarı

Protein sızıntı miktarını belirlemek için üretilmiş olan hidrojellerden 2 g tartılmış ve 0.05 M 8 ml sodyum fosfat tamponu içinde 2 saat bekletilmiştir. Bu süre sonunda örnekler 150 rpm’de 30 dk boyunca karıştırmaya bırakılmıştır. Ardından 4000 rpm’de 10 dk santrifüj edilmiş ve üst faz alınmıştır. Üst faza sızan protein

miktarını biüret tekniğini kullanarak elde edilmiştir(He vd., 2021). Hidrojellerdeki protein sızıntı miktarı ise aşağıdaki eşitliğe göre hesaplanmıştır.

$$\text{Protein sızıntı miktarı (\%)} = \frac{\text{üst fazdaki protein miktarı}}{\text{başlangıçtaki protein miktarı}} \times 100$$

3.2.6.4. Tekstür profili

Hidrojellerin tekstürel özelliklerini belirlemek için silindirik prob uçlu (p/0.5) TA-XT plus doku analiz cihazı (Stable Micro Systems Ltd., Godalming, Surrey, UK) kullanılmıştır. Dokusal analiz, HDP/90 podyum kullanılarak 5°C'de gerçekleştirilmiştir. Hidrojellerin sertlik, çiğnenebilirlik, sakızimsılık ve yaylanma özellikleri belirlenmiştir (Demirkıran vd., 2022).

3.2.6.5. Hidrojellerin reoloji davranışları

Hidrojel numunelerinin viskoelastik yapılarını değerlendirmek için reometre (MARS II, Thermo Fisher Scientific, Karlsruhe, Almanya) cihazı ile dinamik reoloji analizi yapılmıştır. Tüm reolojik analizler için 0.5 mm aralıklı ve 20 mm çaplı paralel plaka geometrisi kullanılmıştır. Hidrojel numunelerinin depolama modülü (G') ve kayıp modülü (G'') salınım testi yapılarak tanımlanmıştır. Analiz, sabit doğrusal (1,00 Hz) bir alanda 20°C'den 60°C'ye kadar 5°C/dk artışlarla sıcaklık kontrolü sağlanarak gerçekleştirilmiştir (He vd., 2021).

3.2.6.6. Fenolik salınımı

KÇP bazlı hidrojellerin salınım davranışını değerlendirmek için nar kabuğu fenolikleri kullanılmıştır. Fenolik ekstraksiyonu ve analizi, bazı modifikasyonlarla daha önceki bir çalışmaya göre yapılmıştır (Çam vd., 2014). 10 g kabuk, 100 ml distile su ile karıştırılmış ve 100°C'de 5 dakika ekstraksiyon yapılmıştır. Ardından 4000 rpm'de 10 dk santrifüj edilmiş ve üst faz filtereden geçirilmiştir. 10 ml protein (%30) ve 10 ml pektin (%1) çözeltisi karışımı ile hidrojel üretimi yapılmış ve fenolik salınımı için kullanılmıştır. Fenolik salınımı için hidrojel sistemlerine 2 ml fenolik ekstraktı enjekte edilmiş ve oda sıcaklığında 0.2 M sodyum fosfat tampon çözeltisine aktarılmıştır. İlgili zamanda fenolik içeren 2 ml tampon çözeltisi pipetlenmiş (not: alınan çözeltiye eşit hacimde tampon eklenmiştir). Fenolik çözelti (0.4 ml), 9 kat seyreltilmiş Folin-Ciocalteu fenol ve 1.6 ml sodyum karbonat (%7.5) ile karıştırılmıştır. Oda sıcaklığında (1 saat) inkübasyon işleminden sonra, 765 nm dalga boyunda UV spektrofotometre kullanılarak absorbans okunmuştur. Fenolik içeriğin

hesaplanmasında galilik asit eğrisi kullanılmıştır.

3.2.7. İstatistiksel analizler

Tüm veri setleri üç tekerrür halinde elde edilmiştir. Sonuçlar, OriginPro 2021b (Origin Lab Inc.) kullanılarak oluşturulmuştur. Verilerin istatistiksel değerlendirmesinde One-way ANOVA kullanılmış ve karşılaştırmalar Tukey HSD testi ile yapılmıştır ($p < 0.05$). Bu analizler Windows için SPSS 22 istatistik paketi (SPSS Inc., Chicago, IL, ABD) kullanılarak yapılmıştır.



4. BULGULAR

4.1. Kayısı Çekirdeği Protein Ekstraksiyon Verimi

Çalışmada maksimum proses verimi elde etmek amacıyla kayısı çekirdeğinden protein ekstraksiyonu için 10 farklı yöntem uygulanmıştır. İzolasyon sonucu elde edilen ekstraksiyon verimleri Çizelge 4.1.'de verilmiştir. Ekstraksiyon verimleri %2.32-15.62 aralığında bulunmuştur. MÇ (%1.80), AÇ (%2.32), TCA-AÇ (%3.45), TCAÇ (%2.83), ASE (%3.25), MASE (%4.05) ve UASE (% 4.029) uygulandığında değerlerin istenilen seviyelerde olmadığı tespit edilmiştir. En yüksek verim değerlerinin alkali (%10.47), mikrodalga destekli alkali (%15.30) ve ultrason destekli alkali (%15.62) tekniklerle elde edildiği belirlenmiştir. Verim değerlerinin istatistiksel olarak farklı olduğu görülmüştür ($p < 0.05$).

Çizelge 4.1. Protein ekstraksiyon teknikleri ve verim değerleri

Ekstraksiyon Tekniği	Ekstraksiyon çözücüsü	Ekstraksiyon koşulları	Çöktürme solusyonu	Çöktürme pH	Ekstraksiyon verimi (%)
Alkali ekstraksiyon	NaOH	37°C/ 2 saat	HCl	4.5	10.47 ±0.02 ^a
Mikrodalga destekli alkali ekstraksiyon	NaOH	600 W/ 10 dak	HCl	4.5	15.30±0.26 ^f
Ultrason destekli alkali ekstraksiyon	NaOH	37°C / 10 dak	HCl	4.5	15.62±0.91 ^f
Aseton ile çöktürme	Buffer (Tris-HCl, gliserol ve β-ME)	4 °C/ 7 saat	Aseton	-	2.32±0.12 ^b
Trikloroasetik asit-aseton ile çöktürme	Buffer (Tris-HCl, gliserol ve β-ME)	4 °C/ 7 saat	Aseton içinde B-mercaptoethanol ve trikloroasetik asit	-	3.45±0.38 ^c
Trikloroasetik asit çöktürme	Buffer (Tris-HCl, gliserol ve β-ME)	4 °C/ 7 saat	Trikloroasetik asit	-	2.83±0.10 ^b
Asidik ekstraksiyon	Saf su	37 °C/ 2 saat	HCl	4.5	3.25±0.24 ^c
Mikrodalga destekli asidik ekstraksiyon	Saf su	600 W/ 10 dak	HCl	4.5	4.045±0.03 ^d
Ultrason destekli asidik ekstraksiyon	Saf su	37 °C/ 10 dak	HCl	4.5	4.029±0.50 ^d
Misellar çöktürme	NaOH	37°C/ 24 saat	HCl	-	1.84±0.02 ^a

Örnekler arasındaki istatistiksel farklılıklar aynı sütunda farklı harflerle gösterildi ($p < 0.05$).

4.2. Farklı ekstraksiyon teknikleri ile üretilen proteinlerin kimyasal bileşeni

Üretilmiş proteinlerin fizikokimyasal özellikleri olarak nem, mineral madde, protein, yağ miktarı, su aktivitesi ve renk özellikleri değerlendirilmiştir. Fizikokimyasal özelliklerinin parametreleri Çizelge 4.2’de verilmiştir. Protein miktarları alkali (%68), mikrodalga destekli alkali ekstraksiyon (%74.96) ve ultrason destekli alkali ekstraksiyon (%75.93) proteini olduğu tespit edilmiştir. Düşük nem ve su aktivitesi değerleri elde edilmiştir. Yağ miktarları %5-7, kül miktarı içeriği ise %3-5 aralığında olduğu belirlenmiştir. Renk parametrelerinden L*, a* ve b* verileride tespit edilmiştir.

Çizelge 4.2. Püskürterek kurutma proteinlerin kimyasal bileşimi

Parametreler	Birim	AE	ME	UE
Nem miktarı	%	2.59±0.17 ^a	2.60±0.07 ^a	2.11±0.16 ^a
Mineral madde miktarı	%	4.88±0.25 ^b	4.65±0.15 ^b	3.33±0.98 ^a
Su aktivitesi (aw)	-	0.37±0.02 ^c	0.27±0.00 ^b	0.24±0.00 ^a
Yağ miktarı	%	6.81±0.23 ^b	5.15±0.29 ^a	5.24±0.40 ^a
Protein miktarı	%	68±0.00 ^a	74.96±0.75 ^b	75.93±1.08 ^b
L* (aydınlık-karanlık)	-	80.65±0.35 ^b	79.09±0.26 ^b	73.28±0.99 ^a
a* (kırmızı-yeşil)	-	4.06±0.01 ^a	5.65±0.07 ^b	5.52±0.03 ^b
b* (sarı-mavi)	-	9.33±0.22 ^{ab}	10.06±0.13 ^b	8.94±0.18 ^a

Sonuçlar 3 tekrürlü olarak yapılmıştır. Ortalamalar ±standart sapma olarak gösterilmiştir. Örnekler arasındaki istatistiksel farklılıklar aynı satırda farklı harflerle gösterildi (p <0.05). AE: Alkali ekstraksiyon, ME: Mikrodalga destekli alkali ekstraksiyon, UE: Ultrason destekli alkali ekstraksiyon.

4.3. Proteinlerin yağ bağlama ve emülsiyon özellikleri

Farklı ekstraksiyon teknikleri ile üretilen kayısı çekirdeği proteininin yağ bağlama, emülsiyon aktivite-stabilite, santrifüj çöktürme hızı ve stabilite katsayısı verileri Çizelge 4.3.’te verilmiştir. Ekstraksiyonlar arasında en iyi özellikleri mikrodalga destekli alkali ekstraksiyon proteinlerde olduğu belirlenmiştir. Bunu sırasıyla ultrason destekli alkali ve alkali ekstraksiyon takip etmektedir. Ekstraksiyonlar arası yağ bağlama ve emülsiyon özellikleri farklılık göstermiş, bu farklılık istatistiksel olarak önemli bulunmuştur (p<0.05).

Çizelge 4.3. Proteinlerin yağ bağlama ve emülsiyon özellikleri

Analizler	Birim	AE	ME	UE
Yağ bağlama kapasitesi	%	91.46±0.99 ^a	180.80±1.40 ^c	145.42±1.04 ^b
Emülsiyon aktivite indeksi	m ² /kg	37.41±1.35 ^a	44.80±0.99 ^c	41.93±0.81 ^b
Emülsiyon stabilite indeksi	dk	15.77±0.72 ^a	22.12±1.15 ^b	21.94±0.60 ^b
Santrifüj çöktürme hızı	%	36.84±0.81 ^c	30.86±0.83 ^a	33.82±0.97 ^{ab}
Stabilite katsayısı (R)	-	0.45±1.02 ^a	0.66±0.79 ^c	0.48±0.87 ^b

Veri setleri ortalama ± standart sapma olarak ifade edildi. Örnekler arasındaki istatistiksel farklılıklar aynı satırda farklı harflerle gösterildi (p < 0.05). AE: Alkali ekstraksiyon, ME: Mikrodalga destekli alkali ekstraksiyon, UE: Ultrason destekli alkali ekstraksiyon.

4.4. Protein modifikasyonunun deneme sonuçları

Proteinlere uygulanacak olan modifikasyon teknikleri klasik ısıtma, mikrodalga ısıtma ve ultraviyole radyasyon işlemleri literatür taraması yapılarak denemeler uygulanmıştır. Farklı sıcaklık, güç ve sürelerde ön denemeler gerçekleştirilip fonksiyonel özellikleri incelenmiştir. Köpük oluşturma kapasitesi ve stabilitesi Çizelge 4.4'te ve yağ bağlama ile emülsiyon aktivitesi verileri Çizelge 4.5'te verilmiştir.

Çizelge 4.4. KÇP modifikasyon denemesinin köpük oluşturma kapasitesi ve 10. ve 30. dk köpük oluşturma stabiliteleri

Modifikasyon Tekniği	Parametre	Süre	KOK (%)	KOS 10	KOK 30
Klasik ısıtma	50 °C	15 dk	26.00±0.00 ^a	3.17±0.00 ^A	6.15±0.00 ¹
		20 dk	28.00±0.00 ^b	3.12±0.00 ^A	6.06±0.00 ¹
		30 dk	32.00±0.00 ^c	4.54±0.00 ^B	4.34±0.00 ²
		40 dk	34.00±0.00 ^d	5.97±0.00 ^C	7.04±0.00 ³
	60 °C	15 dk	30.00±0.00 ^a	9.61±0.38 ^C	5.26±0.69 ¹²
		20 dk	34.00±0.00 ^b	5.97±0.00 ^A	5.63±0.00 ¹
		30 dk	48.00±0.00 ^d	12.83±0.67 ^D	14.37±0.86 ⁴
		40 dk	44.00±0.00 ^c	6.94±0.00 ^B	7.79±0.00 ³
Mikrodalga ısıtma	360 W	5 dk	30.00±0.00 ^a	4.23±0.38 ^B	2.58±0.59 ¹
		10 dk	30.00±0.00 ^a	3.07±0.00 ^A	4.47±0.00 ²
		15 dk	41.00±1.00 ^b	4.25±0.30 ^B	4.76±0.71 ²³
	600 W	5 dk	49.00±1.00 ^a	5.36±0.36 ^B	5.09±0.02 ¹
		10 dk	60.00±0.00 ^c	6.17±0.00 ^C	5.81±0.00 ²
		15 dk	50.00±0.00 ^{ab}	4.66±0.66 ^A	5.09±0.12 ¹
Ultraviyole radyasyon	40 °C	10 dk	30.00±0.00 ^a	3.07±0.00 ^A	4.47±0.00 ¹
		20 dk	34.00±0.00 ^c	4.47±0.00 ^B	5.00±0.71 ¹²
		30 dk	32.00±0.00 ^b	3.07±0.00 ^A	7.14±0.00 ³
		40 dk	30.00±0.00 ^a	9.23±0.00 ^C	7.04±0.00 ³
	60 °C	10 dk	30.00±0.00 ^a	7.69±0.00 ^B	6.78±0.57 ²
		20 dk	32.00±0.00 ^b	9.09±0.00 ^D	6.94±0.00 ²
		30 dk	55.00±0.00 ^c	8.55±0.55 ^{CD}	11.51±0.75 ³
		40 dk	30.00±0.00 ^a	4.61±0.00 ^A	5.14±0.73 ¹

Veri setleri ortalama ± standart sapma olarak ifade edildi. Örnekler arasındaki istatistiksel farklılıklar aynı sütunda farklı harflerle ve sayılarla gösterildi (p < 0.05). KOK: Köpük oluşturma kapasitesi, KOS 10: 10. dk köpük oluşturma stabilitesi, KOS 30: 30 dk köpük oluşturma stabilitesi.

Çizelge 4.5. KÇP modifikasyon denemesini yağ bağlama kapasitesi ve emülsiyon özellikleri

Modifikasyon	Parametreler	Süre	YBK (%)	EAI (m ² /g)
Klasik ısıtma Uygulama	50 °C	15 dk	116.51±0.40 ^a	23.65±0.14 ¹
		20 dk	135.17±0.39 ^c	25.55±0.69 ²
		30 dk	144.41±1.40 ^d	27.59±0.73 ³
		40 dk	131.12±0.86 ^b	27.91±0.28 ³
	60 °C	15 dk	192.20±0.52 ^a	33.36±0.42 ²³
		20 dk	224.54±0.81 ^c	37.03±0.59 ⁴
		30 dk	197.76±0.26 ^b	31.94±0.14 ¹²
		40 dk	192.83±0.56 ^a	30.17±0.77 ¹
Mikrodalga Uygulama	360 W	5 dk	144.77±0.09 ^a	25.79±0.03 ¹
		10 dk	192.06±0.15 ^b	34.50±0.49 ²
		15 dk	208.49±0.45 ^c	35.52±0.11 ²
	600 W	5 dk	189.17±0.59 ^a	24.70±0.60 ¹
		10 dk	235.50±0.31 ^b	44.82±0.90 ³
		15 dk	201.94±0.19 ^c	32.09±0.11 ²
Ultraviyole radyasyon	40 °C	10 dk	198.82±0.75 ^c	27.50±0.20 ²
		20 dk	199.83±0.22 ^c	34.25±0.35 ³
		30 dk	187.94±0.11 ^b	26.56±0.11 ¹
		40 dk	143.99±0.35 ^a	25.07±0.82 ¹
	60 °C	10 dk	199.94±0.81 ^a	35.33±0.11 ²
		20 dk	199.37±0.84 ^a	36.49±0.55 ²
		30 dk	230.06±0.44 ^c	40.31±0.26 ³
		40 dk	228.93±0.78 ^b	28.63±0.44 ¹

Veri setleri ortalama ± standart sapma olarak ifade edildi. Örnekler arasındaki istatistiksel farklılıklar aynı sütunda farklı harflerle ve sayılarla gösterildi (p <0.05). YBK: Yağ bağlama kapasitesi, EAI: Emülsiyon aktivite indeksi.

4.5. Kayısı çekirdeği proteininin fonksiyonel özellikleri

4.5.1. KÇP ve modifiye KÇP'nin köpük oluşturma kapasitesi ve stabilite indeksi

Farklı tekniklerle üretilen ve modifiye edilen proteinlerin köpük oluşturma kapasitesi ve stabilitesi verileri Çizelge 4.6., 4.7. ve 4.8'de verilmiştir. En düşük köpük oluşturma kapasitesi ve stabilitesi değerlerinin klasik ısıtma modifikasyon tekniğinde olduğu tespit edilmiştir. En yüksek köpük oluşturma kapasitesi ve stabilitesi değerlerinin ise mikrodalga ısıtma modifikasyon tekniğinde görülmüştür. Köpük özelliklerinin pH ya göre de farklılık gösterdiği belirlenmiştir.

Çizelge 4.6. KÇP ve modifiye KÇP'nin köpük oluşturma kapasitesi (%)

Örnek	pH2	pH4	pH6	pH8	pH10	pH12
AE	31.00±1.00 ^{cAB}	15.00±1.00 ^{aA}	26.00±0.00 ^{bE}	33.5±0.50 ^{dD}	44.00±0.00 ^{efA}	43.00±1.00 ^{eAB}
ME	34.5±0.00 ^{cC}	17.00±0.00 ^{cC}	25.00±0.00 ^{bD}	35.00±1.00 ^{cDF}	52.00±0.50 ^{eCD}	47.00±0.00 ^{dD}
UE	31.00±1.00 ^{bAB}	24.00±0.00 ^{aF}	31.00±1.00 ^{bGH}	42.00±0.00 ^{cH}	55.00±1.00 ^{efF}	53.00±1.00 ^{dG}
AE-KI	30.00±0.00 ^{dA}	16.00±0.00 ^{aB}	18.00±0.00 ^{bA}	28.00±0.00 ^{cA}	46.00±0.00 ^{fB}	45.00±0.00 ^{eC}
ME-KI	42.00±0.00 ^{eF}	20.00±0.00 ^{aD}	26.00±0.00 ^{bE}	30.00±0.00 ^{cB}	51.00±0.00 ^{dC}	50.00±0.00 ^{dE}
UE-KI	31.00±1.00 ^{bAB}	20.00±0.00 ^{aD}	20.00±0.00 ^{aB}	30.00±0.00 ^{bB}	54.00±0.00 ^{dE}	50.00±0.00 ^{eE}
AE-MI	30.00±0.00 ^{dA}	22.00±0.00 ^{aE}	26.00±0.00 ^{bE}	28.00±0.00 ^{cA}	46.00±0.00 ^{fB}	42.00±0.00 ^{aA}
ME-MI	40.00±0.00 ^{dD}	28.00±0.00 ^{aH}	30.00±0.00 ^{bG}	38.00±0.00 ^{cG}	60.00±0.00 ^{eH}	60.00±0.00 ^{eH}
UE-MI	32.00±0.00 ^{dB}	26.00±0.00 ^{aG}	28.00±0.00 ^{bF}	30.00±0.00 ^{cB}	56.00±0.00 ^{fG}	54.00±0.00 ^{eG}
AE-UV	34.00±0.00 ^{dC}	20.00±0.00 ^{aD}	24.00±0.00 ^{bC}	29.5±0.50 ^{cB}	52.00±0.00 ^{dD}	51.00±0.00 ^{eF}
ME-UV	44.00±0.00 ^{dE}	28.00±0.00 ^{aH}	30.00±0.00 ^{bG}	36.00±0.00 ^{cF}	55.00±0.00 ^{fF}	53.00±0.00 ^{eG}
UE-UV	40.00±0.00 ^{dD}	26.00±0.00 ^{aG}	26.00±0.00 ^{aE}	32.00±0.00 ^{bC}	54.00±0.00 ^{eE}	50.00±0.00 ^{dE}

Veri setleri ortalama ± standart sapma olarak ifade edildi. Tukey testine göre aynı satırdaki farklı küçük harfler ile belirtilen, aynı sütunda farklı büyük harfler ile belirtilen veriler istatistik olarak birbirinden farklıdır (p<0.05). AE: Alkali ekstraksiyon, ME: Mikrodalga destekli alkali ekstraksiyon, UE: Ultrason destekli alkali ekstraksiyon, AE-KI: Alkali ekstraksiyon-Klasik ısıtma, ME-KI: Mikrodalga destekli alkali ekstraksiyon-Klasik ısıtma, UE-KI: Ultrason destekli alkali ekstraksiyon-Klasik ısıtma, AE-MI: Alkali ekstraksiyon-Mikrodalga ısıtma, ME-MI: Mikrodalga destekli alkali ekstraksiyon-Mikrodalga ısıtma, UE-MI: Ultrason destekli alkali ekstraksiyon-Mikrodalga ısıtma, AE-UV: Alkali ekstraksiyon-Ultraviyole radyasyon, ME-UV: Mikrodalga destekli alkali ekstraksiyon-Ultraviyole radyasyon, UE-UV: Ultrason destekli alkali ekstraksiyon-Ultraviyole radyasyon.

Çizelge 4.7. KÇP ve modifiye KÇP'nin 30 dk köpük oluşturma stabiliteeri

Örnek	pH2	pH4	pH6	pH8	pH10	pH12
AE	12.90±0.08 ^{aA}	5.21±0.04 ^{aA}	7.14±0.79 ^{bA}	10.11±0.33 ^{cA}	11.11±0.25 ^{cdA}	12.66±0.66 ^{eB}
ME	11.78±0.37 ^{cA}	5.12±0.04 ^{aA}	7.81±0.00 ^{bA}	11.07±0.42 ^{cA}	13.71±0.38 ^{dB}	13.29±0.79 ^{dB}
UE	11.19±1.47 ^{cdA}	5.64±0.80 ^{aA}	6.87±0.81 ^{abA}	10.81±0.00 ^{cA}	13.38±0.70 ^{eB}	13.83±0.77 ^{cC}
AE-KI	12.19±0.40 ^{deA}	5.44±0.00 ^{aA}	7.08±0.00 ^{bA}	10.46±0.78 ^{cA}	11.29±0.50 ^{dA}	12.15±0.66 ^{deAB}
ME-KI	12.45±0.00 ^{eA}	5.00±0.00 ^{aA}	7.34±0.00 ^{bA}	10.92±0.76 ^{cA}	12.83±0.67 ^{eB}	11.84±0.00 ^{dAB}
UE-KI	12.40±0.82 ^{eA}	5.33±0.00 ^{aA}	7.00±0.00 ^{bA}	10.15±0.00 ^{cA}	12.00±0.80 ^{eAB}	10.66±0.00 ^{dA}
AE-MI	14.29±0.00 ^{dB}	5.91±0.00 ^{aA}	8.76±0.00 ^{bB}	12.25±0.00 ^{cB}	13.46±0.64 ^{dB}	12.87±0.00 ^{cB}
ME-MI	15.00±0.00 ^{dC}	6.75±0.00 ^{aB}	9.15±0.00 ^{bC}	13.24±0.00 ^{cC}	15.62±0.62 ^{deC}	13.04±0.00 ^{cC}
UE-MI	14.07±0.70 ^{dB}	6.34±0.00 ^{aB}	8.25±0.00 ^{bB}	12.69±0.00 ^{cB}	14.16±0.68 ^{deC}	12.42±0.33 ^{cB}
AE-UV	13.16±0.10 ^{eAB}	5.00±0.00 ^{aA}	8.16±0.00 ^{bB}	9.92±0.40 ^{cA}	13.01±0.82 ^{eB}	12.03±0.78 ^{dB}
ME-UV	14.33±0.40 ^{eB}	5.68±0.00 ^{aAA}	8.84±0.76 ^{bBC}	10.35±0.00 ^{cA}	14.19±0.09 ^{eBC}	13.58±0.00 ^{dC}
UE-UV	13.14±0.00 ^{eAB}	5.76±0.00 ^a	8.26±0.00 ^{bB}	10.06±0.00 ^{cA}	13.50±0.65 ^{eB}	12.12±0.62 ^{dB}

Veri setleri ortalama ± standart sapma olarak ifade edildi. Tukey testine göre aynı satırdaki farklı küçük harfler ile belirtilen, aynı sütunda farklı büyük harfler ile belirtilen veriler istatistik olarak birbirinden farklıdır (p<0.05). AE: Alkali ekstraksiyon, ME: Mikrodalga destekli alkali ekstraksiyon, UE: Ultrason destekli alkali ekstraksiyon, AE-KI: Alkali ekstraksiyon-Klasik ısıtma, ME-KI: Mikrodalga destekli alkali ekstraksiyon-Klasik ısıtma, UE-KI: Ultrason destekli alkali ekstraksiyon-Klasik ısıtma, AE-MI: Alkali ekstraksiyon-Mikrodalga ısıtma, ME-MI: Mikrodalga destekli alkali ekstraksiyon-Mikrodalga ısıtma, UE-MI: Ultrason destekli alkali ekstraksiyon-Mikrodalga ısıtma, AE-UV: Alkali ekstraksiyon-Ultraviyole radyasyon, ME-UV: Mikrodalga destekli alkali ekstraksiyon-Ultraviyole radyasyon, UE-UV: Ultrason destekli alkali ekstraksiyon-Ultraviyole radyasyon.

Çizelge 4.8. KÇP ve modifiye KÇP'nin 60 dk köpük oluşturma stabiliteeri

Örnek	pH2	pH4	pH6	pH8	pH10	pH12
AE	6.08±0.53 ^{aA}	5.11±1.57 ^{aA}	6.24±0.00 ^{BC}	7.01±0.98 ^{abC}	7.25±0.00 ^{AB}	7.52±0.00 ^{aA}
ME	5.86±0.30 ^{aA}	4.54±0.45 ^{aA}	5.19±0.77 ^{AB}	5.44±0.03 ^{aA}	7.90±0.00 ^{AB}	7.43±0.00 ^{aA}
UE	7.57±0.62 ^{bB}	5.69±0.85 ^{aA}	7.03±0.00 ^{BD}	7.00±0.33 ^{bC}	6.47±0.58 ^{abA}	7.61±0.61 ^{bA}
AE-KI	8.57±0.00 ^{cC}	4.91±0.41 ^{aA}	4.83±0.00 ^{AB}	7.40±0.00 ^{bC}	8.66±0.66 ^{dB}	9.63±0.00 ^{dB}
ME-KI	10.08±0.00 ^{cE}	4.17±0.00 ^{aA}	5.97±0.00 ^{AB}	7.91±0.77 ^{bC}	10.38±0.00 ^{CD}	10.57±0.00 ^{cC}
UE-KI	9.85±0.00 ^{dD}	4.22±0.00 ^{aA}	5.55±0.00 ^{bB}	7.24±0.00 ^{cC}	9.41±0.32 ^{dB}	9.87±0.00 ^{dB}
AE-MI	7.14±0.00 ^{bB}	4.68±0.00 ^{aA}	5.54±0.00 ^{bB}	7.21±0.00 ^{bC}	8.47±0.61 ^{dB}	8.42±0.56 ^{cAB}
ME-MI	10.38±0.00 ^{cE}	5.88±0.00 ^{aB}	7.24±0.00 ^{BD}	7.75±0.00 ^{bC}	11.60±0.67 ^{dD}	12.90±0.00 ^{dD}
UE-MI	8.45±0.00 ^{cC}	5.97±0.00 ^{aB}	5.88±0.00 ^{aB}	7.42±0.00 ^{bC}	9.39±0.69 ^{dB}	9.88±0.00 ^{dB}
AE-UV	6.94±0.00 ^{bB}	4.96±0.79 ^{aA}	3.78±0.75 ^{aA}	6.88±0.00 ^{bB}	8.18±0.04 ^{dB}	9.86±0.63 ^{cB}
ME-UV	7.05±0.64 ^{dB}	5.97±0.00 ^{aB}	3.70±0.00 ^{aA}	6.84±0.00 ^{bB}	10.73±0.50 ^{deCD}	10.00±0.20 ^{cC}
UE-UV	6.66±0.00 ^{bB}	4.54±0.00 ^{aA}	4.12±0.00 ^{aAB}	7.09±0.00 ^{cC}	11.11±0.64 ^{dD}	10.50±0.61 ^{dC}

Veri setleri ortalama ± standart sapma olarak ifade edildi. Tukey testine göre aynı satırdaki farklı küçük harfler ile belirtilen, aynı sütunda farklı büyük harfler ile belirtilen veriler istatistik olarak birbirinden farklıdır (p<0.05). AE: Alkali ekstraksiyon, ME: Mikrodalga destekli alkali ekstraksiyon, UE: Ultrason destekli alkali ekstraksiyon, AE-KI: Alkali ekstraksiyon-Klasik ısıtma, ME-KI: Mikrodalga destekli alkali ekstraksiyon-Klasik ısıtma, UE-KI: Ultrason destekli alkali ekstraksiyon-Klasik ısıtma, AE-MI: Alkali ekstraksiyon-Mikrodalga ısıtma, ME-MI: Mikrodalga destekli alkali ekstraksiyon-Mikrodalga ısıtma, UE-MI: Ultrason destekli alkali ekstraksiyon-Mikrodalga ısıtma, AE-UV: Alkali ekstraksiyon-Ultraviyole radyasyon, ME-UV: Mikrodalga destekli alkali ekstraksiyon-Ultraviyole radyasyon, UE-UV: Ultrason destekli alkali ekstraksiyon-Ultraviyole radyasyon.

4.5.2. Modifiye edilmiş proteinlerin yağ bağlama ve emülsiyon özellikleri

Farklı ekstraksiyon teknikleri ile üretilen ve modifiye edilen kayısı çekirdeği proteininin yağ bağlama, emülsiyon aktivite-stabilite, santrifüj çöktürme hızı ve

stabilite katsayısı verileri Çizelge 4.9.'da verilmiştir. Ekstraksiyonlar arasında en iyi özellikleri mikrodalga destekli alkali ekstraksiyon proteinlerde olduğu belirlenmiştir. Bunu sırasıyla ultrason destekli alkali ve alkali ekstraksiyon takip etmektedir. Modifikasyon sonucu ise en iyi yağ bağlama ve emülsiyon özelliklerin mikrodalga ısıtma proteinlerinde olduğu ve bunu sırasıyla ultraviyole radyasyon, klasik ısıtma takip etmektedir.

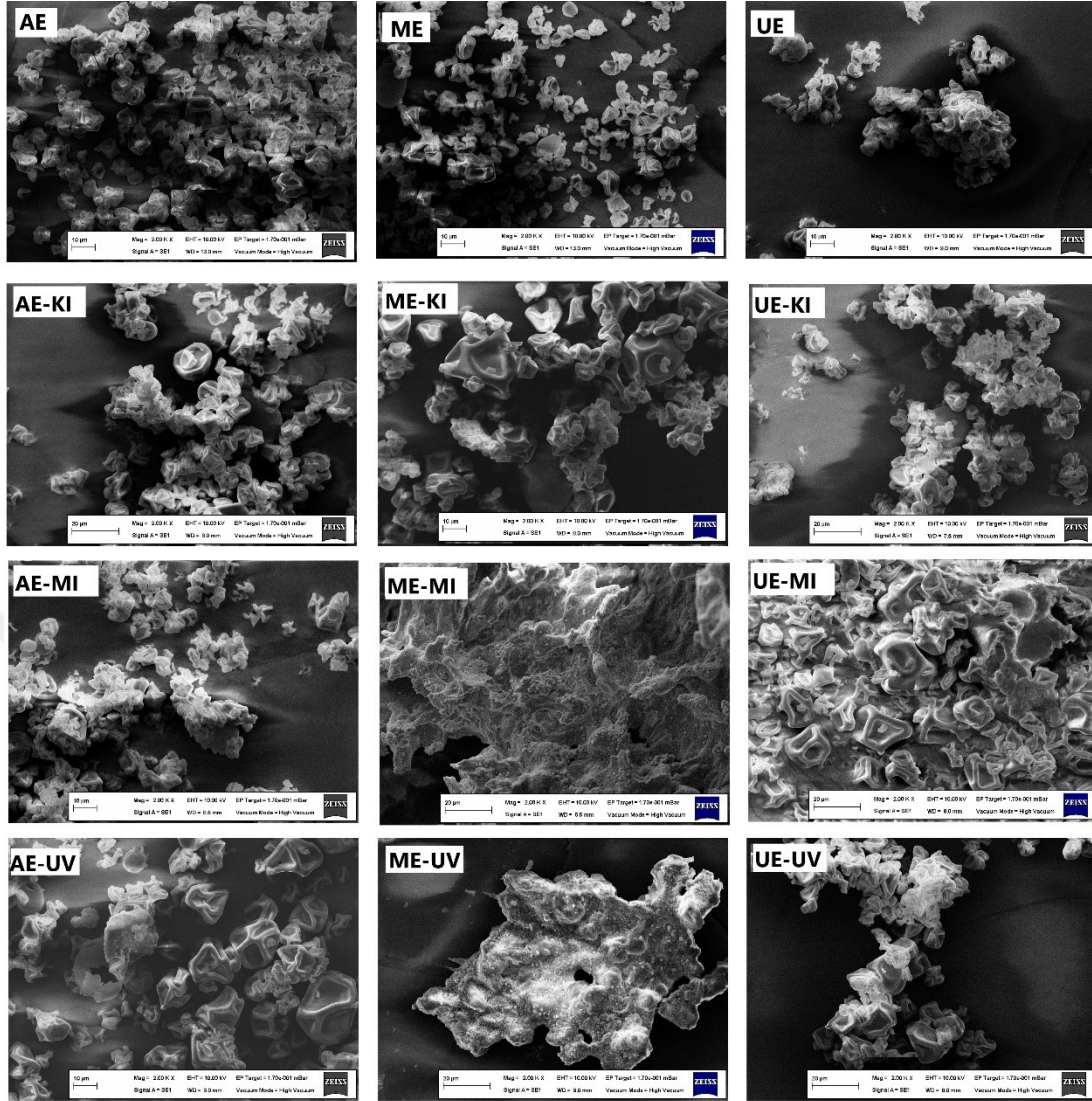
Çizelge 4.9. KÇP ve modifiye KÇP'nin emülsiyon özellikleri

Örnekler	YBK (%)	EAI (%)	ESI (m ² /g)	SÇH	SK
AE	91.46±0.99 ^a	37.41±1.35 ^a	15.77±0.72 ^a	36.84±0.81 ^h	0.45±0.05 ^a
ME	180.80±1.40 ^c	44.80±0.99 ^d	22.12±1.15 ^b	30.86±0.83 ^e	0.66±0.01 ^d
UE	145.42±1.04 ^b	41.93±0.81 ^c	21.94±0.60 ^b	33.82±0.97 ^f	0.48±0.00 ^b
AE-KI	224.54±0.81 ^d	37.03±0.59 ^a	25.41±0.20 ^c	35.40±0.10 ^g	0.64±0.08 ^c
ME-KI	238.26±0.38 ^h	41.32±0.38 ^c	31.49±0.98 ^e	28.07±0.34 ^d	0.71±0.00 ^g
UE-KI	233.13±0.66 ^f	39.11±0.12 ^{ab}	30.03±0.39 ^e	31.99±0.94 ^e	0.70±0.00 ^f
AE-MI	235.50±0.31 ^g	44.82±0.90 ^d	29.33±0.17 ^{de}	29.05±0.67 ^d	0.71±0.00 ^g
ME-MI	264.65±0.90 ^k	46.77±0.79 ^e	33.84±0.91 ^f	22.78±0.92 ^a	0.82±0.10 ^k
UE-MI	261.09±0.62 ⁱ	45.56±0.64 ^{de}	33.55±0.06 ^f	25.51±0.11 ^b	0.78±0.00 ⁱ
AE-UV	230.06±0.44 ^e	40.31±0.26 ^b	27.04±0.79 ^d	31.69±0.46 ^e	0.67±0.00 ^e
ME-UV	255.80±0.70 ^j	41.61±0.53 ^c	28.52±0.28 ^d	26.97±0.06 ^c	0.77±0.00 ^j
UE-UV	255.93±0.92 ^j	40.38±0.84 ^b	28.68±0.71 ^{de}	28.34±0.20 ^d	0.73±0.00 ^h

Veri setleri ortalama ± standart sapma olarak ifade edildi. Tukey testine göre aynı sütunda farklı küçük harfler ile belirtilen veriler istatistik olarak birbirinden farklıdır (p<0.05). AE: Alkali ekstraksiyon, ME: Mikrodalga destekli alkali ekstraksiyon, UE: Ultrason destekli alkali ekstraksiyon, AE-KI: Alkali ekstraksiyon-Klasik ısıtma, ME-KI: Mikrodalga destekli alkali ekstraksiyon-Klasik ısıtma, UE-KI: Ultrason destekli alkali ekstraksiyon-Klasik ısıtma, AE-MI: Alkali ekstraksiyon-Mikrodalga ısıtma, ME-MI: Mikrodalga destekli alkali ekstraksiyon-Mikrodalga ısıtma, UE-MI: Ultrason destekli alkali ekstraksiyon-Mikrodalga ısıtma, AE-UV: Alkali ekstraksiyon-Ultraviyole radyasyon, ME-UV: Mikrodalga destekli alkali ekstraksiyon-Ultraviyole radyasyon, UE-UV: Ultrason destekli alkali ekstraksiyon-Ultraviyole radyasyon.

4.6. Kayısı çekirdeği proteini ve modifiye edilmiş proteinlerin SEM görüntüleri

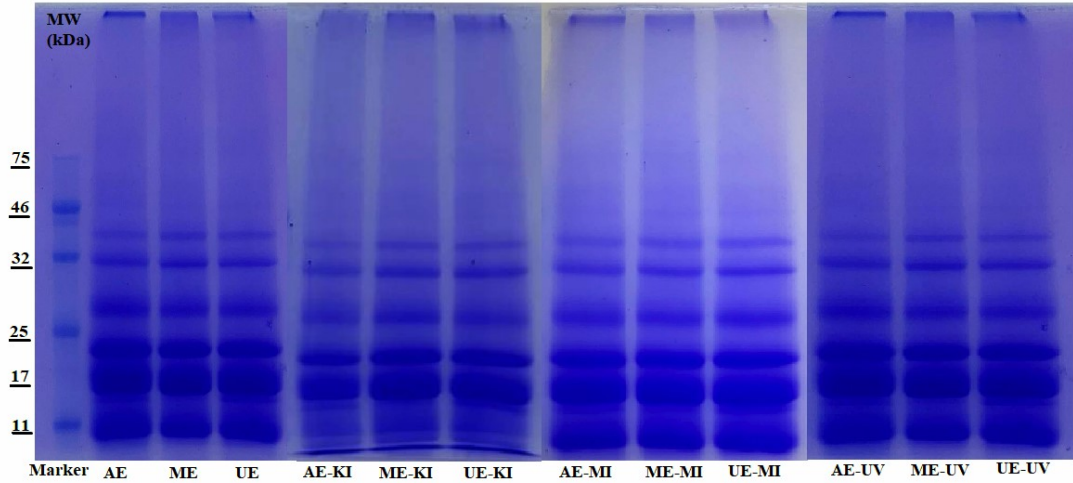
Ekstraksiyon sonucu üretilen ve modifiye edilen kayısı çekirdeği proteinlerinin SEM görüntüleri Şekil 4.1.'de verilmiştir. Tüm örneklerin mikro yapısında farklılık olduğu tespit edilmiştir. Ekstraksiyon ve modifikasyon teknikleri proteinlerin yapısında değişiklik meydana getirmiştir.



Şekil 4.1. KÇP ve modifiye edilmiş KÇP'nin SEM görüntüleri

4.7. Sodyum Dodesil Sülfat Poliakrilamid Jel Elektroföresi (SDS-PAGE)

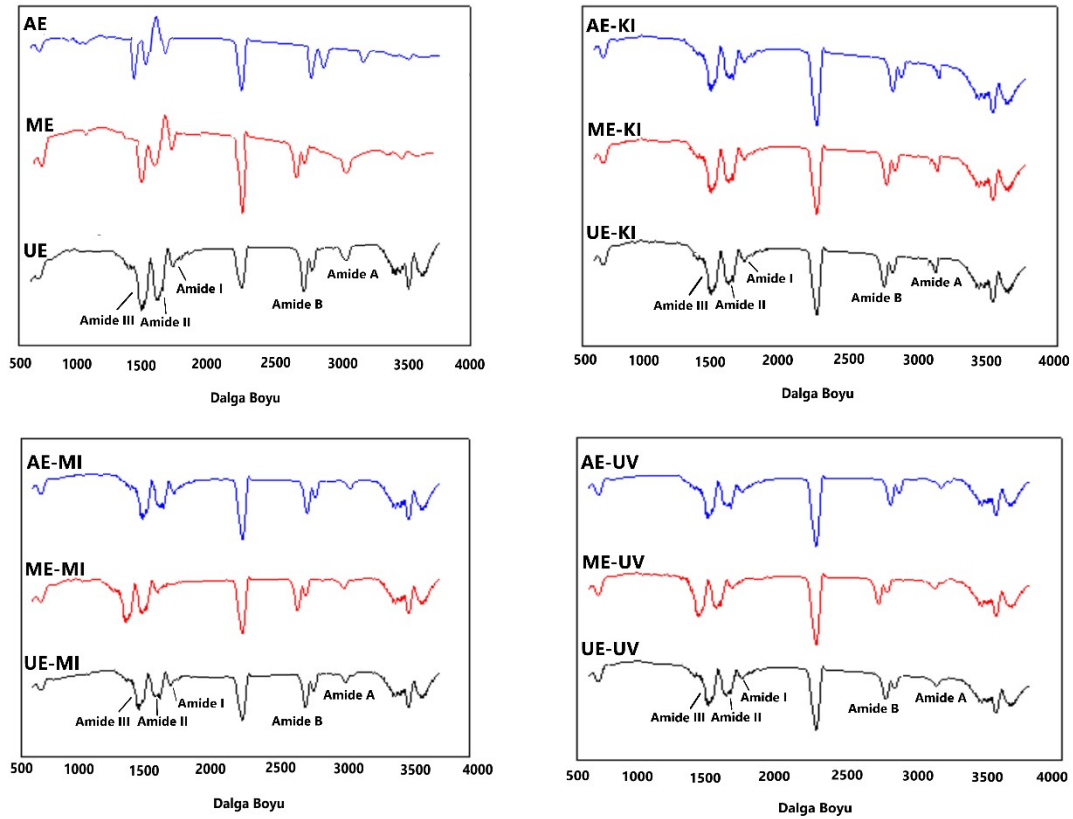
Farklı ekstraksiyon tekniği ile üretilen kayısı çekirdeği proteini ve bu proteinlerin modifikasyonu sonucu molekül ağırlıkları SDS-page analizi ile değerlendirildi. Proteinlerin SDS görüntüleri Şekil 4.2.'de gösterilmektedir. Kayısı ekirdeği proteinlerinin moleküller ağırlığında herhangi bir değişim bulunmamıştır.



Şekil 4.2. KÇP ve modifiye edilmiş KÇP'nin SDS-page

4.8. Fourier dönüşümü kızılötesi spektroskopisi (FT-IR)

Farklı ekstraksiyon teknikleri ile üretilen ve modifiye edilen kayısı çekirdeği proteinlerinin bağ yapılarının değişimi FT-IR analizi ile incelenmiştir. FI-IR spektrumları Şekil 4.3'te verilmiştir. Ekstraksiyon tekniklerinin yapıları etkilediği tespit edilmiştir. Modifikasyon tekniklerinin de bağ yapılarını etkilediği belirlenmiştir.



Şekil 4.3. KÇP ve modifiye edilmiş KÇP'nin FT-IR spektrumları

4.9. Hidrojel analizleri

4.9.1. Hidrojel örneklerinin renk özellikleri

KÇP ve modifiye edilmiş KÇP'den üretilen hidrojellerin renk parametre değerleri Çizelge 4.10'de verilmiştir. Hidrojellerin renk değerleri örnekler arasında farklılık göstermiştir ($p < 0.05$). Ekstraksiyon ve modifikasyon teknikleri protein rengini değiştirdiği için renk verileride değişim göstermiştir.

Çizelge 4.10. KÇP ve modifiye KÇP hidrojel renk değerleri

Hidrojel tipi	Örnekler	L*	a*	b*
Ekstrakte edilmiş protein hidrojelleri	AE-H	54.87±0.26 ^g	3.44±0.31 ^a	7.19±0.81 ^b
	ME-H	53.47±0.51 ^g	4.60±0.30 ^b	6.47±0.53 ^a
	UE-H	53.71±0.48 ^g	4.64±0.51 ^b	6.45±0.65 ^a
Modifiye edilmiş protein hidrojelleri	AE-KI-H	53.38±0.69 ^g	5.40±0.74 ^c	9.41±0.46 ^d
	ME-KI-H	50.40±0.54 ^f	5.99±0.47 ^{cd}	8.08±0.49 ^{bc}
	UE-KI-H	49.13±0.75 ^{ef}	5.85±0.61 ^{cd}	8.03±0.61 ^{bc}
	AE-MI-H	47.94±0.59 ^{de}	5.98±0.27 ^c	8.68±0.35 ^c
	ME-MI-H	49.39±0.24 ^{ef}	5.88±0.83 ^{cd}	8.56±0.40 ^c
	UE-MI-H	50.5±0.31 ^f	5.52±0.20 ^c	7.53±0.59 ^b
	AE-UV-H	49.86±0.43 ^e	6.05±0.47 ^d	8.10±0.42 ^{bc}
	ME-UV-H	50.46±0.95 ^{ef}	6.12±0.42 ^d	7.62±0.49 ^b
	UE-UV-H	49.98±0.40 ^{ef}	6.22±0.76 ^d	7.14±0.68 ^b
Ekstrakte edilmiş protein-pektin hidrojelleri	AE-PH	50.02±0.33 ^f	5.69±0.84 ^c	7.57±0.91 ^b
	ME-PH	48.48±0.77 ^e	5.92±0.95 ^c	8.76±0.52 ^c
	UE-PH	48.35±0.64 ^e	5.95±0.68 ^{cd}	8.20±0.90 ^{bc}
Modifiye edilmiş protein-pektin hidrojelleri	AE-KI-PH	51.11±0.65 ^f	6.24±0.21 ^d	9.96±0.84 ^d
	ME-KI-PH	49.88±0.76 ^{ef}	6.65±0.26 ^d	7.55±0.62 ^b
	UE-KI-PH	47.01±0.26 ^d	6.37±0.31 ^d	8.11±0.53 ^{bc}
	AE-MI-PH	45.42±0.22 ^b	6.47±0.98 ^{de}	8.62±0.54 ^c
	ME-MI-PH	43.78±0.74 ^a	5.68±0.47 ^{cd}	6.99±0.33 ^a
	UE-MI-PH	46.07±0.38 ^c	5.35±0.69 ^c	7.42±0.22 ^b
	AE-UV-PH	48.01±0.79 ^e	5.95±0.55 ^{cd}	7.94±0.49 ^b
	ME-UV-PH	47.05±0.41 ^{cd}	6.11±0.00 ^d	8.15±0.21 ^{bc}
	UE-UV-PH	48.76±0.27 ^e	5.93±0.76 ^d	7.07±0.67 ^b

Veri setleri ortalama ± standart sapma olarak ifade edildi. Örnekler arasındaki istatistiksel farklılıklar aynı sütunda farklı harflerle gösterildi ($p < 0.05$). AE: Alkali ekstraksiyon, ME: Mikrodalga destekli alkali ekstraksiyon, UE: Ultrason destekli alkali ekstraksiyon AE-KI: Alkali ekstraksiyon-Klasik ısıtma, ME-KI: Mikrodalga destekli alkali ekstraksiyon-Klasik ısıtma, UE-KI: Ultrason destekli alkali ekstraksiyon-Klasik ısıtma, AE-MI: Alkali ekstraksiyon-Mikrodalga ısıtma, ME-MI: Mikrodalga destekli alkali ekstraksiyon-Mikrodalga ısıtma, UE-MI: Ultrason destekli alkali ekstraksiyon-Mikrodalga ısıtma, AE-UV: Alkali ekstraksiyon-Ultraviyole radyasyon, ME-UV: Mikrodalga destekli alkali ekstraksiyon-Ultraviyole radyasyon, UE-UV: Ultrason destekli alkali ekstraksiyon-Ultraviyole radyasyon.

4.9.2. Hidrojellerin fonksiyonel özellikleri

KÇP ve modifiye KÇP'den üretilen hidrojellerin su tutma kapasitesi, şişme

oranı ve protein sızıntı miktarları Çizelge 4.11’ de verilmiştir. Sadece protein ve protein-pektinle üretilen hidrojellerin fonksiyonel özellikleri birbirinden farklılık göstermiştir ($p<0.05$). Ekstraksiyon ve modifikasyon teknikleride hidrojellerin fonksiyonel özellikleri üzerinde belirgin bir etkiye sahip olduğu tespit edilmiştir.

Çizelge 4.11. KÇP ve modifiye KÇP hidrojellerin fonksiyonel özellikleri

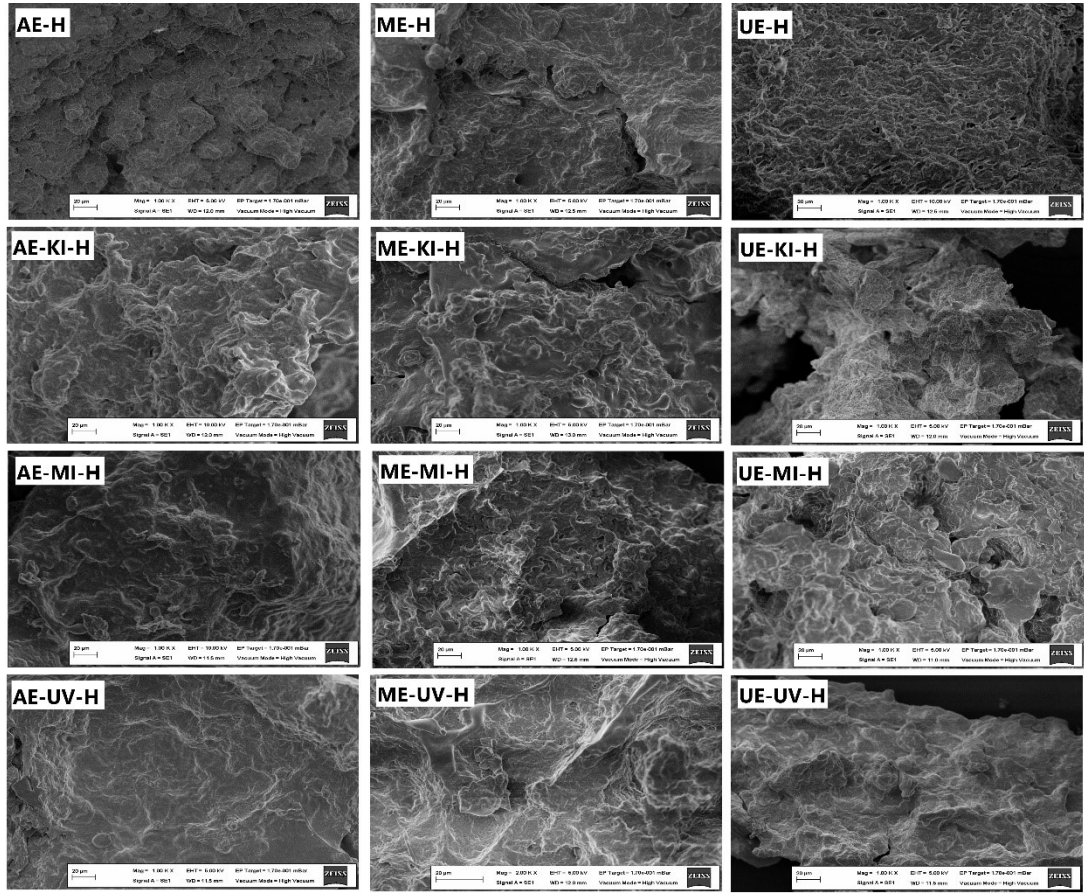
Hidrojel tipi	Örnekler	Su tutma kapasitesi (%)	Şişme oranı (%)	Protein sızıntı miktarı (%)
Ekstrakte edilmiş protein hidrojelleri	AE-H	46.44±0.94 ^a	6.47 ±0.37 ^a	24.42 ±0.39 ^j
	ME-H	57.46±0.62 ^c	8.14±0.73 ^c	19.43±0.91 ⁱ
	UE-H	56.20±0.60 ^c	8.23±0.27 ^c	20.06±0.77 ⁱ
Modifiye edilmiş protein hidrojelleri	AE-KI-H	51.90±0.63 ^b	7.84±0.87 ^b	24.09±0.27 ^j
	ME-KI-H	64.60±0.75 ^e	9.34±0.42 ^d	17.74±0.56 ^h
	UE-KI-H	64.95±0.41 ^e	9.33±0.35 ^d	17.27±0.58 ^h
	AE-MI-H	65.43±0.61 ^e	11.94±0.45 ^e	17.78±0.65 ^h
	ME-MI-H	72.97±0.72 ^f	12.41±0.34 ^e	15.78±0.71 ^g
	UE-MI-H	72.05±0.91 ^f	11.48±0.78 ^e	15.81±0.79 ^g
	AE-UV-H	60.35±0.53 ^d	8.98±0.54 ^{cd}	18.81±0.89 ⁱ
	ME-UV-H	69.44±0.86 ^f	9.66±0.23 ^d	16.11±0.68 ^g
	UE-UV-H	71.52±0.65 ^f	9.37±0.68 ^d	15.84±0.36 ^g
Ekstrakte edilmiş protein-pektin hidrojelleri	AE-PH	82.40±0.98 ^g	14.86±0.72 ^f	14.04±0.34 ^f
	ME-PH	85.48±0.71 ^h	13.23±0.37 ^f	12.15±0.36 ^{de}
	UE-PH	85.82±0.82 ^h	14.88±1.43 ^f	11.94±0.16 ^d
Modifiye edilmiş protein-pektin hidrojelleri	AE-KI-PH	83.46±0.44 ^g	14.61±0.98 ^g	13.97±0.52 ^e
	ME-KI-PH	85.68±0.87 ^h	16.49±0.37 ^h	13.07±0.39 ^e
	UE-KI-PH	86.37±0.81 ^h	15.96±0.47 ^h	11.60±0.75 ^d
	AE-MI-PH	93.19±0.65 ⁱ	29.21±0.73 ^j	4.90±0.35 ^c
	ME-MI-PH	95.17±0.63 ^j	32.95±0.81 ⁱ	3.18±0.36 ^a
	UE-MI-PH	94.58±0.81 ⁱ	30.77±0.72 ^k	4.05±0.33 ^b
	AE-UV-PH	92.06±0.82 ⁱ	27.00±0.87 ⁱ	4.74±0.73 ^b
	ME-UV-PH	92.37±0.89 ⁱ	28.40±0.77 ⁱ	4.79±0.98 ^{bc}
	UE-UV-PH	93.64±0.58 ⁱ	28.08±0.56 ⁱ	4.51±0.55 ^b

Veri setleri ortalama ± standart sapma olarak ifade edildi. Örnekler arasındaki istatistiksel farklılıklar aynı sütunda farklı harflerle gösterildi ($p < 0.05$). AE: Alkali ekstraksiyon, ME: Mikrodalga destekli alkali ekstraksiyon, UE: Ultrason destekli alkali ekstraksiyon, AE-KI: Alkali ekstraksiyon-Klasik ısıtma, ME-KI: Mikrodalga destekli alkali ekstraksiyon-Klasik ısıtma, UE-KI: Ultrason destekli alkali ekstraksiyon-Klasik ısıtma, AE-MI: Alkali ekstraksiyon-Mikrodalga ısıtma, ME-MI: Mikrodalga destekli alkali ekstraksiyon-Mikrodalga ısıtma, UE-MI: Ultrason destekli alkali ekstraksiyon-Mikrodalga ısıtma, AE-UV: Alkali ekstraksiyon-Ultraviyole radyasyon, ME-UV: Mikrodalga destekli alkali ekstraksiyon-Ultraviyole radyasyon, UE-UV: Ultrason destekli alkali ekstraksiyon-Ultraviyole radyasyon.

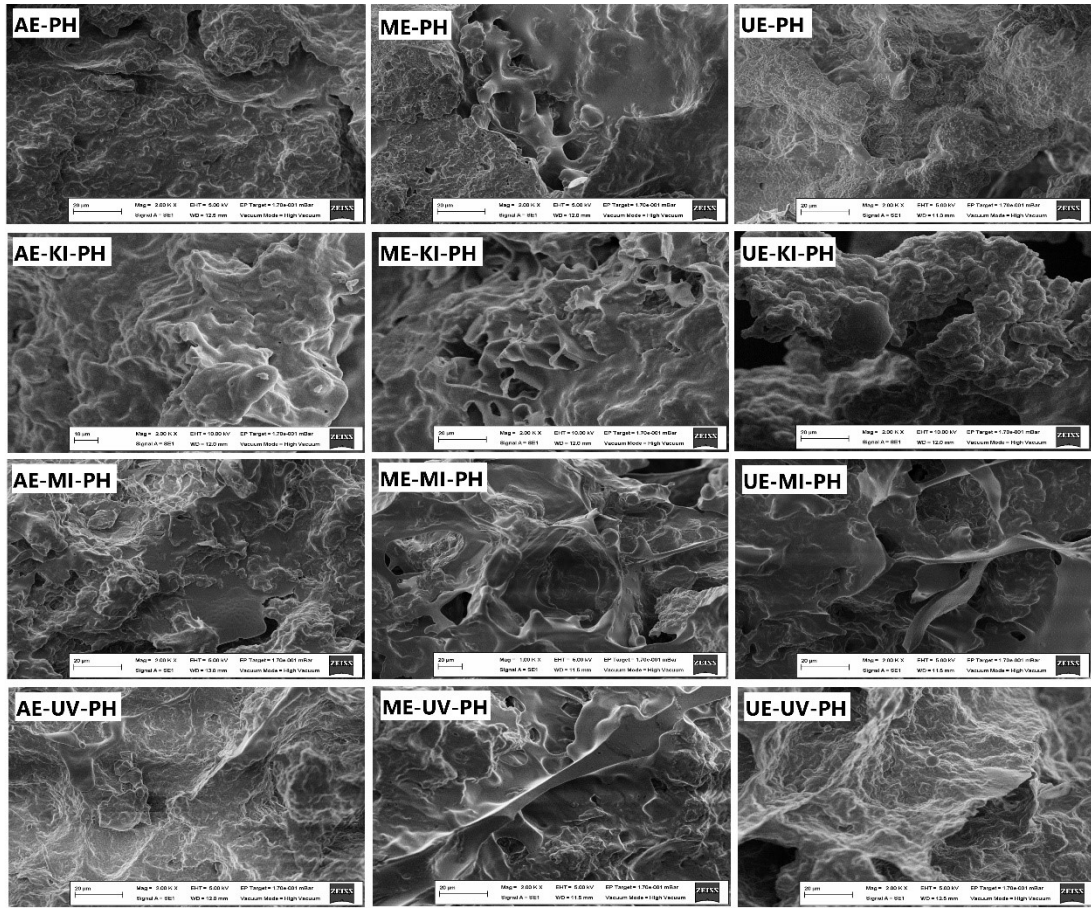
4.9.3. Hidrojellerin SEM görüntüleri

KÇP ve modifiye KÇP hidrojellerin morfolojik yapısı değerlendirilmiştir. Protein ve pektin-protein hidrojellerinin SEM görüntüleri Şekil 4.4. ile 4.5.’te verilmiştir. Protein hidrojelleri incelendiğinde ekstraksiyon tekniklerine göre farklı görüntüler elde edilmiştir. Modifikasyon teknikleri de protein yapısını etkileyerek

hidrojel yapısını etkilediği tespit edilmiştir.



şekil 4.4. KÇP ve modifiye edilmiş KÇP kontrol hidrojellerin SEM görüntüleri



Şekil 4.5. KÇP ve modifiye edilmiş KÇP pektin hidrojenlerin SEM görüntüleri

4.9.4. Hidrojellerin tekstürel özellikleri

Hidrojenlerin mekanik özelliklerinden olan tekstürel analiz, hidrojenlerin dokusal özelliklerini tespit etmek için uygulanan bir tekniktir. Tekstürel analiz tekniğinde hidrojenlerin sertlik, sakızlımsılık, çiğnenebilirlik, yaylanma, esneklik ve yapışkanlık gibi dokusal parametreleri incelenmiştir. Hidrojenlerin tekstürel parametreleri Çizelge 4.12. ve 4.13' te verilmiştir. En iyi tekstürel özelliklerin mikrodalga ısıtma ile modifiye edilen hidrojenlerde olduğu tespit edilmiştir. Ayrıca pektin kullanılarak tekstürel özelliklerin gelişme gösterdiği belirlenmiştir.

Çizelge 4.12. KÇP ve modifiye KÇP üretilenhidrojenlerin tekstürel parametre verileri

Hidrojel tipi	Örnekler	Sertlik (g)	Sakızımsılık	Çiğnenebilirlik
Modifiye edilmemiş protein hidrojelleri	AE-H	160.63±1.16 ^a	38.90±0.66 ^a	18.79±0.55 ^a
	ME-H	292.29±0.95 ^d	59.96±0.79 ^c	22.08±0.60 ^b
	UE-H	245.31±0.85 ^c	55.15±0.90 ^b	20.27±0.44 ^a
Modifiye edilmiş protein hidrojelleri	AE-KI-H	240.15±1.42 ^b	60.76±0.53 ^c	19.22±0.86 ^a
	ME-KI-H	327.16±1.21 ^e	60.87±0.65 ^c	20.10±0.62 ^a
	UE-KI-H	331.26±0.74 ^f	65.73±0.82 ^d	22.27±0.91 ^b
	AE-MI-H	351.68±0.87 ^g	67.56±0.43 ^e	32.70±0.82 ^c
	ME-MI-H	424.67±0.92 ^j	70.13±0.77 ^f	44.47±0.59 ^g
	UE-MI-H	394.63±1.65 ⁱ	71.83±1.21 ^f	42.30±0.73 ^f
	AE-UV-H	325.49±1.10 ^e	68.58±0.83 ^e	38.62±0.79 ^e
	ME-UV-H	357.78±0.67 ^h	65.50±0.91 ^d	35.10±0.62 ^d
Modifiye edilmemiş protein-pektin hidrojelleri	UE-UV-H	388.82±0.82 ^j	67.64±0.70 ^e	38.73±0.90 ^e
	AE-PH	446.08±0.80 ^k	71.60±0.77 ^f	42.63±0.42 ^f
	ME-PH	542.04±0.83 ^m	74.95±0.61 ^g	45.96±0.89 ^g
Modifiye edilmiş protein-pektin hidrojelleri	UE-PH	576.10±0.67 ⁿ	73.68±0.55 ^g	44.94±0.41 ^g
	AE-KI-PH	475.78±0.64 ^l	87.04±0.60 ^h	47.26±0.53 ^h
	ME-KI-PH	542.47±0.83 ^m	90.70±0.80 ⁱ	54.36±0.40 ⁱ
	UE-KI-PH	590.03±0.99 ^p	88.33±0.92 ^h	52.13±0.65 ⁱ
	AE-MI-PH	727.75±0.86 ^r	86.73±0.83 ^h	57.95±0.86 ^j
	ME-MI-PH	868.20±0.83 ^u	101.43±0.60 ^k	76.93±1.09 ^m
	UE-MI-PH	754.26±0.98 ^s	96.07±0.41 ^j	70.71±0.56 ^k
	AE-UV-PH	759.58±1.10 ^s	95.96±0.66 ^j	69.45±0.71 ^k
	ME-UV-PH	760.51±0.74 ^s	95.61±0.90 ^j	74.13±0.64 ^l
	UE-UV-PH	855.21±0.85 ^t	98.42±0.45 ^j	72.63±0.81 ^l

Veri setleri ortalama ± standart sapma olarak ifade edildi. Örnekler arasındaki istatistiksel farklılıklar aynı sütunda farklı harflerle gösterildi (p < 0.05). AE: Alkali ekstraksiyon, ME: Mikrodalga destekli alkali ekstraksiyon, UE: Ultrason destekli alkali ekstraksiyon. AE-KI: Alkali ekstraksiyon-Klasik ısıtma, ME-KI: Mikrodalga destekli alkali ekstraksiyon-Klasik ısıtma, UE-KI: Ultrason destekli alkali ekstraksiyon-Klasik ısıtma, AE-MI: Alkali ekstraksiyon-Mikrodalga ısıtma, ME-MI: Mikrodalga destekli alkali ekstraksiyon-Mikrodalga ısıtma, UE-MI: Ultrason destekli alkali ekstraksiyon-Mikrodalga ısıtma, AE-UV: Alkali ekstraksiyon-Ultraviyole radyasyon, ME-UV: Mikrodalga destekli alkali ekstraksiyon-Ultraviyole radyasyon, UE-UV: Ultrason destekli alkali ekstraksiyon-Ultraviyole radyasyon.

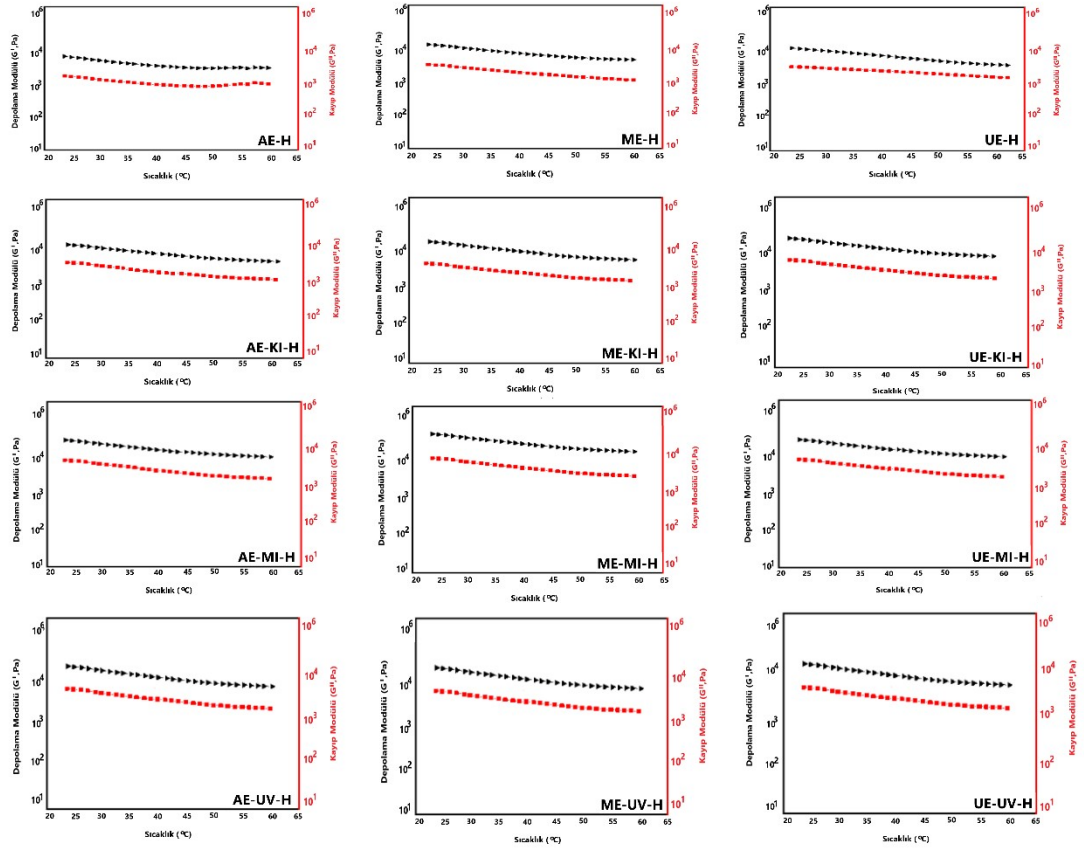
Çizelge 4.13. KÇP ve modifiye KÇP'den üretilen hidrojellerin tekstürel parametre verileri

Hidrojel tipi	Örnekler	Yaylanma (%)	Esneklik (%)	Yapışkanlık
Modifiye edilmemiş protein hidrojelleri	AE-H	0.372±0.07 ^m	0.109±0.00 ^a	0.100±0.02 ^a
	ME-H	0.378±0.05 ⁿ	0.108±0.01 ^a	0.104±0.05 ^b
	UE-H	0.375±0.07 ⁿ	0.108±0.01 ^a	0.107±0.07 ^c
Modifiye edilmiş protein hidrojelleri	AE-KI-H	0.370±0.10 ^l	0.107±0.02 ^b	0.155±0.00 ^d
	ME-KI-H	0.360±0.09 ^l	0.108±0.01 ^c	0.161±0.00 ^e
	UE-KI-H	0.365±0.07 ^k	0.110±0.03 ^c	0.160±0.01 ^e
	AE-MI-H	0.343±0.03 ^j	0.120±0.04 ^d	0.178±0.06 ⁱ
	ME-MI-H	0.339±0.06 ⁱ	0.128±0.01 ^h	0.172±0.05 ⁱ
	UE-MI-H	0.340±0.07 ⁱ	0.124±0.03 ^f	0.172±0.05 ⁱ
	AE-UV-H	0.339±0.05 ⁱ	0.122±0.01 ^e	0.168±0.01 ^h
	ME-UV-H	0.336±0.09 ⁱ	0.125±0.00 ^g	0.165±0.02 ^g
	UE-UV-H	0.325±0.08 ⁱ	0.125±0.00 ^g	0.163±0.00 ^f
Modifiye edilmemiş protein-pektin hidrojelleri	AE-PH	0.285±0.04 ^g	0.128±0.01 ^h	0.183±0.07 ^j
	ME-PH	0.290±0.05 ^h	0.129±0.04 ⁱ	0.185±0.04 ^k
	UE-PH	0.291±0.05 ^h	0.129±0.04 ⁱ	0.185±0.05 ^k
Modifiye edilmiş protein-pektin hidrojelleri	AE-KI-PH	0.276±0.01 ^f	0.134±0.04 ⁱ	0.220±0.02 ^l
	ME-KI-PH	0.280±0.08 ^g	0.135±0.03 ^j	0.224±0.08 ^m
	UE-KI-PH	0.275±0.05 ^e	0.142±0.02 ^k	0.228±0.03 ⁿ
	AE-MI-PH	0.150±0.04 ^a	0.153±0.02 ^l	0.240±0.02 ⁱ
	ME-MI-PH	0.148±0.03 ^a	0.168±0.04 ^r	0.243±0.07 ^t
	UE-MI-PH	0.156±0.08 ^b	0.161±0.02 ^m	0.238±0.05 ^s
	AE-UV-PH	0.156±0.05 ^c	0.165±0.01 ^p	0.234±0.09 ^r
	ME-UV-PH	0.157±0.08 ^d	0.163±0.05 ⁿ	0.230±0.06 ^p
	UE-UV-PH	0.159±0.05 ^e	0.163±0.05 ⁿ	0.230±0.06 ^p

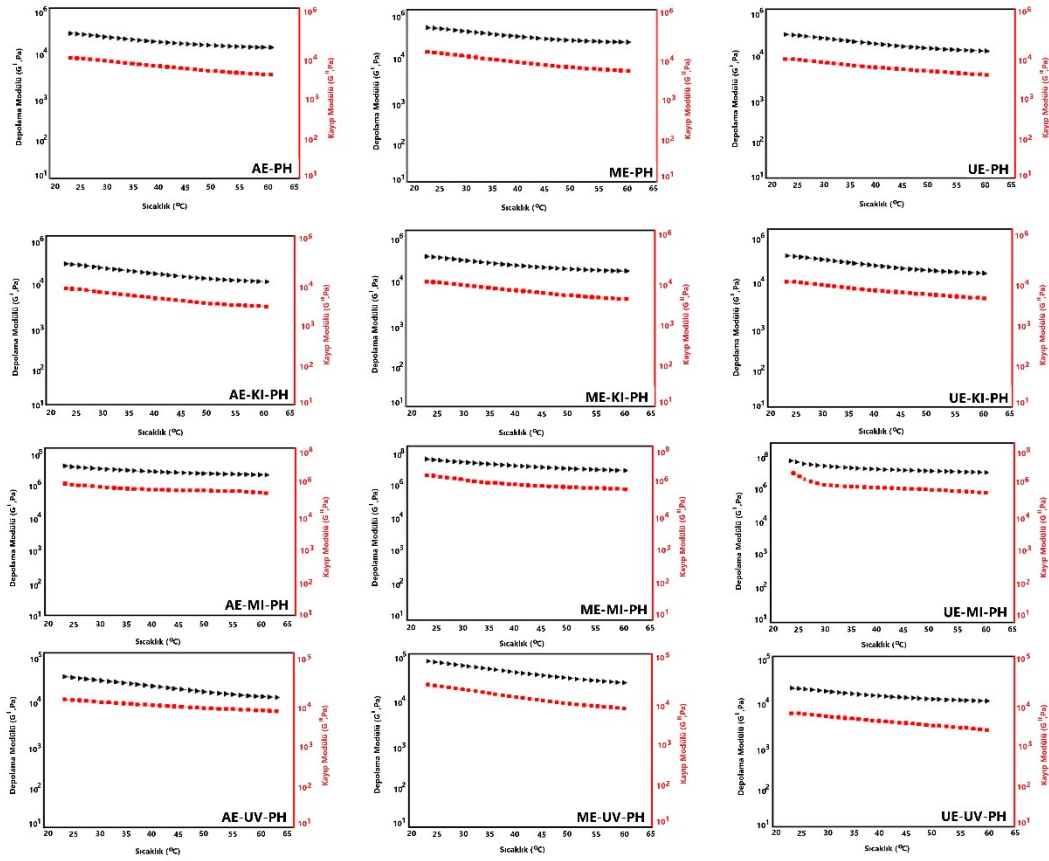
Veri setleri ortalama ± standart sapma olarak ifade edildi. Örnekler arasındaki istatistiksel farklılıklar aynı sütunda farklı harflerle gösterildi (p <0.05). Örnekler arasındaki istatistiksel farklılıklar aynı sütunda farklı harflerle gösterildi (p <0.05). AE: Alkali ekstraksiyon, ME: Mikrodalga destekli alkali ekstraksiyon, UE: Ultrason destekli alkali ekstraksiyon, AE-KI: Alkali ekstraksiyon-Klasik ısıtma, ME-KI: Mikrodalga destekli alkali ekstraksiyon-Klasik ısıtma, UE-KI: Ultrason destekli alkali ekstraksiyon-Klasik ısıtma, AE-MI: Alkali ekstraksiyon-Mikrodalga ısıtma, ME-MI: Mikrodalga destekli alkali ekstraksiyon-Mikrodalga ısıtma, UE-MI: Ultrason destekli alkali ekstraksiyon-Mikrodalga ısıtma, AE-UV: Alkali ekstraksiyon-Ultraviyole radyasyon, ME-UV: Mikrodalga destekli alkali ekstraksiyon-Ultraviyole radyasyon, UE-UV: Ultrason destekli alkali ekstraksiyon-Ultraviyole radyasyon.

4.9.5. Hidrojellerin reolojik özellikleri

KÇP ve modifiye KÇP'den üretilen hidrojellerin reolojik analizleri Şekil 4.6 ve 4.7'de verilmiştir. Ölçümler sıcaklığın bir fonksiyonu olarak verilmiştir. Sıcaklığın 20°C'den 60°C'ye doğru geçişi sırasında tüm hidrojellerde G' ve G'' davranışlarında gözle görülür değişikliklere yol açmıştır. Tüm hidrojellerde depolama modülünün kayıp modüle göre daha yüksek olduğu tespit edilmiştir. Modifiye proteinlerden üretilen hidrojeller daha üstün reolojik performans sergilediği belirlenmiştir.



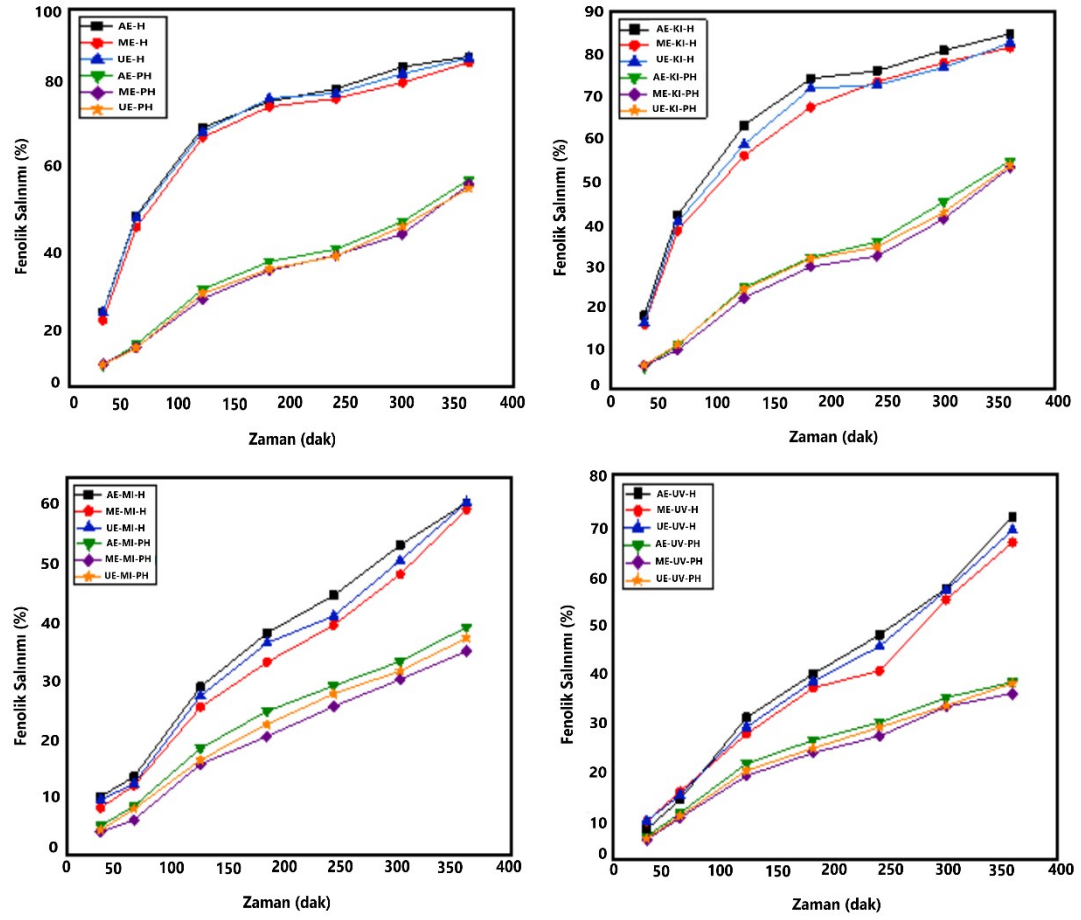
Şekil 4.6. KÇP ve modifiye edilmiş KÇP'nin kontrol hidrojenlerin reolojik grafikleri



Şekil 4.7. KÇP ve modifiye KÇP'nin pektinli hidrojellerin reolojik grafikleri

4.9.6. Fenolik Salınım

Ekstrakte edilen nar kabuğu fenolikleri KÇP hidrojellerine yüklenmiş ve salınım davranışları incelenmiştir. Modifikasyon öncesi-sonrası ve pektin içerip içermemesine göre in vitro salınım davranışı değerlendirilmiştir. Salınım eğrileri Şekil 4.8'de zamanın bir fonksiyonu olarak verilmiştir. Pektin içermeyen hidrojellerin salınım hızı pektinli hidrojellere göre daha yüksek olduğu tespit edilmiştir. Ayrıca modifiye edilen hidrojellerinde fenolik salınımının istenildiği gibi daha yavaş gerçekleştiği belirlenmiştir.



Şekil 4.8. KÇP ve modifiye KÇP hidrojelilerin nar kabuğu fenoliği salınım grafikleri

5. TARTIŞMA

5.1. Portein ekstraksiyon verimi

Bilimsel çalışmaların ve endüstriyel uygulamaların ana hedefi, fenolik-antioksidanlar, yağlar, karbonhidratlar ve proteinler gibi spesifik grupların ekstraksiyonunda, prosesi maksimum verimle tamamlamaktır. Bu nedenle çalışmalar, bu spesifik grupların çıkarılmasında tek bir teknikten ziyade, maksimum proses verimine sahip uygulamanın belirlenmesine yönelik farklı yöntemlerin kullanılmasına odaklanmıştır. Proses veriminin hammadde ve nihai ürünün doğası ile ilişkisi göz ardı edilmemesi gerektiği düşünülmektedir. Bu, her bir ekstraksiyon işlemi için makul koşulların tespit edilmesi, çalışmaların sağlığı açısından önemli olduğu ifade edilmektedir (Kumar ve vd., 2021). Bu nedenle çalışmada maksimum proses verimi elde etmek amacıyla kayısı çekirdeğinden protein ekstraksiyonu için 10 farklı yöntem uygulanmıştır. İzolasyon sonucu elde edilen ekstraksiyon verimleri Çizelge 4.1.'de verilmiştir. Ekstraksiyon verimleri %2.32-15.62 aralığında bulunmuştur. MÇ (%1.80), AÇ (%2.32), TCA-AÇ (%3.45), TCAÇ (%2.83), ASE (%3.25), MASE (%4.05) ve UASE (% 4.03) uygulandığında değerlerin istenilen seviyelerde olmadığı tespit edilmiştir. Geleneksel yöntem olan alkali ekstraksiyon proses veriminde önemli bir gelişme sağlamış ve bu değer %10.47'ye ulaşmıştır. Tohumlardan protein ekstraksiyonu, yukarıda belirtilen diğer teknikler yerine alkali ekstraksiyonun kullanılması proses verimi açısından daha mantıklıdır (Yüce tepe vd., 2021). Protein ekstraksiyon teknikleri hücre içi proteinlerin salınması kolaylaştırdığından bitki hücre duvarını parçalayacak şekilde tasarlanmıştır (Kumar vd., 2021). Bunlardan en etkili parçalamaya sahip olan alkali ekstraksiyon tekniği en yaygın olarak kullanılan yöntemdir. Alkali koşullar, protein matrisini bozarak protein ekstraksiyon verimini artırır ve sulu ekstraksiyon ortamında yüzey yükünü ve çözünürlüğünü artırmaktadır (Abd Rahim vd., 2023). Çalışmada kullandığımız diğer ekstraksiyon teknikleri de protein üretimi ve saflığı açısından önem arz etmektedir. Ancak bu teknikler ile protein üretilirken püskürtmeli kurutucuda verim düşüklüğü ve ürünün mikro-yapısal özellikleri etkilenmektedir. Bu nedenle çalışmamız için alkali ekstraksiyon tekniğinin kullanımı sağlanmıştır. Buna ek olarak alkali ekstraksiyon tekniğinin uzun sürmesi ve sahip olduğu verim değerini artırmak amacıyla yenilikçi tekniklerle desteklenmesi sağlanmaktadır. Alkali ekstraksiyon yöntemi bu yenilikçi teknikler olan mikrodalga ve ultrason ekipmanları ile desteklenmiştir. Mikrodalga destekli alkali ekstraksiyon tekniği sıkışan su moleküllerinin ısınmasına ve matriks içinde moleküllerin çarpışmasına neden olmaktadır. Bu etki ile hücre duvarı yıkımı gerçekleşmekte ve hücre içindeki bileşenler çözücüye geçmektedir (Varghese ve Pare, 2019). Ultrason destekli alkali

ekstraksiyon tekniğinde ise ultrasonik dalgalar tarafından gaz kabarcıkları oluşmaktadır. Bu kabarcıkların hızlı oluşması ve çökmesi şok dalgası yaratarak hücre içinde kavitasyon enerjisi üretmektedir. Bu enerjinin artması ile hücre duvarı bozulur ve bileşenlerin çözücüye geçmesini kolaylaştırmaktadır (Kumar vd., 2021). Kısa sürede gerçekleşen bu teknikler sayesinde yüksek verim ve saflıkta protein üretimi sağlanmaktadır. Protein yapılarının solvante difüzyon hızı sayesinde verim mikrodalga (%15.30) ve ultrason (%15.62) destekli ekstraksiyonda maksimum seviyede olduğu tespit edilmiştir. Mikrodalga ve ultrason destekli ekstraksiyon tekniklerinin daha az solvent tüketimi ve daha kısa ekstraksiyon süresi gibi avantajları önceki çalışmalarda detaylandırılmıştır (Contreras vd., 2019). Bu doğrultuda protein tozu üretimi için alkali, mikrodalga destekli alkali ve ultrason destekli alkali ekstraksiyon teknikleri uygulanmış ve üretilen proteinler daha sonraki uygulamalar için kullanılmıştır.

5.2. Farklı ekstraksiyon teknikleri ile üretilen proteinlerin fonksiyonel özellikleri

Üretilmiş proteinlerin fizikokimyasal özellikleri olarak nem, mineral madde, protein, yağ miktarı, su aktivitesi ve renk özellikleri değerlendirilmiştir. Fizikokimyasal özelliklerinin parametreleri Çizelge 4.2’de verilmiştir.

Proteinlerin raf ömrünü uzatmak ve son ürünün besinsel değerini ve fizikokimyasal özelliklerini korumak için genellikle endüstriyel ölçekte toz formuna dönüştürülür (Amagliani vd., 2016). Protein tozu üretimi için en yaygın kullanılan yöntem püskürterek kurutmadır. Püskürterek kurutma tekniği hızlı dehidrasyon sağlayarak düşük nem oranına sahip ürün üretimi sağlamaktadır (Vardanega vd., 2019). Bu doğrultuda çalışmamızda püskürtmeli kurutucu yardımı ile üretilen proteinlerin nem değerleri sırasıyla alkali (%2.59), mikrodalga destekli alkali (%2.60) ve ultrason destekli alkali ekstraksiyon (%2.11) olarak tespit edilmiştir. Püskürterek kurutma yönteminde yüksek giriş sıcaklığına bağlı olarak hızlı bir ısı transferi gerçekleşmektedir. Böylelikle nemin daha hızlı buharlaşması sağlanır ve düşük nem içerikli protein elde edilmektedir. Daha önce yapılmış çalışmalarda püskürterek kurutma ile üretilmiş ürünlerin nem değerlerinin %5 altındaki değerlerde olması gerektiği rapor edilmiştir (Abd Rahim vd., 2023). Ayrıca elde edilen proteinlerin su aktivite değerleri 0.24-0.37 aralığında olduğu ölçülmüştür. Elde edilen düşük nem ve su aktiviteleri sonuçları literatürde belirtilen değerlerden daha düşük olduğu tespit edilmiştir (Santana vd., 2017). Proteinlerin düşük nem içeriği ve su aktivitesi değerleri ile daha uzun raf ömrüne sahip olduğu bildirilmiştir. Ayrıca

mikrobiyal gelişimlere karşı daha stabil durumda olduğunun da kanıtıdır (Korma vd., 2019).

Farklı ekstraksiyon teknikleri ile üretilen proteinlerin kül miktarları sırasıyla alkali (%4.88), mikrodalga destekli alkali (%4.65) ve ultrason destekli alkali ekstraksiyon (%3.33) olarak hesaplanmıştır. Ayrıca proteinlerin yağ içeriklerine de bakılmıştır. Yüksek yağ içeriğine sahip olan kayısı çekirdeği, yağı ekstrakte edilerek protein ekstraksiyon işlemine hazırlanmıştır. Ancak elde edilen proteinde yağ içerebileceği için hegzanla yıkama işlemi uygulanmıştır. Elde ettiğimiz yağsız proteinin kendi bileşeninde bulundurduğu yağ miktarı hesaplanmıştır. Sırasıyla alkali (%6.81), mikrodalga destekli alkali (%5.15) ve ultrason destekli alkali ekstraksiyon (%5.24) olarak tespit edilmiştir. Çalışmamız açısından büyük önem arz eden protein miktarı değerlerine bakılmıştır. Alkali ekstraksiyon üretimi ile %68, mikrodalga destekli alkali ekstraksiyon %74.96 ve ultrason destekli alkali ekstraksiyon da %75.93 olarak elde edilmiştir.

Renk gıda ürünlerinin kalitesi ve tüketici kabul edilebilirliği açısından önemli bir parametredir. Gıda ürünleri açıklık-koyuluk (L^*), kırmızı-yeşil (a^*) ve sarı-mavi (b^*) gibi renk özelliklerine sahip olması ile değerlendirilmektedir. Çalışmamızda da PK ile üretilen proteinlerin renk parametreleri Çizelge 4.2.'de verilmiştir. L^* değerinin AE (80.65), ME (79.09) ve UE (73.28) olduğu ve bu farklılığın ekstraksiyon sırasında meydana geldiği düşünülmektedir. Ayrıca kurutma sırasında da melanin adı verilen pigmentlerin oluşması da etki ettiği bazı çalışmalarda belirtilmiştir (Abd Rahim vd., 2023). Diğer renk parametresi olan a^* (kırmızı-sarılık) ve b^* (sarı- mavilik) değerlerinin pozitif yönde olması ile kırmızı ve sarı renk değerlerine sahip olduğu görülmektedir.

Püskürterek kurutma tekniği ile toz haline getirilmiş proteinlerin köpük oluşturma kapasitesi ve stabilite indeks değerleri ölçülmüştür. Köpürtme kapasitesi, çalkalama yardımıyla üretilen köpüğün başlangıç miktarının bir ölçüsünü sağlarken köpük stabilitesi ise köpüğün zaman içinde çökmeye karşı direncinin bir ölçüsünü ifade etmektedir (Burger ve Zhang, 2019; Hadidi vd., 2024). Bu iki parametrelerden, farklı ekstraksiyon tekniklerinin karşılaştırılması ile en yüksek köpük oluşturma kapasitesi değerine %55 ile ultrason destekli alkali ardından %52 ile mikrodalga destekli alkali ve %44 ile alkali ekstraksiyonda olduğu tespit edilmiştir ($p<0.05$). Proteinlerdeki en yüksek köpük oluşturma kapasitesi değerlerinin pH 10 elde edildiği ve bunu sırasıyla pH 12, pH 2' deki veriler takip etmektedir ($p<0.05$). En düşük köpük oluşturma kapasitesi verilerinin pH 4 olduğu ve ekstraksiyon teknikleri

arasında istatistiksel olarak fark olduğu tespit edilmiştir ($p<0.05$). Ayrıca köpük oluşturma stabilitesi 30. ve 60. dk en düşük değerlerinin de pH 4' te olduğu ve diğer pH değerlerine göre farklılık gösterdiği görülmüştür ($p<0.05$). En yüksek KOS 30 ve 60 verilerinin pH 2 ve pH 12'de olduğu tespit edilmiştir. Aynı zamanda ekstraksiyon tekniklerine bakıldığında köpük oluşturma stabilitesi değerlerinin en yüksek alkali ve bunu sırasıyla ultrason destekli alkali ve mikrodalga destekli alkali ekstraksiyon takip etmektedir ($p<0.05$). Bu farklılığın sebebi olarak ekstraksiyon sırasında protein konformasyonunda değişimler olduğu düşünülmektedir ve yapılan çalışmalarla da desteklenmiştir (Ochoa-Rivas vd., 2017). Ayrıca ekstraksiyon sırasında daha düşük ısıya maruz kalan proteinlerin daha yüksek köpük oluşturma stabilitesi değerlerine sahip olduğu literatürde yapılan çalışmalarla belirtilmiştir (Soria-Hernández vd., 2015). Köpük oluşturma stabilitesi değerleri pH göre de farklılıklar gösterdiği daha öncede belirtilmiştir. Köpük oluşturma kapasitesi ve stabilitesi verilerinin asidik ve bazik ortamlardan etkilendiği düşünülmektedir. Literatürde belirtilmiş olan çalışmalarda proteinlerin izoelektrik noktası olan pH 4'te düşük köpük oluşturma kapasitesi ve stabilitesi değerlerine sahip olduğu rapor edilmiştir (Yüce-tepe, 2020). Proteinler pH 10'da yüksek çözünürlüğe sahiptir, bu nedenle çalışmamızda proteinlerin daha yüksek köpük oluşturma kapasitesi ve stabilitesi değerlerine bu pH'da olduğu tespit edilmiştir. Pirinç proteini üzerine yapılan çalışmada köpük oluşturma kapasitesi ve stabilite değerlerinin pH 3'te düşük olduğu ve pH değerinin artması ile arttığı belirtilmiştir. En yüksek verilerin pH 10 elde edildiği rapor edilmiştir. Bunun nedeni olarak pH 10'da daha yüksek çözünürlük, protein zincirlerinin daha esnek hale gelmesi ile bunların sulu ortamda hızlı bir şekilde dağılmasına ve hava-su ara yüzünde kolayca emilmesinden kaynaklandığı bildirilmiştir (Abd Rahim vd., 2023).

Yağ bağlama kapasitesi standart koşullar altında 1 g protein tozu tarafından emilebilen veya tutulabilen yağ kütlesini belirtmektedir (Hadidi vd., 2023) Bir proteinin YBK değeri polar olmayan amino asit içeriğinin artmasıyla artma eğiliminde olduğu yapılan çalışmalarda belirtilmiştir (Du vd., 2018). Çalışmamızda farklı ekstraksiyon teknikleri ile elde edilen proteinlerin YBK değerleri Çizelge 5.2.'de verilmiştir. En yüksek yağ bağlama kapasitesine sahip mikrodalga destekli alkali (%180.80) bunu sırasıyla ultrason destekli alkali (%145.42) ve alkali ekstraksiyon (%91.46) takip etmektedir ($p<0.05$). Bu farklılığın ekstraksiyon işlemine destek veren mikrodalga ve ultrason uygulamalarının etkisi olduğu görülmektedir. Yapılan çalışmalarda da belirtildiği gibi ultrason destekli ekstraksiyon işleminde titreşimler sayesinde oluşan hidrofobik gupların açığa çıkması ile yağ bağlama kapasitesi değerinde artış görülmüştür (Wang vd., 2020). Mikrodalga

destekli ekstraksiyonun en yüksek YBK değerine sahip olması ise işlem sırasında sıcaklığın etki ettiğinden kaynaklandığı düşünülmektedir. Yapılan çalışmalarda da belirtildiği gibi ekstraksiyon işleminde moleküller arasında meydana gelen sürtünme kuvveti ile ısı açığa çıkmaktadır. Bu sıcaklığın etkisi ile protein yan zincirlerinde meydana gelen değişimler (disülfid ve hidrojen bağlarının açığa çıkması) sonucunda proteinlerin yüzey hidrofobikliğinde artış meydana geldiği ve bununda YBK değerinin etkilediği belirtilmektedir (Kumar ve vd., 2022). Bir proteinin emülsifiye edici özellikleri, yağ-su ara yüzünde adsorbe edilerek yağ-su sisteminde homojen bir emülsiyon oluşturma ve stabilize etme yeteneğidir (Carrillo-Lopez ve vd., 2021). Proteinlerin bu işlevi, sırasıyla proteinlerin adsorbe edilme yeteneğini, işleme ve depolama sırasında su-yağ ara yüzünde kalma kapasitelerini listeleyen; emülsiyon aktivite indeksi ve emülsiyon stabilite indeksi ile belirlenir. Farklı ekstraksiyon teknikleri ile elde edilen kayısı çekirdeği proteinlerinin emülsiyon aktivitesi ve stabilite özellikleri Çizelge 4.3.'te verilmiştir. Emülsiyon aktivitesi ve stabilite verileri en yüksek mikrodalga destekli ekstraksiyonda ardından ultrason destekli alkali ve alkali ekstraksiyonda olduğu tespit edilmiştir. Bu değerler arasındaki farkın istatistiksel olarak önemli olduğu belirlenmiştir ($p < 0.05$). Mikrodalga işleminin etkisi ile proteinlerde bulunan hidrofobik ve hidrofilik gruplarından kaynaklandığı düşünülmektedir. Jiang vd., (2021) yaptığı çalışmada tohum proteinini farklı ekstraksiyon teknikleri ile elde ederek emülsiyon aktivite ve stabilite verileri incelenmiştir. Mikrodalga destekli ekstraksiyon örneklerinin kontrol örneğe göre artış gösterdiği belirtilmiştir. Bunun sebebi olarak ise protein yüzeyinde bulunan hidrofobik ve hidrofilik grupların mevcudiyetinden kaynakladığı rapor edilmiştir. Ultrason destekli ekstraksiyon tekniğinde ise ultrasonun mekanik etkileri aracılığıyla proteinin parçacık boyutu azalmaktadır. Böylece moleküler akışkanlığı artar buda emülsiyon özelliklerini olumlu yönde etkilemektedir. Ayrıca emülsiyon özelliklerinin artmasına protein çözünürlüğü, yüzey hidrofobikliği ve yükünün etki ettiği yapılan çalışmalarda belirtilmiştir (Wang vd., 2020; Jiang vd., 2021). Çalışmamızda hazırlanan emülsiyonlarla yapılan santrifüj çöktürme hızı analizi emülsiyon stabilitesi için negatif bir özelliktir. Emülsiyon değerlerine bakılırsa en yüksek stabiliteye sahip olan mikrodalga destekli alkali ekstraksiyonun en düşük santrifüj çöktürme hızına sahip olduğu görülmektedir. Bunu sırasıyla ultrason destekli alkali ve alkali ekstraksiyon takip etmektedir ($p < 0.05$). Ekstraksiyon tekniklerinin emülsiyon özelliklerine etki etmesi ile santrifüj çöktürme hızı da değişim göstermiştir. Santrifüj çöktürme hızının aksine stabilite katsayısı (R), emülsiyon stabilite indeksi üzerine olumlu bir göstergedir. Santrifüj çöktürme hızının düşük olduğunda R değeri yüksektir, emülsiyonun daha stabil olduğu belirtilmiştir (Li vd., 2019). Bu doğrultuda stabilite katsayısı (R) verileri emülsiyon stabilite

indeksi ile pozitif, santrifüj çöktürme hızı verileri ile negatif bir ilişkiye sahip olduğu görülmektedir.

5.3. Protein modifikasyon deneme deseni

Proteinlere uygulanacak modifikasyon tekniklerinin optimum noktalarını belirlemek için ilk olarak alkali ekstraksiyon ile üretilen kayısı çekirdeği proteini kullanılarak denemeler yapılmıştır. Klasik ısıtma, mikrodalga ısıtma ve ultraviyole radyasyon işlemleri uygulanmıştır. Bu ön uygulamalar sonucunda proteinlerin köpük oluşturma kapasitesi ve stabilitesi değerlerine bakılmıştır. Elde edilen veriler Çizelge 4.4.'te verilmiştir. Klasik ısıtma için 50°C verilerinde süreye bağlı bir artış olduğu görülmüştür. Verilerdeki artışın istatistiksel olarak önemli olduğu tespit edilmiştir ($p<0.05$). En yüksek köpük oluşturma kapasitesi ve stabilite verileri 60°C 30 dk sürede elde edilmiştir. Bu süreden sonra bir azalma göstermiştir. Mikrodalga ile modifikasyon uygulamasında 360 W 15 dk artış görülmüş fakat 20 dk proteinin denatürasyonundan dolayı düşüş görülmüştür. 600 W sürelerinde dalgalanmalar olduğu en yüksek köpük oluşturma kapasitesi ve stabilitesi verilerinin 10 dk olduğu tespit edilmiştir ($p<0.05$). Ultraviyole ışın uygulamasında kullanılan iki farklı sıcaklıkta da veriler dalgalanma göstermiştir ($p<0.05$). En yüksek köpük oluşturma kapasitesi ve stabilite verilerinin 60°C'de 30 dk olduğu tespit edilmiştir.

Modifikasyon denemeleri sonucunda önem arz eden diğer özelliklerden yağ bağlama kapasitesi ve emülsiyon aktivitesi verileri değerlendirilmiştir. Modifikasyon denemeleri sonucunda önem arz eden diğer özelliklerden yağ bağlama kapasitesi ve emülsiyon aktivitesi verileri değerlendirilmiştir. Elde edilen veriler Çizelge 4.5.'te verilmiştir. Klasik ısıtma uygulamasında 50°C'de süreye bağlı olarak dalgalanmalar göstermiştir. 60°C sıcaklığında ise en yük yağ bağlama kapasitesi ve emülsiyon aktivitesi verilerinin 20 dk olduğu görülmüştür ve veriler istatistiksel olarak fark göstermiştir ($p<0.05$). Mikrodalga uygulamasında kullanılan iki farklı güç seviyesinde de yağ bağlama kapasitesi ve emülsiyon aktivite indeksi verilerinde dalgalanmalar görülmüştür. En yüksek yağ bağlama kapasitesi ve emülsiyon aktivite indeksi verileri 600 W 10 dk görüldüğü ve farkların istatistiksel olarak önemli olduğu tespit edilmiştir ($p<0.05$). Ultraviyole ışın uygulamasında 40 ve 60°C'deki verilerin sürelerle bağlı olarak artış ve azalışlar gösterdiği belirlenmiştir. Bu artış ve azalışların istatistiksel olarak önemli olduğu tespit edilmiştir ($p<0.05$). En yüksek yağ bağlama kapasitesi ve emülsiyon aktivitesinin 60°C'de 30 dk olduğu görülmüştür.

Yapılan denemeler sonucunda veriler değerlendirilerek optimum nokta belirlenmiştir. Modifikasyon işlemi için klasik ısıtma ve ultraviyole radyasyon uygulaması 60°C 30 dk, mikrodalga işlemi 600 W 10 dk olarak belirlenmiştir. Farklı ekstraksiyon teknikleri ile elde edilen proteinler, belirlenen optimum noktalarda modifiye edilerek fonksiyonel özellikleri incelenmiştir.

5.4. Modifikasyon sonrası kayısı çekirdeği proteininin fonksiyonel ve yapısal özellikleri

Köpük oluşturma kapasitesi, proteinlerin ortamdaki gazın etrafında kohezif bir tabaka oluşturmak için çözünme ve hızla açılma yeteneğini temsil etmektedir. Köpük oluşturma stabilitesi ise havayı saran sürekli moleküller arası polimerler oluşturarak kararlı köpükler üretme yeteneğini göstermektedir. Köpük oluşturma kapasitesi ve stabilite özelliği proteinlerde önemli parametrelerdendir. Üretilmiş proteinler klasik ısıtma, mikrodalga ısıtma ve ultraviyole radyasyon yardımı ile modifikasyon işlemine tabi tutularak köpük oluşturma kapasitesi ve stabilite değerleri hesaplanmıştır. Köpük oluşturma kapasitesi verileri Çizelge 4.6'da verilmiştir. Kayısı çekirdeği proteinlerinin KOK değerleri incelendiğinde pH'ya bağlı olarak farklılık gösterdiği tespit edilmiştir ($p<0.05$). En düşük Köpük oluşturma kapasitesi değerlerinin pH 4'te, en yüksek ise pH 10'da olduğu görülmüştür. Bunun nedeni olarak proteinlerin izoelektrik noktası olan pH 4'te düşük çözünürlüğe sahip olmasıdır. pH 10'da ise proteinlerin yüksek çözünürlüğe sahip olması ve protein zincirlerinin daha esnek hale gelmesi ile yüksek köpük oluşturma kapasitesi göstermektedir (Abd Rahim vd., 2023). Protein modifikasyonu için uygulanan ön işlemlere göre değerlendirme yapıldığında farklılıkların olduğu görülmektedir. Klasik ısıtma işlemi ile köpük oluşturma özelliklerinde daha küçük değişimler gözlemlenmiştir. Yapılan çalışmalarda da ısıl işlemin köpük oluşturma kapasitesi üzerine daha küçük değişimler meydana getirdiği belirtilmiştir (Ma vd., 2011). Daha büyük farklılığın mikrodalga ısıtma ve ultraviyole modifikasyon tekniklerinde olduğu tespit edilmiştir ($p<0.05$). En yüksek köpük oluşturma kapasitesi verilerinin pH'10 da %60 ile mikrodalga ekstraksiyon tekniği ile elde edilip mikrodalga ile modifiye edilmiş örnekte olduğu belirlenmiştir. Mikrodalga ile modifiye edilen örneklerin köpük oluşturma kapasitesi değerlerinde artış olduğu ve bu artışın diğer örneklerle kıyasla istatistiksel olarak önemli olduğu tespit edilmiştir ($p<0.05$). Mikrodalga işleminden sonra en yüksek köpük oluşturma kapasitesi değerlerine ultraviyole radyasyon ile modifiye edilmiş proteinlerde (%55) olduğu görülmektedir. Bu köpük oluşturma kapasitesi değerleri arasındaki farklılık ise istatistiksel olarak

önemli bulunmuştur ($p<0.05$). Üç farklı teknikle üretilmiş proteinlerin hem mikrodalga hem ultraviyole radyasyon ile modifiye edilmesi sonucu tüm örneklerin köpük oluşturma kapasite değerleri değişime uğramıştır. Bu iki teknik proteinlerin yüzey aktivitelerini iyileştirdiği düşünülmektedir. Literatürde belirtilen çalışmalarla da desteklenmiş ve modifikasyon işleminin, yüzey aktif proteinlerin hava-su ara yüzünde hava ve su ile etkileşim düzeyini artırdığı belirtilmiştir. Bu spesifik karakter köpürme kapasitesinin artmasına katkıda bulunduğu ve köpük içindeki hava kabarcıklarının stabilizasyonunu sağladığı bildirilmiştir (Ma vd., 2011). Ayrıca yapılan başka bir çalışmada ise modifikasyon işlemi ile proteinlerde çözünürlüğün artmasına bağlı olarak köpük oluşturma kapasitesinde de artış gösterdiği rapor edilmiştir (Baskıncı ve Gul, 2023).

KÇP' nin köpük oluşturma stabilite değerleri Çizelge 4.7 ve 4.8'de verilmiştir. KOS değerlerinin 30. ve 60. dakikada pH' ya göre farklılık gösterdiği tespit edilmiştir ($p<0.05$). En düşük köpük oluşturma stabilite verilerinin pH 4'te olduğu ve en yüksek ise pH 10'da görüldüğü tespit edilmiştir ($p<0.05$). Düşük pH değerinde görülen düşük protein çözünürlüğü köpük oluşturma stabilite değerini etkilediği yapılan çalışmalarla belirtilmiştir. Alkali ortamda ise artan çözünürlüğe bağlı olarak yüksek köpük oluşturma stabilitesi görülmüştür (Abd Rahim vd., 2023). KÇP' ne uygulanan modifikasyon işlemleri sonucu köpük oluşturma stabilitesi 30. dakika değerlerinde artış meydana geldiği tespit edilmiştir ($p<0.05$). Köpük oluşturma stabilitesi proteinin ve diğer bileşenlerin hava kabarcıkları etrafında güçlü ve yapışkan bir film oluşturma yeteneği ve kabarcıklardan hava difüzyonuna karşı daha fazla direnç göstermesidir. Modifikasyon etkisi ile daha yüksek direnç göstererek proteinler yüksek köpük oluşturma kapasitesi değeri göstermiştir. İki farklı sürede bekletilen örnekler sürenin etkisi ile direnç azalmasından dolayı 60. dk köpük oluşturma kapasitesi değerinde azalma tespit edilmiştir. Klasik ısıtma, mikrodalga ve ultraviyole modifikasyon uygulamalarında etki eden ısının etkisiyle proteinlerde yapısal değişim meydana geldiği düşünülmektedir. Wang vd. (2023)'te yaptığı çalışmada ısıtma işleminin molekül içi hidrofobik etkileşimleri, elektrostatik, hidrojen ve disülfid bağlarının kırılmasına neden olabildiği ve bu da proteinlerin açılmasına yol açtığı belirtilmiştir. Bu etki sonucunda modifiye edilmiş proteinlerin yüksek köpük oluşturma kapasitesi ve stabilite gösterdiği rapor edilmiştir.

KÇP ve modifiye edilmiş KÇP' nin yağ bağlama kapasiteleri ve emülsiyon özellikleri Çizelge 4.9'da verilmiştir. Farklı tekniklerle modifiye edilmiş proteinlerin yağ bağlama kapasiteleri işlem görmemiş proteinlere göre artış gösterdiği tespit edilmiştir. Bu artışların istatistiksel olarak önemli olduğu bulunmuştur ($p<0.05$). En

yüksek artışların sırasıyla mikrodalga ısıtma uygulamasındaki proteinlerde olduğu ve bunu ultraviyole ve klasik ısıtma işlemleri ile elde edilen veriler takip etmektedir. Modifikasyon uygulamaları sırasında ortaya çıkan ısı sayesinde hidrofobik bölgeler açığa çıkmaktadır. Bu nedenle yağ bağlama kapasite değerlerinin artış gösterdiği düşünülmektedir. Ayrıca yapılan çalışmalarda bu artışın yüzeyde polar olmayan amino asitlerin varlığından kaynaklandığı belirtilmiştir (Pasqualone vd., 2021). Baskıncı ve Gl 2023'te yaptığı çalışmada modifiye edilmiş proteinlerin işlem görmemiş proteinlere göre yüksek yağ bağlama kapasite değeri gösterdiğini ve bunun proteinlerin yüzey hidrofobikliğinden kaynaklandığını bildirmişlerdir. Yağ bağlama kapasitesi proteinlerin lipitlerle etkileşime girme özelliğinden dolayı emülsiyon aktivitesi- stabilite indeksi ile güçlü bir ilişki içerisindedir (Jiang vd., 2021). Emülsiyon aktivitesi protein dispersiyon yoluyla emülsifiye edilen maksimum yağ miktarını, emülsiyon stabilitesi ise emülsiyonun direnme ve stabil kalma yeteneğini göstermektedir. Çalışmamızda en düşük emülsiyon aktivitesi değerine modifiye edilmemiş alkali ekstraksiyon protein örneğinde (%37.41), en yüksek değerin ise mikrodalga destekli alkali ekstraksiyon-mikrodalga ısıtma proteinde (%46.77) olduğu tespit edilmiştir. Emülsiyon stabilite indeks değerleri de emülsiyon aktivitesi ile paralellik göstermiştir. En düşük emülsiyon stabilite indeks değerine alkali ekstraksiyon (15.77 m2/g) ve en yüksek mikrodalga destekli alkali ekstraksiyon-mikrodalga ısıtma (33.84 m2/g) proteinlerinde olduğu görülmüştür. Mikrodalga etkisi ile proteinlerde bulunan polar grupların titreşimi ile çözünürlük daha çok artmakta ve böylelikle daha yüksek emülsiyon aktivite-stabilite değerlerine sahip olmaktadır. Mikrodalga ısıtma uygulamasından sonra ultraviyole ve klasik ısıtma teknikleri de emülsiyon aktivitesi ve stabilitesi değerlerini artırmıştır. Bu 3 modifikasyon tekniğinin etkisi ile emülsiyon aktivite ve stabilite verileri arasında farklılık olduğu ve farklılığın istatistiksel olarak önemli oldu tespit edilmiştir ($p<0.05$). Ultraviyole radyasyon ile modifiye edilen proteinlerde konformasyonel değişim sonucu emülsiyon aktivite ve stabilite indeks değerlerinde artış görülmüştür (Ochoa-Rivas vd., 2017). Ayrıca alışmamızda kullanılan üç modifikasyon tekniğinde de sıcaklığın etkisi ile proteinlerin çözünürlüğü, yüzey hidrofobikliği ve moleküler esnekliği değişmektedir. Literatürde de belirtildiği gibi bu değişim sayesinde proteinlerin emülsiyon aktivite ve stabilite değerleri artış göstermektedir (Mune vd., 2019). Ayrıca elde edilen emülsiyon verilerinin proteinlerde modifikasyon sonucu bağlarda meydana gelen değişimlerden kaynaklandığı düşünülmektedir. FTIR analizi sonuçları bu düşünceyi destekler niteliktedir.

Emülsiyon aktivitesi-stabilitesi ile ilişkilendirilen santrifüj çöktürme hızı ve stabilite katsayısı verileri izelge 4.10'da verilmiştir. Hazırlanan emülsiyonlarla

yapılan bu analizlerden santrifüj çöktürme hızı emülsiyon stabilitesi için negatif bir göstergedir. Yüksek emülsiyon özellik gösteren mikrodalga destekli alkali ekstraksiyon-mikrodalga ısıtma protein örnekleri en düşük santrifüj çöktürme hızı (22.78) değerine sahiptir. En düşük emülsiyon özellik gösteren alkali ekstraksiyon proteini ise 36.84 ile en yüksek santrifüj çöktürme hızı değerini göstermektedir. İşlem görmemiş proteinlerin santrifüj çöktürme hız verileri modifiye edilmiş proteinlere göre daha yüksek olduğu tespit edilmiştir. Ayrıca modifikasyon teknikleri arasında da farklılıklar görülmüştür. Bu farklılıklar istatistiksel olarak önemli bulunmuştur ($p < 0.05$). Santrifüj çöktürme hızı verileri ile ters ilişki gösteren stabilite katsayısı (R) değeri emülsiyon özellikleri için olumlu bir göstergedir. SÇH değerinin düşük olması R değerinin daha yüksek ve emülsiyonun daha stabil olduğunun kanıtıdır (Li vd., 2019). Böylece en yüksek R değerine mikrodalga destekli alkali ekstraksiyon-mikrodalga ısıtma proteinleri sahipken en düşük R değerinin ise alkali ekstraksiyon protein örneklerine ait olduğu görülmektedir. Elde edilen veriler arasında farklılık olduğu ve bu farklılığın istatistiksel olarak önemli bulunduğu tespit edilmiştir.

SEM görüntü analizi, çalışmalarda numunelerin mikro yapısını incelemek ve yorumlamak için kullanılan bir tekniktir. Çalışmamızda farklı tekniklerle ekstrakte edilen proteinlerin ve bu proteinlerin farklı tekniklerle modifikasyonu sonucu elde edilen SEM görüntüleri Şekil 4.1.'de verilmiştir. Farklı ekstraksiyon tekniği ile elde edilen proteinlerin SEM görüntüleri incelendiğinde alkali ekstraksiyon tekniğinde daha yoğun yuvarlak protein yapılarının olduğu görülmektedir. Mikrodalga destekli alkali ve ultrason destekli alkali ekstraksiyon tekniğinde yuvarlak yapıdaki proteinlerin AE ile aynı yapılarda olduğu, fakat bazı kısımlarında kümelenmeler ve gözenekler oluştuğu tespit edilmiştir. Oluşan bu kümelenmelerin proteinlerdeki hidrojen bağına, statik elektrik ve hidrofobik etkileşimlerine atfedilebilir. Modifiye edilen proteinlere bakıldığında AE-KI, ME-KI ve UE-KI görüntülerinde proteinler arasında topaklaşmaların arttığı ve gözenekler oluştuğu görülmektedir. Bu değişimlerin sıcaklık etkisi ile oluştuğu düşünülmektedir. Mikrodalga ile modifikasyon örneklerinin SEM görüntüleri incelendiğinde proteinlerin yuvarlak yapılarının kaybolduğu görülmektedir. Mikrodalga etkisi ile bağlar arasında meydana gelen etkileşim sonucu bu yapının değiştiği ve daha pürüzlü olduğu tespit edilmiştir. Literatürde yapılan çalışmalar da mikrodalga etkisi ile protein yapısındaki bağların interaksiyonu ile SEM görüntülerinde değişim olduğu rapor edilmiştir (Sun ve vd., 2020). Ultraviyole radyasyon ile modifiye edilen proteinlerin SEM görüntüleri incelendiğinde klasik ısıtmaya göre daha yoğun topaklaşma olduğu görülmektedir. Görüntünün bazı kısımlarında yuvarlak yapının olduğu, ME-UV örneğinde ise

tamamen pürüzlü bir görüntü olduğu tespit edilmiştir. Bu farklılığın sebebi ekstraksiyon ile oluşmuş bağların modifikasyon sonucu yoğun interaksiyon göstermesinden kaynaklandığı düşünülmektedir. Liu vd. 2004'te yaptığı çalışmada UV etkisi ile fıstık protein filmlerinin SEM görüntülerini incelemişlerdir. Ultraviyole etkisi ile mikro-yapısal değişimin olduğunu ve bu değişimin yeni çapraz bağlanma ile yoğun bir polimer ağı oluşturduğu belirtilmiştir. Modifikasyon teknikleri kıyaslandığında en büyük değişimin mikrodalga tekniğinde ve bunu ultraviyole ile klasik ısıtma takip etmektedir.

Mevcut çalışmada 3 farklı ekstraksiyon tekniği ile üretilen kayısı çekirdeği proteini ve bu proteinlerin modifikasyonu sonucu molekül ağırlıkları SDS-page analizi ile değerlendirildi. Proteinlerin SDS görüntüleri şekil 4.2.'de gösterilmektedir. Alkali, mikrodalga ve ultrason destekli ekstraksiyon proteinlerinin molekül ağırlıkları 11-75 kDa arasında yoğun olarak görüldüğü belirlenmiştir. Kayısı ekirdeği protein bantları Mutlu (2020)'de yaptığı çalışmada ki bantlarla benzerlik göstermiştir (Mutlu, 2020). Ayrıca 3 ekstraksiyon tekniğinin moleküler ağırlık üzerinde değişim meydana getirmediği tespit edilmiştir. Miranda vd., (2020)'de yaptıkları çalışmada da yeşil mercimek proteinin moleküler ağırlığı üzerine ultrasonun herhangi bir etkisinin görülmediği belirtilmiştir. Alkali ve ultrason destekli ekstraksiyon arasında bir farkın olmadığı belirtilmiştir. Yapılan bir başka çalışmada ise bitki yaprağıdan alkali, mikrodalga ve ultrason destekli ekstraksiyon sonucu üretilen proteinlerin moleküler ağırlıklarında farklılık görülmediği tespit edilmiştir. Mikrodalga ve ultrasonun spesifik etkisi olmadığı rapor edilmiştir (Cheng vd., 2021).

Klasik ısıtma, mikrodalga ısıtma ve ultraviyole radyasyon etkisi ile modifiye edilen kayısı çekirdeği proteinlerinin moleküler ağırlıkları 11-75 kDa arasında olduğu grlmştir. Modifikasyon işlemlerinin protein moleküler ağırlığını değiştirmedeği tespit edilmiştir. Klasik ve mikrodalga ısıtma etkisi ile proteinlerde denatürasyon ya da parçalanma meydana gelebilir. Klasik ısıtmada yüksek sıcaklık derecelerine bağlı olarak değişim meydana gelmektedir. Ancak bu ısının yeterli parçalanma sağlamaması nedeniyle moleküler ağırlığı değiştirmemektedir. Mikrodalga ısıtma sırasında ise ani sıcaklık artışı olmakta ve buda proteinlerin yapısında değişim meydana getirmektedir. Bu değişimler proteinlerin üçüncül ve dördüncül yapılarında meydana gelmektedir. Ancak proteinlerdeki peptit zinciri bu sıcaklığa karşı dayanıklı olup kopmamaktadır. Bu nedenle proteinlerde moleküler ağırlığın değişmediği belirtilmiştir (Namlı, 2019). Ultraviyole radyasyon ile modifikasyon tekniğinde aromatik amino asitler (fenilalanin, histidin, triptofan ve

tirozin) etkilenmektedir. Bu aminoasitler radikal oluşturarak, fotokimyasal ve foto-oksidadasyon reaksiyonlar göstererek protein yapılarında değişim meydana getirmektedir. Denatürasyon ve çapraz bağlanma şeklinde meydana gelen bu değişimler moleküler ağırlık üzerinde bir etkiye sahip olmadığı ifade edilmiştir (Pattison ve Davies, 2005.). Bu bağlamda klasik ısıtma, mikrodalga ısıtma ve ultraviyole radyasyon ile modifikasyon sonucu proteinlerin moleküler ağırlıklarında değişim olmamıştır.

Farklı ekstraksiyon tekniği ile elde edilen ve modifikasyon işlemine tabi tutulan proteinlerin konformasyonel değişiminin araştırılması FT-IR ile gözlemlenmiş ve örneklerin FT-IR spektrumları şekil 4.3.'te gösterilmiştir. Protein molekülleri kızılötesi spektrumda birçok titreşim frekansı göstermektedir. Amid-A ve Amid-B bantları sırasıyla suyla ilişkili serbest, molekül içi ve moleküller arası bağların gerilme titreşimlerini temsil etmektedir (Antoniou vd., 2014). Proteinlerdeki amid A ve Amid B'yi temsil eden pikler sırasıyla 3500-3000 cm⁻¹ (serbest ve bağlı O-H ve N-H grupları) ve 2980-2850 cm⁻¹'de (C-H ve NH₂ gerilmesi) dalga boylarında gözlemlenmektedir. Proteinlerin yapısına özgü olan diğer pikler ise Amide I, II ve III bantlarıdır. Amid I karakteristik tepe noktası C=O bağının gerilme titreşimlerine karşılık gelen 1700-1600 cm⁻¹ dalga boylarında görülmektedir. 1600-1500 cm⁻¹ dalga boylarındaki pikler ise amid II tepe noktası olup C-N gerilmesinin, N-H bükülmesinin varlığının kanıtıdır. Amid III pik noktası ise 1300-1200 cm⁻¹'de CH₂/CH₃ gruplarının sallanma ve C-N-H bağlarının bükülme titreşimleri ile ilişkilendirilmektedir (Demirkıran et al., 2022). FT-IR spektrumunda bu pikler aracılığıyla proteinlere ait spesifik yapılar değerlendirilmektedir. şekil 4.2.'de görüldüğü gibi farklı tekniklerle ekstrakte edilen alkali, mikrodalga destekli alkali ve ultrason destekli alkali ekstraksiyon proteinlerinin FT-IR spektrumları belirttiğimiz pikleri yapısında bulundurmaktadır. Amide A bandında alkali ekstraksiyon 3327 cm⁻¹, mikrodalga destekli alkali ekstraksiyon 3320 cm⁻¹ ve ultrason destekli alkali ekstraksiyon proteininde 3325 cm⁻¹ dalga boyunda olduğu tespit edilmiştir. Küçük kaymaların olduğu bu banttaki değişim N-H gerilmelerine atfedilebilir. Amide B bandında da küçük kaymalar görülmüş ve proteinler sırasıyla alkali 2913 cm⁻¹, mikrodalga destekli alkali 2909 cm⁻¹ ve ultrason destekli alkali ekstraksiyon proteinlerinde 2910 cm⁻¹ dalga boylarında olduğu bulunmuştur. Amide I ve II bantları proteinlerin ana bantları olup ve ikincil yapıdaki değişimlerin belirtilmesi için önemli bir göstergedir. Ekstrakte edilen proteinlerde Amide I bantları alkali 1670 cm⁻¹, mikrodalga destekli alkali 1660 cm⁻¹ ve ultrason destekli alkali ekstraksiyon proteilerinde 1667 cm⁻¹ dalga boyu olarak tespit edilmiştir. Bu farklılık ekstraksiyon tekniklerinin proteinlerdeki a-sarmal ve ̢-düzlemsel yapısında

meydana getirdiği değişime atfedilebilir. Literatürde yapılan çalışmalar da göz önüne alındığında ekstraksiyon tekniğinin protein yapısı üzerinde küçük değişimler yaparak bantlarda kaymalara sebep olduğu belirtilmiştir (Liu ve Xi, 2021) . Ekstrakte edilen proteine klasik ısıtma uygulanması ile Amide A bandında alkali ekstraksiyon-klasik ısıtma da 3327 cm⁻¹, mikrodalga destekli alkali ekstraksiyon-klasik ısıtma da 3319 cm⁻¹ ve ultrason destekli alkali ekstraksiyon-klasik ısıtma 3324 cm⁻¹, Amide B bandında ise alkali ekstraksiyon-klasik ısıtma 2913 cm⁻¹, mikrodalga destekli alkali ekstraksiyon-klasik ısıtma 2909 cm⁻¹ ve ve ultrason destekli alkali ekstraksiyon-klasik ısıtma 2909 cm⁻¹ dalga boyunda pikler görülmüştür. Proteinlerin yapısında büyük önem arz eden Amide I bandında alkali ekstraksiyon-klasik ısıtma 1669 cm⁻¹, mikrodalga destekli alkali ekstraksiyon-klasik ısıtma 1660 cm⁻¹ ve ultrason destekli alkali ekstraksiyon-klasik ısıtma 1667 cm⁻¹ dalga boyundaki pikler tespit edilmiştir. Mikrodalga ısıtma işleminin proteinlere uygulanması ile N-H gerilmesini etkileyerek Amide A bandında alkali ekstraksiyon-mikrodalga ısıtma 3310 cm⁻¹, mikrodalga destekli alkali ekstraksiyon-mikrodalga ısıtma 3302 cm⁻¹ ve ultrason destekli alkali ekstraksiyon-mikrodalga ısıtma 3307 cm⁻¹ dalga boyunda pikler elde edilmiştir. Amide B bandında, alkali ekstraksiyon-mikrodalga ısıtma 2895 cm⁻¹, mikrodalga destekli alkali ekstraksiyon-mikrodalga ısıtma 2883 cm⁻¹ ve ultrason destekli alkali ekstraksiyon-mikrodalga ısıtma 2890 cm⁻¹ dalga boyunda pikler görülmüştür. Proteinlerin ikincil yapısını gösteren Amide I bandında ki pikler ise alkali ekstraksiyon-mikrodalga ısıtma 1652 cm⁻¹, mikrodalga destekli alkali ekstraksiyon-mikrodalga ısıtma 1640 cm⁻¹ ve ultrason destekli alkali ekstraksiyon-mikrodalga ısıtma 1648 cm⁻¹ dalga boyu olarak tespit edilmiştir. Ultraviyole ışınlarının proteine uygulanması ise Amide A bandında alkali ekstraksiyon-ultraviyole radyasyon 3319 cm⁻¹, mikrodalga destekli alkali ekstraksiyon-ultraviyole radyasyon 3310 cm⁻¹ ve ultrason destekli alkali ekstraksiyon-ultraviyole radyasyon 3313 cm⁻¹, Amide B bandında ise alkali ekstraksiyon-ultraviyole radyasyon 2903 cm⁻¹, mikrodalga destekli alkali ekstraksiyon-ultraviyole radyasyon 2895 cm⁻¹ ve ultrason destekli alkali ekstraksiyon-ultraviyole radyasyon 2896 cm⁻¹ dalga boyunda pikler görülmüştür. Amide I bandındaki piklerde alkali ekstraksiyon-ultraviyole radyasyon 1660 cm⁻¹, mikrodalga destekli alkali ekstraksiyon-ultraviyole radyasyon 1652 cm⁻¹ ve ultrason destekli alkali ekstraksiyon-ultraviyole radyasyon 1655 cm⁻¹ dalga boyunda olduğu tespit edilmiştir. Proteinlere uygulanan bu üç farklı modifikasyon işlemlerinin Amide A, Amide B, Amide I, II ve III bantlarının pik noktalarında sola doğru kaymalar meydana getirdiği görülmektedir. En fazla kaymaların mikrodalga ısıtma işlem uygulamasında olduğu ve bunu ultraviyole radyasyon, klasik ısıtma takip etmektedir. Mikrodalga modifikasyon işleminde Amide A bandının en düşük dalga boyuna sahip olması ile en güçlü hidrojen bağına sahip olduğunu

göstermektedir. Literatürde yapılan çalışmalarda da belirtildiği gibi Amide A ve B bandının N-H gerilmesi ile ilişkili olup dalga sayısının azalması ile hidrojen bağında artma meydana getirdiği bildirilmiştir (Kubo ve Kadla, 2005; Rashid vd., 2016). Amid I ve II bandı en hassas bantlar olup değişime duyarlıdırlar. α -sarmal ve β -düzlemsel yapıları temsil eden bu bantlar üst üste binen bileşen bantlarından oluşmaktadır (Kamani ve vd., 2021). Bu yapılar mikrodalga ve ultraviyole radyasyon uygulamalarından etkilenecek dalga boylarında değişim meydana gelmiştir. Ayrıca bu uygulamalar proteinlerdeki β -dönüşlerinden rastgele bobinlere daha yüksek bir dönüşüme yol açmış olabilir (Mattice ve Marangoni, 2021). Mikrodalga ve UV ışın uygulaması ile meydana gelen değişimlerin bir diğer nedeni ise ışınların proteinlerin kristal bölgesindeki çift sarmallar üzerindeki etki düzeyi (geçirgenlik) olabilir. Geçirgenlik arttıkça moleküller arası etkileşimler artar ve bu da tepe noktalarında daha fazla kaymaya neden olur. Mikrodalga uygulamasında kaymanın en yüksek olduğu durum, ultraviyole ön işlem ile karşılaştırıldığında üstün radyasyon geçirgenliğine atfedilebilir.

5.5. Hidrojellerin fonksiyonel ve yapısal özellikleri

KÇP ve modifiye edilmiş KÇP'den üretilen hidrojellerin renk parametre değerleri Çizelge 4.10'da verilmiştir. Hidrojellerin rengi, tüketicinin kabul edilebilirliğini etkileyen önemli kalite parametrelerinden biridir. Renk L^* (parlaklık), a^* (kırmızı-yeşil) ve b^* (sarı-mavi) kriterleri göz önüne alınarak değerlendirilmektedir. Ekstrakte edilen protein hidrojellerinin L^* , a^* ve b^* değerlerinde önemsenmeyecek düzeyde farklılık olduğu görülmektedir. Modifiye edilmiş protein hidrojellerinde ise modifikasyon tekniklerinin etkisi ile renk parametrelerinde istatistiksel olarak farklılığın önemli olduğu tespit edilmiştir ($p<0.05$). Modifikasyon tekniklerine göre ise mikrodalga ısıtma ve ultraviyole radyasyon işlemlerinin renk parametreleri üzerinde etkili olduğu belirlenmiştir. Modifiye edilmiş ve edilmemiş protein-pektin hidrojellerinin renk parametrelerinin istatistiksel olarak farklı olduğu ve bu farkın önemli olduğu tespit edilmiştir ($p<0.05$). Farklılığın sebebi olarak ise modifikasyon işlemi sırasında sıcaklığın etkisi olduğu düşünülmektedir. Ayrıca protein-pektin hidrojellerinin de üretim sırasında yüksek sıcaklık etkisi ile Maillard reaksiyonu sonucu renk pigmentlerinin oluştuğu tahmin edilmektedir. Literatürde yapılan çalışmalarda da protein-polisakkarit esaslı

Üretilen hidrojellerde renk değişiminin Maillard reaksiyonu ile ilişkilendirildiği rapor edilmiştir (Y. Wang vd., 2020).

Hidrojellerin fonksiyonel özelliklerinden olan su tutma kapasitesi, şişme oranı ve protein sızıntı miktarı değerleri izelge 4.11’de verilmiştir. Bu fonksiyonel özelliklerden olan su tutma kapasitesi birim kuru hidrojel başına hapsedilen nem Literatürde yapılan çalışmalar incelendiğinde bezelye proteininin sıvı azot ile modifikasyonu sonucu üretilen hidrojellerinde su tutma kapasitesinin daha yüksek olduğu belirtilmiştir. Bu hidrojellerin daha kararlı bir yapı gösterdiği bildirilmiştir. Bu kararlı yapıyı proteinin sıvı azot ile modifikasyonu sonucu moleküller arası bağları geliştirmesinden kaynaklı olduğu rapor edilmiştir. miktarını ifade etmektedir (J. Zhang vd., 2021). nemli fonksiyonel özelliklerden biri olan su tutma kapasitesi, hidrojellerin kendi ağırlılığının bin katından fazla suyu emip tutabilme yeteneğine sahiptirler. Buna rnek olarak süper emici polimerler gösterilebilir (Arpit, 2024). Ayrıca su tutma kapasitesi hidrojellerin kararlılığı hakkında da bilgi vermektedir. Çalışmamızda üretilen hidrojellerin su tutma kapasitesi verileri incelendiğinde modifiye edilmemiş protein jellerinde düşük değerde olduğu ve istatistiksel olarak farkın olduğu görülmektedir ($p<0.05$). Bu farkın protein ekstraksiyon tekniği sırasında proteinlerdeki hidrojen bağları ve dipol-dipol etkileşimlerden kaynaklı olduğu düşünülmektedir. Modifikasyon işleminin uygulanması ile elde edilen protein hidrojellerinin su tutma kapasitesi değerlerinde artış görülmüştür. Su tutma kapasitesinin en düşük olarak alkali ekstraksiyon-klasik ısıtma hidrojeline (%51.90) ve en yüksek değerin ise mikrodalga destekli alkali ekstraksiyon-mikrodalga ısıtma hidrojeli (%72.95) rneklerinde olduğu tespit edilmiştir. Üç modifikasyon tekniğinde de su tutma kapasite değerlerindeki farklılık istatistiksel olarak önemli bulunmuştur ($p<0.05$). Ayrıca modifikasyon sonrası artan su tutma kapasitesi değerleri modifikasyon işleminin etkisi ile protein yapısındaki molekül içi hidrojen bağı miktarının ve N-H ile C=O gerilmelerinin değişmesinden kaynaklandığı düşünülmektedir. Bu sayede daha kararlı hidrojel yapıları görülmüştür. Ayrıca üç tekniğinde bu bağları farklı oranda etkilemesi sonucu farklı su tutma kapasitesi değerlerinin elde edilmesini sağlamıştır. Bu sonuçlar FT-IR spektrumlarındaki değişimler ile doğrulanmıştır. Protein pektin etkileşimi ile üretilen hidrojeller kararlı bir yapı göstermiştir. Modifiye edilmemiş protein-pektin hidrojelleri yüksek su tutma kapasite değeri sergilemiştir. Modifiye edilmiş protein-pektin hidrojelleri ise %83.46-95.17 aralığında daha yüksek su tutma kapasitesi değerleri göstermiştir. Ayrıca rnekler arasında fark olduğu ve bu farkın istatistiksel olarak önemli olduğu tespit edilmiştir ($p<0.05$). Yüksek kararlılık seviyesine gelmiş olan hidrojellerde yukarıda bahsedildiği gibi modifikasyon işlemlerinin etkisi ile yüksek ve farklı su

tutma kapasitesi değerleri elde edilmiştir. Ayrıca protein ve protein-pektin hidrojel­eri kıyaslandığında su tutma kapasitesi değerleri farklılık göstermiştir ($p<0.05$). (Başyigit vd., 2024). He vd., (2021) yaptığı çalışmada ginkgo tohumu proteininden ve pektin kullanılarak hidrojel üretimi gerçekleştirmişlerdir. Pektin içeren jellerin daha kararlı yapı gsterdeği ve yüksek su tutma kapasitesine sahip olduğunu bildirmişlerdir. Elde edilen veriler doğrultusunda yüksek su tutma kapasitesine sahip hidrojel­er üstün sertlik ve kompakt davranışı (tekstürel ve reolojik) sergilemiştir. Ayrıca morfolojik yapılarıda mekanik özellikleri ile uyumlu olduğu grlmştir.

Üç boyutlu ağ yapısına sahip olan hidrojel­er yüksek su tutma kapasitesinin yanı sıra şişme davranışlarına karşılık gelen ekstra suyu emme yeteneğine sahiptir (Lu ve vd., 2020). şişme, hidrojel­erin önemli bir özelliğidir ve hidrojel ağının iç kısmında suyu barındıracak mevcut alan miktarına göre belirlenir (Ashtaputrey ve Ashtaputrey, 2018). Hidrojel­erin şişme yetenekleri, hücrelerin havalandırılması ve hücrelere besin sağlanması üzerinde büyük etkiye sahip olan hücre yapışması için çok önemlidir. Hidrojel­erin fonksiyonel özellikleri açısından önemli olan şişme oranı belirli bir süre saf suda bekletilmesi sonucu belirlenmiştir. Modifiye edilmemiş proteinlerden üretilen hidrojel­erin şişme oranı % 6-8 aralığında tespit edilmiştir. Modifiye edilmiş protein hidrojel­erinin şişme oranları incelendiğinde en düşük değerin alkali ekstraksiyon-klasik ısıtma hidrojelinde % 7.84 ve en yüksek değerin ise mikrodalga destekli alkali ekstraksiyon-mikrodalga ısıtma hidrojelinde % 12.41 olarak belirlenmiştir. Modifikasyon teknikleri kıyaslandığında şişme oranları arasında farklılık olduğu ve bu farklılığın istatistiksel olarak önemli olduğu bulunmuştur ($p<0.05$). Modifiye edilmemiş protein hidrojel­erinin kısmi çözünme nedeniyle düşük şişme oranına sahip olduğu tespit edilmiştir. Modifikasyon teknikleri proteinin özelliklerini geliştirmesi ile daha kararlı yapıda hidrojel oluşturarak şişme oranını artırdığı belirlenmiştir. Modifiye edilmemiş protein-pektin hidrojel­erinin şişme oranlarının artığı ve örnekler arasındaki farkın istatistiksel olarak önemli olmadığı tespit edilmiştir ($p<0.05$).

Modifiye edilmiş proteinden üretilen protein-pektin hidrojel­eri üstün şişme oranı göstermiştir. En düşük şişme oranının alkali ekstraksiyon-klasik ısıtma pektin hidrojelinde % 14.61 en yüksek değerin ise mikrodalga destekli alkali ekstraksiyon-mikrodalga ısıtma pektin hidrojelinde % 32.95 olduğu belirlenmiştir. Modifiye edilmiş proteinden üretilen pektinli hidrojel­erin şişme oranlarının farklılık gösterdiği ve bu farklılığın istatistiksel olarak önemli olduğu tespit edilmiştir ($p<0.05$). Bir polisakkarit olan pektinin protein bazlı hidrojel modellerinin şişme oranı üzerindeki

olumlu etkisi literatürdeki çalışmalarda rapor edilmiştir (Başyigit vd., 2023). Şişme oranı su tutma kapasitesi ile ilişkili olup elde edilen verilerin birbirini doğruladığı görülmektedir. Protein sızıntı miktarı hidrojellerin bir diğer önemli fonksiyonel özelliklerindendir. Hidrojellerin üç boyutlu ağ yapısından proteinin salınması veya göç etmesi olarak ifade edilmektedir (He vd., 2021). Proteinlerin hidrojellerden süzülmesi, onların stabilitesi, işlevselliği ve çevredeki etkenlerle potansiyel etkileşimleri üzerinde dikkate değer bir etkiye sahiptir. Bu bağlamda ekstrakte edilmiş ve modifiye proteinlerden pektinli olarak hidrojel üretimi sağlanıp protein sızıntı miktarı belirlenmiştir. Ekstrakte edilmiş protein hidrojellerinin sızıntı miktarları sırasıyla en düşük değer ile mikrodalga destekli alkali ekstraksiyon protein hidrojel (%19.43), ultrason destekli alkali ekstraksiyon protein hidrojel (%20.06) ve alkali ekstraksiyon protein hidrojel (%24.42) takip etmektedir. Sızıntı miktarları arasındaki farkın istatistiksel olarak önemli olduğu belirlenmiştir. Modifiye edilmiş protein hidrojellerinin sızıntı miktarı işlem görmemiş proteinlere göre daha düşük değerde olduğu tespit edilmiştir ($p<0.05$). Modifikasyon sonucu proteinlerdeki hidrojen bağlarının etkilenmesi ile daha iyi yapıda jel oluşturduğu ve sızıntı miktarını etkilediği belirlenmiştir (Başyigit vd., 2024). Ayrıca işlem görmüş protein hidrojelleri arasında küçük farklılıkların olduğu da belirlenmiştir ($p<0.05$). Pektinle üretilen hidrojeller incelendiğinde modifiye edilmemiş proteinli jellerin sızıntı miktarlarında düşüş gözlemlenmiştir. En fazla düşüşlerin ise modifiye edilmiş protein-pektin hidrojellerinde olduğu tespit edilmiştir. Modifikasyon tekniğine göre sızıntı miktarının en az olduğu mikrodalga destekli alkali ekstraksiyon-mikrodalga ısıtma protein pektin hidrojel (%3.18) en yüksek ise alkali ekstraksiyon-klasik ısıtma protein pektin hidrojel (%13.98) örneklerinde olduğu belirlenmiştir. Modifikasyon tekniklerinin protein bağlarını etkilemesi sonucu pektinle yüksek oranda çapraz bağlar oluşturmaktadır. Artan moleküler arası bağlardan dolayı düşük difüzyon hızı meydana gelmektedir. Ayrıca pektinin varlığı ile oluşan elektrostatik çekim kuvvetiyle de ilişkilendirilebilmektedir (Başyigit vd., 2023; Başyigit vd., 2024).

Üretilen hidrojellerin morfolojik yapısı değerlendirilmiştir. Protein ve pektin-protein hidrojellerinin SEM görüntüleri Şekil 4.4. ile .5.'te verilmiştir. Protein hidrojelleri incelendiğinde ekstraksiyon tekniklerine göre farklı görüntüler elde edilmiştir. Alkali ekstraksiyon ve ultrason destekli alkali ekstraksiyon hidrojel görüntülerinin topaklanmış, pürüzlü ve düzensiz bir yapı gösterdiği mikrodalga destekli alkali ekstraksiyon hidrojel görüntüsünün ise daha belirgin yapıda olduğu görülmektedir. Ayrıca jel yapılarında gözeneklerin olmadığı bir yapı mevcuttur. Klasik ısıtma, mikrodalga ısıtma ve ultraviyole ile modifiye edilmiş proteinlerden üretilen hidrojellerin morfolojik yapılarının daha belirgin yapılar olduğu ve pürüzlü

yapıda azalma meydana geldiği tespit edilmiştir. Ayrıca modifikasyon işlemiyle proteinlerin hidrojel oluşturma yeteneğinin arttığı belirlenmiş ve yapılan çalışmalarla da desteklenmiştir (Demirkıran vd., 2022). FT-IR sonuçlarına bakıldığında bu durumun olası açıklaması hidrojen bağlarının sayısındaki ve elektrostatik etkileşimlerdeki farklılık olduğu düşünülmektedir (Maltais vd., 2009).

Pektin-protein hidrojellerinin morfolojik yapısı sadece protein ile üretilen hidrojellere nispeten daha düzgün ince yüzeye sahip olduğu ve i içe geçmiş tabaka morfolojilerinin ortaya çıktığı görülmektedir. Pektinli hidrojellerin daha yoğun kompozit ağlara sahip olduğu belirlenmiştir. Ayrıca bu hidrojellerde daha düzenli ve düzgün (homojen) mikro yapılar elde edilmiştir. Bu spesifik yapılar, pektinin varlığında meydana gelen moleküller arası bağlara atfedilebilir. Pektin aracılığıyla protein ile çapraz bağ oluşturan hidrojeller için benzer yorumlar önceki çalışmalarda rapor edilmiştir (Zhang vd., 2018). Yukarıda belirtilen özelliklere ek olarak KP ve pektinin bir arada bulunmasıyla daha kompakt ve sert mikro yapılarla sahip hidrojeller oluşmuştur. Oluşan bu yapı içerindeki pektinin varlığıyla ilişkilendirilebilir. Protein ve karbondhidratlar arasındaki etkileşimler, hidrojel modellerinde çapraz bağlanma sayısını tetikler. Bu etkileşimlerin istenen üç boyutlu yapıların oluşumuna katkıda bulunduğu anlamına gelir (Slavutsky ve Bertuzzi, 2019). Hidrojellerin morfolojik yapısında görülen tüm bu yapıların modifiye edilmiş protein-pektin hidrojellerinde daha belirgin olduğu görülmektedir. Ayrıca mikrodalga ve ultraviyole ile modifiye edilmiş protein ve pektin hidrojellerinde gözenekli ve daha düzgün ince yüzeye sahip i içe geçmiş yapılar görüldüğü belirlenmiştir. Gözenekli yapılar hidrojellerin spesifik özelliği olup en önemli morfolojik yapısını ifade etmektedir (Zhang ve vd., 2021). Tüm sonuçlar göz önüne alındığında, bu çalışmadaki hidrojellerin fonksiyonel özellikleri, tekstür profili ve reolojik davranışlarına ilişkin veriler SEM görüntülerinin değerlendirilmesiyle uyumlu olduğu tespit edilmiştir.

Hidrojellerin mekanik özelliklerinden olan tekstürel analiz, hidrojellerin dokusal özelliklerini tespit etmek için uygulanan bir tekniktir. Tekstürel analiz tekniğinde hidrojellerin sertlik, sakızımsılık, çiğnenebilirlik, yaylanma, esneklik ve yapışkanlık gibi dokusal parametreleri incelenmiştir. Hidrojellerin tekstürel parametreleri izelge 4.12. ve 4.13.’te verilmiştir. Sertlik örneklerin yapısal olarak sağlamlığı hakkında bilgi vermektedir (Funami, 2011). Sertlik verileri incelendiğinde modifiye edilmemiş protein hidrojellerinde alkali ekstraksiyon hidrojeli 160.63, mikrodalga destekli alkali ekstraksiyon hidrojeli 292.29 ve ultrason destekli alkali ekstraksiyon hidrojeli 245.41 olduğu görülmektedir. Veriler arasındaki

bu farklılığın sebebi olarak ekstraksiyon sırasında proteinlerde meydana gelen dipol-dipol etkileşimlerinden kaynaklandığı ve jel yapısını etkilediği düşünülmektedir. Ayrıca elde edilen veriler arasındaki bu farklılığın istatistiksel olarak önemli olduğu tespit edilmiştir ($p<0.05$). Modifiye edilmiş hidrojellerin sertlik değerlerine bakıldığında modifikasyon sonucu değerlerin arttığı belirlenmiştir. En yüksek değerlerin mikrodalga ile modifikasyon işleminde olduğu ve bunu ultraviyole, klasik ısıtma işlemi takip etmektedir. Modifikasyon tekniklerinin protein yapısındaki hidrojen bağlarını etkilemesi ile daha sert yapıda jel oluşturduğu görülmüştür. Pektin-protein hidrojelleri ise daha üstün sertlik özelliği göstermiştir. Veriler incelediğinde en yüksek sertlik değerinin mikrodalga destekli alkali ekstraksiyon-mikrodalga ısıtma protein pektin hidroجلي (868.20) en düşük ise alkali ekstraksiyon protein pektin hidroجلي (446.08) örneklerinde olduğu belirlenmiştir. Pektin-protein hidrojellerinin sertlik değerleri verilerinin farklılık gösterdiği ve istatistiksel olarak önemli olduğu tespit edilmiştir ($p<0.05$). Pektin-protein hidrojellerinin sertlik değerlerinin sadece protein ile üretilen kontrol hidrojellerinin sertlikleri ile kıyaslandığında oldukça yüksek olduğu görülmektedir. Bunun sebebi ise protein-pektin arasında oluşan güçlü bağlar hidrojelere yüksek sertlik özellik kazandırmasından kaynaklanmaktadır (Muhialdin ve Ubbink, 2023). Ayrıca Slavutsky ve Bertuzzi (2019) yaptığı çalışmasında belirttiği gibi moleküller arasında oluşan elektrostatik çekim kuvveti de hidrojellerin sertlik değerini etkilediği rapor edilmiştir. Diğer parametrelerden olan sakızimsılık, çiğnenebilirlik, esneklik ve yapışkanlık verileri de sertlik verileri ile pozitif korelasyon içinde olduğu görülmektedir (Chen vd., 2022). Her bir parametre için en yüksek verilerin mikrodalga destekli alkali ekstraksiyon-mikrodalga ısıtma protein pektin hidroجلي en düşük ise alkali ekstraksiyon protein hidroجلي olduğu belirlenmiştir. Verilerin örnekler arasında farklılık gösterdiği ve bu farklılığın istatistiksel olarak önemli olduğu tespit edilmiştir. Üstün sertlik, sakızimsılık, çiğnenebilirlik, esneklik ve yapışkanlık dış etkenlere karşı avantaj sağlaması nedeniyle arzu edilen hidrojel özelliklerindendir (Muhialdin ve Ubbink, 2023).

Bir diğer tekstürel profil parametresi olan yaylanma özelliği diğer parametrelerle ters ilişki içindedir. Elde edilen veriler Çizelge 4.13'te incelendiğinde en yüksek yaylanma özelliğinin modifiye edilmemiş protein hidrojellerinde olduğu görülmektedir. Proteinlerin modifiye edilmesi ile üretilen jellerde bu değerin düştüğü gözlemlenmiştir. Bunun nedeni ise modifikasyon işleminin protein özelliklerini değiştirdiği ve hidrojel üretiminde daha sağlam yapı oluşturduğu belirlenmiştir. Modifikasyon öncesi ve sonrası üretilen hidrojellerin yaylanma verilerinin farklı olduğu ve bu farklılık istatistiksel olarak önemli bulunmuştur ($p<0.05$). Pektin ile

üretileen protein hidrojellemi daha sağlam jeller olup düşük yaylanma özelliğine sahip olduğu belirlenmiş ve yapılan çalışmalarla desteklenmiştir (Demirkıran ve vd., 2022). Yaylanma verileri hidrojel örnekleri arasında farklılık göstermiştir ($p<0.05$). Esneklik ve yapışkanlık özelliklerinin sertlikle orantılı olduğunu daha öncede belirtilmiştik. Bu özelliklerin hidrojelde arzu edilen seviyede olduğu görülmektedir. Modifikasyon tekniğine göre örnekler arasında farklılık olduğu tespit edilmiştir($p<0.05$). Elde edilen tekstür parametre değerlerinin reoloji verileri ile tutarlı olduğu görülmüştür.

Kayıısı ekirdeği proteininden üretilen hidrojellerde, çapraz bağlı proteinlerin ve pektinin kullanımının sırasıyla elastikiyet ve viskoz davranışını temsil eden depolama modülü (G') ve kayıp modülü (G'') zerindeki etkisini değerlendirmek için dinamik salınım ölçümleri yapılmıştır. Ölçümler sıcaklığın bir fonksiyonu olarak şekil 4.6.'da verilmiştir. Sıcaklığın 20°C 'den 60°C 'ye doğru geçişi sırasında tüm hidrojellerde G' ve G'' davranışlarında gözle görülür değerikliklere yol açmıştır. Bu sıcaklık aralığında mekanik özelliklerde kademeli bir azalma gözlenmiştir. Üretilen hidrojellerin üç boyutlu yapısında jelden çözeltiye dönüşümün kanıtıdır (Saxena vd., 2011). Bu çalışmada elde edilen sonuçlar, hidrojel yapısının düşük sıcaklıklardaki üstün stabilitesini yansıtmaktadır. Literatürde belirtilen bir çalışmada sıcaklık ile hidrojel stabilitesi arasında negatif bir korelasyon olduğu belirtilmiştir (Martins vd., 2019). Ayrıca hidrojellerin G' değerı tüm sıcaklıklarda G'' ninkinden daha yüksektir ve bu viskoz özellik yerine elastik benzeri karakterin baskın olduğunu göstermektedir (Nesrinne ve Djamel, 2017). Alkali ekstraksiyon, mikrodalga destekli alkali ve ultrason destekli alkali ekstraksiyon protein hidrojellerinin vizkoelastisite davranışları hakkında bilgi veren G' ve G'' sonuçlarına bakılınca reolojik karakter olarak farklılık sergilemiştir. Ayrıca modifiye edilmiş protein hidrojellerinin depolama ve kayıp modülünde önemli farklılıklar görülmüştür. Proteinlerin modifiye edilmesiyle sıcaklığa karşı daha stabil olduğu belirlenmiştir. Bu etkinin en fazla görüldüğü modifikasyon tekniği ise mikrodalga ısıtma olup bunu sırasıyla ultraviyole ve klasik ısıtma takip etmektedir. Yapılan benzer çalışma da modifiye edilmiş proteinler işlem görmemiş protein kullanılarak hazırlanan hidrojellere kıyasla daha yüksek bir G' değerı ölçüldüğü rapor edilmiştir (Ruzengwe vd., 2020). Bu durum hidrojellerin protein bağlarının bağlanma derecesi ile ilişkilendirilebilir (Fan vd., 2015; J. Liu vvd., 2022). Mikrodalga ve UV etkisi ile protein bağlarında meydana gelen kaymalar FTIR spektrumunda belirtilmiş olup reolojik verilerindeki farklılığın kaynağı olduğu düşünülmektedir.

Kayıısı ekirdeği proteini ile pektin arasındaki etkileşimden dolayı hidrojeller

en yüksek G' ve G" değerlerine sahip olduğu belirlenmiştir (şekil 4.7). Bu durum protein-pektin hidrojellerinin üstün stabilitesinin kanıtıdır (Saxena vd., 2011). Bu stn stabilite, elektrostatik komplekslere ve daha katı bir yapı sağlayan H-bağlarına atfedilebilir (Başyigit vd., 2023). Ayrıca pektin kullanımı ile çapraz bağlanma, hidrojel ağ yapısında kovalent bağların oluşmasına yol açtı ve dolayısıyla hidrojellerin G' değerini arttırmıştır (Hu vd., 2015). Bu yaklaşımlar, hidrojellerin fonksiyonel ve doku özellikleri ile desteklenmiştir. Modifiye edilmiş protein-pektin hidrojellerinde ise, çok güçlü bir jel yapısı ile sonuçlanmıştır. Sırasıyla mikrodalga, ultraviyole ve klasik ısıtma ile işlem görmüş protein-pektin hidrojellerinin G' değerlerinin daha yüksek olduğu belirlenmiştir. Modifiye edilmemiş protein-pektin hidrojellerinin reolojik verilerinin daha düşük olduğu tespit edilmiştir. Benzer bulgular literatürde yapılmış çalışmalar da rapor edilmiştir (Van Vlierberghe vd., 2010; Helmick vd., 2023). Modifikasyon işlemi ve pektin kullanımı ile polimerik ağın bağlantı bölgelerinde çok sayıda hidrojen bağının arttırılması, üretilen protein jellerinin üç boyutlu yapısının stabilize edilmesinde önemli bir rol oynayabilir.

Bu bölümde nar kabuğu fenolikleri KP bazlı hidrojel sistemlerine yüklenmiş ve biyoaktif maddelerin sodyum fosfat tampon çözeltisine salınım davranışları incelenmiştir. Modifikasyon ncesi-sonrası ve pektin içerip içermemesine göre in vitro salınım davranışı değerlendirilmiştir. Fenoliklerin difüzyon hızı 360 dakika boyunca takip edilmiş ve salınım eğrileri şekil 4.8'de zamanın bir fonksiyonu olarak verilmiştir. Salım mekanizması, hidrojel matris formülasyonuna bağlı olarak değişiklik göstermiştir. Hidrojel yapısının, fonksiyonel bileşik salınımı düzeyi üzerinde ki etkisi göz ardı edilmemektedir. İlk 30 dakikada fenolik sızıntı oranı alkali ekstraksiyon protein hidrojeline maksimum (%19.73) olduğu belirlenmiş ve bunu ultrason destekli alkali ekstraksiyon hidrojeli (%19.60) ve mikrodalga destekli alkali ekstraksiyon hidrojeli (%18.56) takip etmektedir. Maksimum sızıntı jel sistemindeki kısmi bir patlama ile açıklanabilir. Bu hidrojellerdeki kısmi patlama, biyoaktif bileşiklerin i yapılarından kısa sürede çözeltiye aşırı miktarda geçmesinden kaynaklı olabildiği düşünmektedir (Y. Liu vd., 2022). KP-H'den çözeltiye hızlı bir fenolik geçiş 30 ile 60 dakika arasında tespit edildi ve bu süre sonundki değer %45.25 olmuştur. Bu ilgili jel sisteminde tam bir patlamanın başlangıcına atfedilebilir (Figueroa-Pizano vd., 2018). Fenoliklerin salınımı (%68.52) 120 dakikaya kadar devam etmiştir. 30 ile 120 dakika aralığındaki salınım KP-H'nin gesek yapısıyla ilişkilendirilebilir. Muhtemelen jel sistemleri bu karakteristik yapı nedeniyle hızla deforme olup aniden patlamıştır. Ayrıca, KP-H'nin salınım mekanizması 120 dakikadan son ölçüme kadar yavaş ve kısmi bir şekilde gerçekleşmiş ve salınan fenolik oranı 360 dakikada yaklaşık %90'a ulaşmıştır. KP-H'den farklı olarak

modifiye edilmiş jel sistemlerinde ölçümler boyunca salınım mekanizması kademeli olarak gerçekleşmiştir. Kademeli salınım 180 dakikaya kadar sürmüş ve jel matrisinden çözeltiyi serbest bırakmak için minimum fenolik salınımı mikrodalga ile modifiye edilmiş jellerde, ardından ultraviyole ve klasik ısıtma jellerinde tespit edilmiştir. Modifikasyon sayesinde hidrojellerdeki gevşek yapının değişmesiyle fenolik salınımı daha yavaş ve az gerçekleşmiştir. Pektin ile üretilen KP hidrojellerinde fenolik salınımı çözeltiyeye kademeli bir geçiş sağlamıştır. Maksimum fenolik taşınımı KP-PH'de, ardından UV-PH ve ME-PH'de tespit edilmiştir. Bu maksimum salınımın altında yatan neden hidrojellerin morfolojik yapılarına bağlamak mümkündür. SEM görüntüleri incelendiğinde modifiye edilmiş protein-pektin hidrojellerindeki gözenek sayısının daha fazla ve boyutlarının daha büyük olduğu grlmştir. Muhtemelen bu karakteristik özellikler fenoliklerin çevreye geçişini hızlandırmış ve/veya kolaylaştırmıştır. Hidrojel sistemlerde gözeneklerin fazla sayıda olması veya büyük boyutlu olması, bu sistemlere yüklenen fonksiyonel yapıların/ilaçların difüzyon hızının artmasına neden olur (Vermonden vd., 2012). Modifiye edilmiş protein-pektin hidrojellerinde 360 dakika sonunda fenolik taşınımın %54.24-35.03 aralığında olduğu belirlenmiştir. Pektin ile hazırlanmayan hidrojellere göre daha düşük miktarda salınım olduğu görülmektedir. Minimum salınımı sağlayan hidrojellerin daha sert ve kompakt yapıda olmasıdır. Bu yapı hidrojellerin patlamasını önlemiş ve difüzyon oranındaki ciddi artışı sınırlamıştır. Tekstürel ve reolojik bulgulara ilişkin veri setleri bu yaklaşımı desteklemektedir. Sonuç olarak proteinlerin modifiye edilip pektin ile hidrojel üretilmesi ve bunun çeşitli alanlarda kullanılması daha makul bir yaklaşım olduğu yapılan çalışmalarla desteklenmiştir (Figueroa-Pizano vd., 2018).

6. SONUÇLAR

Bu çalışmanın temel amacı olarak yüksek protein içeriğine sahip olan kayısı çekirdeğinden yüksek verimde protein tozu üretilmiş ve bu protein çeşitli tekniklerle modifiye edilerek fonksiyonel özellikleri geliştirilmiştir. Bu doğrultuda geliştirilmiş protein tozlarından katma değerli ürün üreterek çeşitli sistemlere dahil edilmiştir. Çalışmada yapılan uygulamalara ait verilerin değerlendirilmesi aşağıda sıralanmaktadır;

- Kayısı ekirdeğinden protein ekstraksiyonu için 10 farklı teknik kullanılmış ve protein verimleri hesaplanmıştır. Bu doğrultuda kullanılan teknikler arasında alkali ekstraksiyon, mikrodalga destekli alkali ekstraksiyon ve ultrason destekli alkali ekstraksiyon teknikleri yüksek verime sahip olduğu belirlenmiştir. Verim göz önüne alınarak pşkrtmeli kurutucuda protein tozları üretilmiştir.

- Kayısı ekirdeğinden farklı ekstraksiyon tekniği ile elde edilen proteinlerin kimyasal kompozisyon analiz verileri değerlendirilmiş. Çalışmanın temeli için önemli olan proteinin yüksek oranda elde edildiği tespit edilmiştir.

- KP'nın fonksiyonel özellikleri incelenmiştir. Bu doğrultuda emülsiyon ve köpük oluşturma özellikleri detaylandırılmıştır. Ekstraksiyon tekniğine göre fonksiyonel özelliklerinin farklılık gösterdiği belirlenmiş, en iyi fonksiyonel özelliği ile mikrodalga destekli ekstraksiyon ve bunu sırasıyla ultrason destekli, alkali ekstraksiyon tekniği takip etmektedir. Elde edilen veriler bilimsel literatür ile doğrulanmıştır.

- Farklı ekstraksiyon tekniği ile elde edilen proteinler farklı modifikasyon teknikleri ile fonksiyonel özellikleri geliştirilmiştir. Klasik ısıtma, mikrodalga ve ultraviyole ışın tekniklerinin uygulama koşulları n denemeler sonucu belirlenerek modifikasyon işlemi gerçekleştirilmiştir. En etkin tekniğin mikrodalga olduğu ve bunu ultraviyole radyasyon, klasik ısıtma modifikasyon teknikleri takip etmiştir. Fonksiyonel zellikleri gelişen proteinlerin FTIR spektrumları ve SEM görüntüleri incelenerek doğrulanmıştır.

- Proteinlerin saf formda kullanılarak hidrojel üretilmesi ve bunun kullanılması sınırlayıcı bir uygulamadır. Bu amaçla çalışmamızda sürdürülebilir bir yeşil teknoloji olan klasik ısıtma, mikrodalga ve ultraviyole radyasyon uygulamalarını kullanarak sağlam bitki proteini bazlı hidrojellerin üretilmesi

mümkün olmuştur.

- Saf protein hidrojellerinin fonksiyonel özelliklerinin geliştirilmesi yeterli bir uygulama olmayabilir. Bu nedenle bitki bazlı hidrojel modellerinin üretimine pektin dahil edilmiştir. Pektin ile üretilmiş hidrojeller üstün fonksiyonel özellik sergilediği tespit edilmiştir. Ayrıca toksik olmaması, retimnin kolay ve biyolojik olarak parçalanabilir olması önemli avantajlarındandır.

- Modifiye edilmiş protein-pektin hidrojel sistemi herhangi bir ek desteğe ihtiyaç duymadan mekanik özellikler açısından çevresel streslere karşı dayanıklılık gösterebilmektedir. Bu mekanik dayanıklılık tekstür profilinde ve reolojik özellikleri ile elde edilen verilerle tespit edilmiştir.



7. ÖNERİLER

Elde edilen veriler sonucunda;

- Kayısı çekirdeğinin içerdiği yüksek yağ oranına ilave olarak yüksek miktarda protein içermesi bitkisel protein üretimi için alternatif bir kaynak olarak kullanılabilir.

- Protein ekstraksiyon işlemi için verim göz önüne alındığında alkali ekstraksiyon, mikrodalga destekli alkali ve ultrason destekli alkali ekstraksiyon tekniği kullanılabilir.

- KÇP'nın fonksiyonel özelliklerinin geliştirilmesi amacıyla klasik ısıtma, mikrodalga ve ultraviyole ışın tekniklerinin kullanılması önerilebilir.

- Modifiye edilmiş proteinlerden ve protein-pektin hidrojel üretiminin sağlanması ile fonksiyonel yapıların hedefe ulaşmasında taşıyıcı olarak değerlendirilebilir. Ayrıca pektinli hidrojel sistemindeki biyoaktif maddelerin salınımının yavaş ve kontrol edilebilir olması nedeniyle yara iyileştirme çalışmalarında da kullanılabilir. Bahsedilen bu yaklaşım gelecekteki tıbbi ve farmasötik çalışmalar için umut vericidir. KÇP hidrojellerinin bu alanlarda uygulanabilirliğini açıkça ortaya koymak için daha ileri çalışmalara da ihtiyaç duyulabilir.

KAYNAKLAR

- Abd Rahim, F. N., Wan Ibadullah, W. Z., Saari, N., Brishti, F. H., Mustapha, N. A., Ahmad, N., & Arulrajah, B. (2023). The effect of alkaline extraction and drying techniques on the physicochemical, structural properties and functionality of rice bran protein concentrates. *International Journal of Biological Macromolecules*, 242, 124908. <https://doi.org/10.1016/j.ijbiomac.2023.124908>
- Ćorković, I., Pichler, A., Šimunović, J., & Kopjar, M. (2021). Hydrogels: Characteristics and application as delivery systems of phenolic and aroma compounds. *Foods*, 10(6), 1252. <https://doi.org/10.3390/foods10061252>
- Abdanan Mehdizadeh, S., Minaei, S., Karimi Torshizi, M. A., & Mohajerani, E. (2015). Effect of UV irradiation, sample thickness and storage temperature on storability, bacterial activity and functional properties of liquid egg. *Journal of Food Science and Technology*, 52(7), 4414–4422. <https://doi.org/10.1007/s13197-014-1509-1>
- Aguilar-Reynosa, A., Romani, A., Ma. Rodríguez-Jasso, R., Aguilar, C. N., Garrote, G., & Ruiz, H. A. (2017). Microwave heating processing as alternative of pretreatment in second-generation biorefinery: An overview. *Energy Conversion and Management*, 136, 50–65. <https://doi.org/10.1016/j.enconman.2017.01.004>
- Ahmad, S., Ahmad, M., Manzoor, K., Purwar, R., & Ikram, S. (2019). A review on latest innovations in natural gums based hydrogels: Preparations & applications. *International Journal of Biological Macromolecules*, 136, 870–890. <https://doi.org/10.1016/j.ijbiomac.2019.06.113>
- Ahmad, Z., Salman, S., Khan, S. A., Amin, A., Rahman, Z. U., Al-Ghamdi, Y. O., Akhtar, K., Bakhsh, E. M., & Khan, S. B. (2022). Versatility of hydrogels: From synthetic strategies, classification, and properties to biomedical applications. *Gels*, 8(3), 167. <https://doi.org/10.3390/gels8030167>
- Ahsan, A., Tian, W.-X., Farooq, M. A., & Khan, D. H. (2021). An overview of hydrogels and their role in transdermal drug delivery. *International Journal of Polymeric Materials and Polymeric Biomaterials*, 70(8), 574–584. <https://doi.org/10.1080/00914037.2020.1740989>
- Akhtar, M. F., Hanif, M., & Ranjha, N. M. (2016). Methods of synthesis of hydrogels. A review. *Saudi Pharmaceutical Journal*, 24(5), 554–559. <https://doi.org/10.1016/j.jsps.2015.03.022>
- Amagliani, L., O'Regan, J., Kelly, A. L., & O'Mahony, J. A. (2016). Physical and flow properties of rice protein powders. *Journal of Food Engineering*, 190, 1–9. <https://doi.org/10.1016/j.jfoodeng.2016.05.022>
- Antoniou, J., Liu, F., Majeed, H., Qazi, H. J., & Zhong, F. (2014). Physicochemical and thermomechanical characterization of tara gum edible films: Effect of polyols as plasticizers. *Carbohydrate Polymers*, 111, 359–365. <https://doi.org/10.1016/j.carbpol.2014.04.005>

- Asgar, M. A., Fazilah, A., Huda, N., Bhat, R., & Karim, A. A. (2010). Nonmeat protein alternatives as meat extenders and meat analogs. *Comprehensive Reviews in Food Science and Food Safety*, 9(5), 513–529. <https://doi.org/10.1111/j.1541-4337.2010.00124.x>
- Ashtaputrey, P., & Ashtaputrey, S. (2018). Study of swelling behavior and determination of swelling parameters of spherical hydrogels in water. *Journal of Drug Delivery and Therapeutics*, 8(4). <https://doi.org/10.22270/jddt.v8i4.1775>
- Ata, O., Kumcuoglu, S., & Tavman, S. (2022). Effects of sonication on the extraction of pepsin-soluble collagens from lamb feet and product characterization. *LWT*, 159, 113253. <https://doi.org/10.1016/j.lwt.2022.113253>
- Bajpai, S. K., & Singh, S. (2006). Analysis of swelling behavior of poly(methacrylamide-co-methacrylic acid) hydrogels and effect of synthesis conditions on water uptake. *Reactive and Functional Polymers*, 66(4), 431–440. <https://doi.org/10.1016/j.reactfunctpolym.2005.09.003>
- Bakwo Bassogog, C. B., Nyobe, C. E., Ngui, S. P., Minka, S. R., & Mune Mune, M. A. (2022). Effect of heat treatment on the structure, functional properties and composition of *Moringa oleifera* seed proteins. *Food Chemistry*, 384, 132546. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2022.132546>
- Baskıncı, T., & Gul, O. (2023). Modifications to structural, techno-functional and rheological properties of sesame protein isolate by high pressure homogenization. *International Journal of Biological Macromolecules*, 250, 126005. <https://doi.org/10.1016/j.ijbiomac.2023.126005>
- Başığit, B., Altun, G., Özaslan, Z. T., & Karaaslan, M. (2024). Synthesizing mechanically robust natural pea protein hydrogels via deep cryogenic treatment: State of the art in bioactive compound delivery system. *Food Hydrocolloids*, 146, 109202. <https://doi.org/10.1016/j.foodhyd.2023.109202>
- Başığit, B., Altun, G., Yüce-tepe, M., Karaaslan, A., & Karaaslan, M. (2023). Locust bean gum provides excellent mechanical and release attributes to soy protein-based natural hydrogels. *International Journal of Biological Macromolecules*, 231, 123352. <https://doi.org/10.1016/j.ijbiomac.2023.123352>
- Başığit, B., Görgüç, A., Gençdağ, E., Cansu, Ü., Yılmaz, F. M., & Karaaslan, M. (2022). Functional characterization of high-yield plant protein powder valorized from de-oiled sour cherry seed using microwave-assisted enzymatic extraction followed by spray- and freeze-drying. *Biomass Conversion and Biorefinery*. <https://doi.org/10.1007/s13399-022-03225-2>
- Batista, R. A., Espitia, P. J. P., Quintans, J. de S. S., Freitas, M. M., Cerqueira, M. Â., Teixeira, J. A., & Cardoso, J. C. (2019). Hydrogel as an alternative structure for food packaging systems. *Carbohydrate Polymers*, 205, 106–116. <https://doi.org/10.1016/j.carbpol.2018.10.006>
- Bealer, E. J., Onissema-Karimu, S., Rivera-Galletti, A., Francis, M., Wilkowski, J., Salas-de la Cruz, D., & Hu, X. (2020). Protein–polysaccharide composite

- materials: fabrication and applications. *Polymers*, 12(2), 464. <https://doi.org/10.3390/polym12020464>
- 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. <https://doi.org/10.1080/01496395.2019.1577449>
- Boye, J., Zare, F., & Pletch, A. (2010). Pulse proteins: Processing, characterization, functional properties and applications in food and feed. *Food Research International*, 43(2), 414–431. <https://doi.org/10.1016/j.foodres.2009.09.003>
- Brem, R., Guven, M., & Karran, P. (2017). Oxidatively-generated damage to DNA and proteins mediated by photosensitized UVA. *Free Radical Biology and Medicine*, 107, 101–109. <https://doi.org/10.1016/j.freeradbiomed.2016.10.488>
- Bucak, C. D., & Sahin, M. O. (2023). Super-flexible, moldable, injectable, self-healing PVA/B/CMC hydrogels synthesis and characterization, as potential water-retaining agent in agriculture. *Polymer Bulletin*, 80(6), 6591–6608. <https://doi.org/10.1007/s00289-022-04379-9>
- Burger, T. G., & Zhang, Y. (2019). Recent progress in the utilization of pea protein as an emulsifier for food applications. *Trends in Food Science & Technology*, 86, 25–33. <https://doi.org/10.1016/j.tifs.2019.02.007>
- Cao, H., Fan, D., Jiao, X., Huang, J., Zhao, J., Yan, B., Zhou, W., Zhang, W., Ye, W., Zhang, H., & Chen, W. (2018). Intervention of transglutaminase in surimi gel under microwave irradiation. *Food Chemistry*, 268, 378–385. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2018.06.067>
- Carrillo-Lopez, L. M., Garcia-Galicia, I. A., Tirado-Gallegos, J. M., Sanchez-Vega, R., Huerta-Jimenez, M., Ashokkumar, M., & Alarcon-Rojos, A. D. (2021). Recent advances in the application of ultrasound in dairy products: Effect on functional, physical, chemical, microbiological and sensory properties. *Ultrasonics Sonochemistry*, 73, 105467. <https://doi.org/10.1016/j.ultsonch.2021.105467>
- Chen, J., Sun, H., Mu, T., Blecker, C., Richel, A., Richard, G., Jacquet, N., Haubruge, E., & Goffin, D. (2022). Effect of temperature on rheological, structural, and textural properties of soy protein isolate pastes for 3D food printing. *Journal of Food Engineering*, 323, 110917. <https://doi.org/10.1016/j.jfoodeng.2021.110917>
- Chizoba Ekezie, F.-G., Sun, D.-W., Han, Z., & Cheng, J.-H. (2017). Microwave-assisted food processing technologies for enhancing product quality and process efficiency: A review of recent developments. *Trends in Food Science & Technology*, 67, 58–69. <https://doi.org/10.1016/j.tifs.2017.05.014>
- Contreras, M. del M., Lama-Muñoz, A., Manuel Gutiérrez-Pérez, J., Espínola, F., Moya, M., & Castro, E. (2019). Protein extraction from agri-food residues for integration in biorefinery: Potential techniques and current status. *Bioresource*

Technology, 280, 459–477. <https://doi.org/10.1016/j.biortech.2019.02.040>

- Cortez-Trejo, M. C., Figueroa-Cárdenas, J. D., Quintanar-Guerrero, D., Baigts-Allende, D. K., Manríquez, J., & Mendoza, S. (2022). Effect of pH and protein-polysaccharide ratio on the intermolecular interactions between amaranth proteins and xanthan gum to produce electrostatic hydrogels. *Food Hydrocolloids*, 129, 107648. <https://doi.org/10.1016/j.foodhyd.2022.107648>
- Çam, M., İçyer, N. C., & Erdoğan, F. (2014). Pomegranate peel phenolics: Microencapsulation, storage stability and potential ingredient for functional food development. *LWT - Food Science and Technology*, 55(1), 117–123. <https://doi.org/10.1016/j.lwt.2013.09.011>
- Demirkıran, E., Başığit, B., Altun, G., Yüce-tepe, M., Sağlam, H., & Karaaslan, M. (2022). Facile construction of fruit protein based natural hydrogel via intra/inter molecular cross-linking. *Food Hydrocolloids*, 133, 107899. <https://doi.org/10.1016/j.foodhyd.2022.107899>
- Deore, A., Athmaselvi, K. A., & Venkatachalapathy, N. (2023). Effect of ultrasound and microwave pretreatment on sprouting, GABA, bioactive compounds, and other physicochemical properties of sorghum. *Grain & Oil Science and Technology*, 6(2), 91–99. <https://doi.org/10.1016/j.gaost.2023.02.002>
- Du, M., Xie, J., Gong, B., Xu, X., Tang, W., Li, X., Li, C., & Xie, M. (2018). Extraction, physicochemical characteristics and functional properties of Mung bean protein. *Food Hydrocolloids*, 76, 131–140. <https://doi.org/10.1016/j.foodhyd.2017.01.003>
- Du, Y., Jiang, Y., Zhu, X., Xiong, H., Shi, S., Hu, J., Peng, H., Zhou, Q., & Sun, W. (2012). Physicochemical and functional properties of the protein isolate and major fractions prepared from Akebia trifoliata var. australis seed. *Food Chemistry*, 133(3), 923–929. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2012.02.005>
- Fan, L., Yang, J., Wu, H., Hu, Z., Yi, J., Tong, J., & Zhu, X. (2015). Preparation and characterization of quaternary ammonium chitosan hydrogel with significant antibacterial activity. *International Journal of Biological Macromolecules*, 79, 830–836. <https://doi.org/10.1016/j.ijbiomac.2015.04.013>
- Fang, B., Peng, Z., Chen, B., & Rao, J. (2024). Unconventional sources of vegetable proteins: technological properties. *Current Opinion in Food Science*, 57, 101150. <https://doi.org/10.1016/j.cofs.2024.101150>
- Fathi, N., Almasi, H., & Pirouzifard, M. K. (2018). Effect of ultraviolet radiation on morphological and physicochemical properties of sesame protein isolate based edible films. *Food Hydrocolloids*, 85, 136–143. <https://doi.org/10.1016/j.foodhyd.2018.07.018>
- Feng, X., Dai, H., Zhu, J., Ma, L., Yu, Y., Zhu, H., Wang, H., Sun, Y., Tan, H., & Zhang, Y. (2021). Improved solubility and interface properties of pigskin gelatin by microwave irradiation. *International Journal of Biological Macromolecules*, 171, 1–9. <https://doi.org/10.1016/j.ijbiomac.2020.12.215>

- Ferrero, C. (2017). Hydrocolloids in wheat breadmaking: A concise review. *Food Hydrocolloids*, 68, 15–22. <https://doi.org/10.1016/j.foodhyd.2016.11.044>
- Feyzi, S., Milani, E., & Golimovahhed, Q. A. (2018). Grass Pea (*Lathyrus sativus* L.) Protein Isolate: The effect of extraction optimization and drying methods on the structure and functional properties. *Food Hydrocolloids*, 74, 187–196. <https://doi.org/10.1016/j.foodhyd.2017.07.031>
- Fidantsi, A., & Doxastakis, G. (2001). Emulsifying and foaming properties of amaranth seed protein isolates. *Colloids and Surfaces B: Biointerfaces*, 21(1–3), 119–124. [https://doi.org/10.1016/S0927-7765\(01\)00165-5](https://doi.org/10.1016/S0927-7765(01)00165-5)
- Figueroa-Pizano, M. D., Vélaz, I., Peñas, F. J., Zavala-Rivera, P., Rosas-Durazo, A. J., Maldonado-Arce, A. D., & Martínez-Barbosa, M. E. (2018). Effect of freeze-thawing conditions for preparation of chitosan-poly (vinyl alcohol) hydrogels and drug release studies. *Carbohydrate Polymers*, 195, 476–485. <https://doi.org/10.1016/j.carbpol.2018.05.004>
- Funami, T. (2011). Next target for food hydrocolloid studies: Texture design of foods using hydrocolloid technology. *Food Hydrocolloids*, 25(8), 1904–1914. <https://doi.org/10.1016/j.foodhyd.2011.03.010>
- Gil, E., & Hudson, S. (2004). Stimuli-reponsive polymers and their bioconjugates. *Progress in Polymer Science*, 29(12), 1173–1222. <https://doi.org/10.1016/j.progpolymsci.2004.08.003>
- Görgüç, A., Bircan, C., & Yılmaz, F. M. (2019). Sesame bran as an unexploited by-product: Effect of enzyme and ultrasound-assisted extraction on the recovery of protein and antioxidant compounds. *Food Chemistry*, 283, 637–645. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2019.01.077>
- Hadidi, M., Aghababaei, F., & McClements, D. J. (2023). Enhanced alkaline extraction techniques for isolating and modifying plant-based proteins. *Food Hydrocolloids*, 145, 109132. <https://doi.org/10.1016/j.foodhyd.2023.109132>
- Hadidi, M., Hossienpour, Y., Nooshkam, M., Mahfouzi, M., Gharagozlou, M., Aliakbari, F. S., Aghababaei, F., & McClement, D. J. (2024). Green leaf proteins: a sustainable source of edible plant-based proteins. *Critical Reviews in Food Science and Nutrition*, 64(29), 10855–10872. <https://doi.org/10.1080/10408398.2023.2229436>
- Hadidi, M., Ibarz, A., & Pouramin, S. (2021). Optimization of extraction and deamidation of edible protein from evening primrose (*Oenothera biennis* L.) oil processing by-products and its effect on structural and techno-functional properties. *Food Chemistry*, 334, 127613. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2020.127613>
- He, Z., Liu, C., Zhao, J., Li, W., & Wang, Y. (2021). Physicochemical properties of a ginkgo seed protein-pectin composite gel. *Food Hydrocolloids*, 118, 106781. <https://doi.org/10.1016/j.foodhyd.2021.106781>
- He, Z., Ma, T., Zhang, W., Su, E., Cao, F., Huang, M., & Wang, Y. (2021). Heat-induced gel formation by

- whey protein isolate-Lycium barbarum polysaccharides at varying pHs. *Food Hydrocolloids*, 115, 106607. <https://doi.org/10.1016/j.foodhyd.2021.106607>
- Helmick, H., Hartanto, C., Ettestad, S., Liceaga, A., Bhunia, A. K., & Kokini, J. L. (2023). Quantitative structure-property relationships of thermoset pea protein gels with ethanol, shear, and sub-zero temperature pretreatments. *Food Hydrocolloids*, 135, 108066. <https://doi.org/10.1016/j.foodhyd.2022.108066>
- Hu, Y., Liu, W., Yuan, C., Morioka, K., Chen, S., Liu, D., & Ye, X. (2015). Enhancement of the gelation properties of hairtail (*Trichiurus haumela*) muscle protein with curdlan and transglutaminase. *Food Chemistry*, 176, 115–122. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2014.12.006>
- Huang, X., Li, Y., Cui, C., & Sun-Waterhouse, D. (2024). Structural, functional properties, and in vitro digestibility of sunflower protein concentrate as affected by extraction method: Isoelectric precipitation vs ultrafiltration. *Food Chemistry*, 439, 138090. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2023.138090>
- Ippoushi, K., Tanaka, Y., Wakagi, M., & Hashimoto, N. (2020). Evaluation of protein extraction methods for β -conglycinin quantification in soybeans and soybean products. *LWT*, 132, 109871. <https://doi.org/10.1016/j.lwt.2020.109871>
- Ishwarya S., P., R., S., & Nisha, P. (2022). Advances and prospects in the food applications of pectin hydrogels. *Critical Reviews in Food Science and Nutrition*, 62(16), 4393–4417. <https://doi.org/10.1080/10408398.2021.1875394>
- James R. Bolton, & Christine A. Cotton. (2008). The Ultraviolet Disinfection Handbook (1st ed., Vol. 1). American Water Works Association.
- Jiang, Y., Zhou, X., Zheng, Y., Wang, D., Deng, Y., & Zhao, Y. (2021). Impact of ultrasonication/shear emulsifying/microwave-assisted enzymatic extraction on rheological, structural, and functional properties of Akebia trifoliata (Thunb.) Koidz. seed protein isolates. *Food Hydrocolloids*, 112, 106355. <https://doi.org/10.1016/j.foodhyd.2020.106355>
- Jiao, X., Yan, B., Huang, J., Zhao, J., Zhang, H., Chen, W., & Fan, D. (2021). Redox proteomic analysis reveals microwave-Induced oxidation modifications of myofibrillar proteins from Silver Carp (*Hypophthalmichthys molitrix*). *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 69(33), 9706–9715. <https://doi.org/10.1021/acs.jafc.1c03045>
- Kamani, M. H., Semwal, J., & Meera, M. S. (2021). Functional modification of protein extracted from black gram by-product: Effect of ultrasonication and micronization techniques. *LWT*, 144, 111193. <https://doi.org/10.1016/j.lwt.2021.111193>
- Kasapoğlu, K. N., Demircan, E., Eryılmaz, H. S., Karaça, A. C., & Özçelik, B. (2021). Sour cherry kernel as an unexploited processing waste: Optimisation of extraction conditions for protein recovery, Functional properties and In

- vitro digestibility. *Waste and Biomass Valorization*, 12(12), 6685–6698. <https://doi.org/10.1007/s12649-021-01417-x>
- Korma, S. A., Wei, W., Ali, A. H., Abed, S. M., Zheng, L., Jin, Q., & Wang, X. (2019). Spray-dried novel structured lipids enriched with medium-and long-chain triacylglycerols encapsulated with different wall materials: Characterization and stability. *Food Research International*, 116, 538–547. <https://doi.org/10.1016/j.foodres.2018.08.071>
- Kubo, S., & Kadla, J. F. (2005). Hydrogen bonding in lignin: A fourier transform infrared model compound study. *Biomacromolecules*, 6(5), 2815–2821. <https://doi.org/10.1021/bm050288q>
- Kumar, A., Rani, P., Purohit, S. R., & Rao, P. S. (2020). Effect of ultraviolet irradiation on wheat (*Triticum aestivum*) flour: Study on protein modification and changes in quality attributes. *Journal of Cereal Science*, 96, 103094. <https://doi.org/10.1016/j.jcs.2020.103094>
- Kumar, C., & Karim, M. A. (2019). Microwave-convective drying of food materials: A critical review. *Critical Reviews in Food Science and Nutrition*, 59(3), 379–394. <https://doi.org/10.1080/10408398.2017.1373269>
- Kumar, M., Tomar, M., Potkule, J., Reetu, Punia, S., Dhakane-Lad, J., Singh, S., Dhumal, S., Chandra Pradhan, P., Bhushan, B., Anitha, T., Alajil, O., Alhariri, A., Amarowicz, R., & Kennedy, J. F. (2022). Functional characterization of plant-based protein to determine its quality for food applications. *Food Hydrocolloids*, 123, 106986. <https://doi.org/10.1016/j.foodhyd.2021.106986>
- Kumar, M., Tomar, M., Potkule, J., Verma, R., Punia, S., Mahapatra, A., Belwal, T., Dahuja, A., Joshi, S., Berwal, M. K., Satankar, V., Bhoite, A. G., Amarowicz, R., Kaur, C., & Kennedy, J. F. (2021). Advances in the plant protein extraction: Mechanism and recommendations. *Food Hydrocolloids*, 115, 106595. <https://doi.org/10.1016/j.foodhyd.2021.106595>
- Kumar, M., Tomar, M., Saurabh, V., Mahajan, T., Punia, S., Contreras, M. del M., Rudra, S. G., Kaur, C., & Kennedy, J. F. (2020). Emerging trends in pectin extraction and its anti-microbial functionalization using natural bioactives for application in food packaging. *Trends in Food Science & Technology*, 105, 223–237. <https://doi.org/10.1016/j.tifs.2020.09.009>
- Kumari, B., Tiwari, B. K., Hossain, M. B., Brunton, N. P., & Rai, D. K. (2018). Recent Advances on Application of Ultrasound and Pulsed Electric Field Technologies in the Extraction of Bioactives from Agro-Industrial By-products. *Food and Bioprocess Technology*, 11(2), 223–241. <https://doi.org/10.1007/s11947-017-1961-9>
- Lee, H. W., Lu, Y., Zhang, Y., Fu, C., & Huang, D. (2021). Physicochemical and functional properties of red lentil protein isolates from three origins at different pH. *Food Chemistry*, 358, 129749. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2021.129749>

- Lee, J.-E., Bae, I. Y., Lee, H. G., & Yang, C.-B. (2006). Tyr-Pro-Lys, an angiotensin I-converting enzyme inhibitory peptide derived from broccoli (*Brassica oleracea Italica*). *Food Chemistry*, 99(1), 143–148. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2005.06.050>
- Leyva-Jiménez, F. J., Oliver-Simancas, R., Castangia, I., Rodríguez-García, A. M., & Alañón, M. E. (2023). Comprehensive review of natural based hydrogels as an upcoming trend for food packing. *Food Hydrocolloids*, 135, 108124. <https://doi.org/10.1016/j.foodhyd.2022.108124>
- Li, P., Sun, Z., Ma, M., Jin, Y., & Sheng, L. (2018). Effect of microwave-assisted phosphorylation modification on the structural and foaming properties of egg white powder. *LWT*, 97, 151–156. <https://doi.org/10.1016/j.lwt.2018.06.055>
- Li, Q., Wang, Z., Dai, C., Wang, Y., Chen, W., Ju, X., Yuan, J., & He, R. (2019). Physical stability and microstructure of rapeseed protein isolate/gum Arabic stabilized emulsions at alkaline pH. *Food Hydrocolloids*, 88, 50–57. <https://doi.org/10.1016/j.foodhyd.2018.09.020>
- Lipatov, Y. (2002). Polymer blends and interpenetrating polymer networks at the interface with solids. *Progress in Polymer Science*, 27(9), 1721–1801. [https://doi.org/10.1016/S0079-6700\(02\)00021-7](https://doi.org/10.1016/S0079-6700(02)00021-7)
- Liu, C.-C., Tellez-Garay, A. M., & Castell-Perez, M. E. (2004). Physical and mechanical properties of peanut protein films. *LWT - Food Science and Technology*, 37(7), 731–738. <https://doi.org/10.1016/j.lwt.2004.02.01>
- Liu, J., Chai, J., Yuan, Y., Zhang, T., Saini, R. K., Yang, M., & Shang, X. (2022). Dextran sulfate facilitates egg white protein to form transparent hydrogel at neutral pH: Structural, functional, and degradation properties. *Food Hydrocolloids*, 122, 107094. <https://doi.org/10.1016/j.foodhyd.2021.107094>
- Liu, L., & Xi, J. (2021). Mechanochemical-assisted extraction of protein from watermelon seeds with surfactant. *LWT*, 142, 111025. <https://doi.org/10.1016/j.lwt.2021.111025>
- Liu, M., Shi, F., & Zhang, Q. (2021). Evaluation of the ultrasonically accelerated debitterizing with citric acid solutions of different p H: On the basis of amino acids changes in apricot kernels during debitterizing. *Journal of Food Processing and Preservation*, 45(5). <https://doi.org/10.1111/jfpp.15403>
- Liu, Y., Wang, J., Chen, H., & Cheng, D. (2022). Environmentally friendly hydrogel: A review of classification, preparation and application in agriculture. *Science of The Total Environment*, 846, 157303. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2022.157303>
- 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>
- Lu, Y., Mao, L., Zheng, H., Chen, H., & Gao, Y. (2020). Characterization of β -

- carotene loaded emulsion gels containing denatured and native whey protein. *Food Hydrocolloids*, 102, 105600. <https://doi.org/10.1016/j.foodhyd.2019.105600>
- Luo, Q., Zhang, Y., Zhou, Y., Liu, S. G., Gao, W., & Shi, X. (2021). Portable functional hydrogels based on silver metallization for visual monitoring of fish freshness. *Food Control*, 123, 107824. <https://doi.org/10.1016/j.foodcont.2020.107824>
- Ma, L., Chai, C., Wu, W., Qi, P., Liu, X., & Hao, J. (2023). Hydrogels as the plant culture substrates: A review. *Carbohydrate Polymers*, 305, 120544. <https://doi.org/10.1016/j.carbpol.2023.120544>
- Ma, Y., Wang, S., Liu, X., Yu, H., Yu, D., Li, G., & Wang, L. (2021). Oil content, fatty acid composition and biodiesel properties among natural provenances of Siberian apricot (*Prunus sibirica* L.) from China. *GCB Bioenergy*, 13(1), 112–132. <https://doi.org/10.1111/gcbb.12759>
- Ma, Z., Boye, J. I., Simpson, B. K., Prasher, S. O., Monpetit, D., & Malcolmson, L. (2011). Thermal processing effects on the functional properties and microstructure of lentil, chickpea, and pea flours. *Food Research International*, 44(8), 2534–2544. <https://doi.org/10.1016/j.foodres.2010.12.017>
- Mahalaxmi, S., Himashree, P., Malini, B., & Sunil, C. K. (2022). Effect of microwave treatment on the structural and functional properties of proteins in lentil flour. *Food Chemistry Advances*, 1, 100147. <https://doi.org/10.1016/j.focha.2022.100147>
- Maltais, A., Remondetto, G. E., & Subirade, M. (2009). Soy protein cold-set hydrogels as controlled delivery devices for nutraceutical compounds. *Food Hydrocolloids*, 23(7), 1647–1653. <https://doi.org/10.1016/j.foodhyd.2008.12.006>
- Mani, S. K., & Bhandari, R. (2022). Microwave-assisted synthesis of self-assembled network of Graphene oxide-Polyethylenimine-Polyvinyl alcohol hydrogel beads for removal of cationic and anionic dyes from wastewater. *Journal of Molecular Liquids*, 345, 117809. <https://doi.org/10.1016/j.molliq.2021.117809>
- Marques, A. P., Santos, C., Sérgio, J., Crespo, M. T. B., & Pereira, V. J. (2024). Enhancing food safety: Employing ultraviolet-C light emitting diodes for water, leaf, and surface disinfection. *Innovative Food Science & Emerging Technologies*, 98, 103848. <https://doi.org/10.1016/j.ifset.2024.103848>
- Martins, A. J., Silva, P., Maciel, F., Pastrana, L. M., Cunha, R. L., Cerqueira, M. A., & Vicente, A. A. (2019). Hybrid gels: Influence of oleogel/hydrogel ratio on rheological and textural properties. *Food Research International*, 116, 1298–1305. <https://doi.org/10.1016/j.foodres.2018.10.019>
- Mattice, K. D., & Marangoni, A. G. (2021). Physical properties of zein networks

- treated with microbial transglutaminase. *Food Chemistry*, 338, 128010. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2020.128010>
- Melgarejo, P., Calín-Sánchez, Á., Carbonell-Barrachina, Á. A., Martínez-Nicolás, J. J., Legua, P., Martínez, R., & Hernández, F. (2014). Antioxidant activity, volatile composition and sensory profile of four new very-early apricots (*Prunus armeniaca* L.). *Journal of the Science of Food and Agriculture*, 94(1), 85–94. <https://doi.org/10.1002/jsfa.6201>
- Miranda, C. G., Speranza, P., Kurozawa, L. E., & Kawazoe Sato, A. C. (2022). Lentil protein: impact of different extraction methods on structural and functional properties. *Heliyon*, 8(11), e11775. <https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2022.e11775>
- Moiseev, D. V., & James, B. R. (2020). Tetrakis(hydroxymethyl)phosphonium salts: Their properties, hazards and toxicities. *Phosphorus, Sulfur, and Silicon and the Related Elements*, 195(4), 263–279. <https://doi.org/10.1080/10426507.2019.1686379>
- Moreno, M. A., Orqueda, M. E., Gómez-Mascaraque, L. G., Isla, M. I., & López-Rubio, A. (2019). Crosslinked electrospun zein-based food packaging coatings containing bioactive chilito fruit extracts. *Food Hydrocolloids*, 95, 496–505. <https://doi.org/10.1016/j.foodhyd.2019.05.001>
- Motamedi, E., Motesharezedeh, B., Shirinfekr, A., & Samar, S. M. (2020). Synthesis and swelling behavior of environmentally friendly starch-based superabsorbent hydrogels reinforced with natural char nano/micro particles. *Journal of Environmental Chemical Engineering*, 8(1), 103583. <https://doi.org/10.1016/j.jece.2019.103583>
- Muhalidin, B. J., & Ubbink, J. (2023). Effects of pH and aging on the texture and physicochemical properties of extruded pea protein isolate. *Food Hydrocolloids*, 140, 108639. <https://doi.org/10.1016/j.foodhyd.2023.108639>
- Mune, M. A., Bassogog, C. B., Bayiga, P. A., Nyobe, C. E., & Minka, S. R. (2019). Protein quality, secondary structure and effect of physicochemical factors on emulsifying properties of *Irvingia gabonensis* Almonds. *Current Nutrition & Food Science*, 15(4), 367–375. <https://doi.org/10.2174/1573401314666180223142018>
- Munekata, P. E. S., Yilmaz, B., Pateiro, M., Kumar, M., Domínguez, R., Shariati, M. A., Hano, C., & Lorenzo, J. M. (2023). Valorization of by-products from *Prunus* genus fruit processing: Opportunities and applications. *Critical Reviews in Food Science and Nutrition*, 63(25), 7795–7810. <https://doi.org/10.1080/10408398.2022.2050350>
- Mutlu M., (2020). Malatya ilinde yetiştirilen bazı kayısı çeşitlerine ait çekirdek protein hidrolizatlarının biyoaktivitelerinin belirlenmesi[Yüksek Lisans]. Fen Bilimleri Enstitüsü.
- Namlı, S.,. (2019). Microwave glycation of soy protein isolate [Yüksek Lisans]. *Fen*

- Nayak, S. N., Bhasin, C. P., & Nayak, M. G. (2019). A review on microwave-assisted transesterification processes using various catalytic and non-catalytic systems. *Renewable Energy*, 143, 1366–1387. <https://doi.org/10.1016/j.renene.2019.05.056>
- Nesrinne, S., & Djamel, A. (2017). Synthesis, characterization and rheological behavior of pH sensitive poly(acrylamide-co-acrylic acid) hydrogels. *Arabian Journal of Chemistry*, 10(4), 539–547. <https://doi.org/10.1016/j.arabjc.2013.11.027>
- Ngui, S. P., Nyobe, C. E., Bakwo Bassogog, C. B., Nchuaji Tang, E., Minka, S. R., & Mune Mune, M. A. (2021). Influence of pH and temperature on the physicochemical and functional properties of Bambara bean protein isolate. *Heliyon*, 7(8), e07824. <https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2021.e07824>
- Nieto Nieto, T. V., Wang, Y., Ozimek, L., & Chen, L. (2016). Improved thermal gelation of oat protein with the formation of controlled phase-separated networks using dextrin and carrageenan polysaccharides. *Food Research International*, 82, 95–103. <https://doi.org/10.1016/j.foodres.2016.01.027>
- Ochoa-Rivas, A., Nava-Valdez, Y., Serna-Saldívar, 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(3), 543–555. <https://doi.org/10.1007/s11947-016-1838->
- Omer, H. A. A., Ahmed, S. M., Abedo, A. A., EL-Nomeary, Y. A. A., Nasr, S. M., & Nassar, S. A. (2020). Incorporation apricot seed kernel as untraditional source of protein in rabbit rations. *Bulletin of the National Research Centre*, 44(1), 37. <https://doi.org/10.1186/s42269-020-00292-1>
- Omura, M. H., de Oliveira, A. P. H., Soares, L. de S., Coimbra, J. S. dos R., de Barros, F. A. R., Vidigal, M. C. T. R., Baracat-Pereira, M. C., & de Oliveira, E. B. (2021). Effects of protein concentration during ultrasonic processing on physicochemical properties and techno-functionality of plant food proteins. *Food Hydrocolloids*, 113, 106457. <https://doi.org/10.1016/j.foodhyd.2020.106457>
- Ozel, B., Cikrikci, S., Aydin, O., & Oztop, M. H. (2017). Polysaccharide blended whey protein isolate-(WPI) hydrogels: A physicochemical and controlled release study. *Food Hydrocolloids*, 71, 35–46. <https://doi.org/10.1016/j.foodhyd.2017.04.031>
- Panahi, R., & Baghban-Salehi, M. (2019). *Protein-Based Hydrogels* (pp. 1561–1600). https://doi.org/10.1007/978-3-319-77830-3_52
- Pasqualone, A., Costantini, M., Labarbuta, R., & Summo, C. (2021). Production of extruded-cooked lentil flours at industrial level: Effect of processing conditions on starch gelatinization, dough rheological properties and techno-

- functional parameters. *LWT*, 147, 111580.
<https://doi.org/10.1016/j.lwt.2021.111580>
- Pattison, D. I., & Davies, M. J. (n.d.). Actions of ultraviolet light on cellular structures. In *Cancer: Cell Structures, Carcinogens and Genomic Instability* (pp. 131–157). Birkhäuser-Verlag.
https://doi.org/10.1007/3-7643-7378-4_6
- Qiu, L., Zhang, M., Chitrakar, B., & Bhandari, B. (2020). Application of power ultrasound in freezing and thawing processes: Effect on process efficiency and product quality. *Ultrasonics Sonochemistry*, 68, 105230.
<https://doi.org/10.1016/j.ultsonch.2020.105230>
- Rampáčková, E., Göttingerová, M., Gála, P., Kiss, T., Ercişli, S., & Nečas, T. (2021). Evaluation of protein and antioxidant content in apricot kernels as a sustainable additional source of nutrition. *Sustainability*, 13(9), 4742.
<https://doi.org/10.3390/su13094742>
- Rashid, T., Kait, C. F., & Murugesan, T. (2016). A “Fourier transformed infrared” compound study of lignin recovered from a formic acid process. *Procedia Engineering*, 148, 1312–1319. <https://doi.org/10.1016/j.proeng.2016.06.547>
- Rather, R. A., Bhat, M. A., & Shalla, A. H. (2022). An insight into synthetic and physiological aspects of superabsorbent hydrogels based on carbohydrate type polymers for various applications: A review. *Carbohydrate Polymer Technologies and Applications*, 3, 100202.
<https://doi.org/10.1016/j.carpta.2022.100202>
- Rhim, J. W., Gennadios, A., Handa, A., Weller, C. L., & Hanna, M. A. (2000). Solubility, tensile, and color properties of modified soy protein isolate films. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 48(10), 4937–4941.
<https://doi.org/10.1021/jf000541>
- Roselló-Soto, E., Barba, F. J., Parniakov, O., Galanakis, C. M., Lebovka, N., Grimi, N., & Vorobiev, E. (2015). High voltage electrical discharges, pulsed electric field, and ultrasound assisted extraction of protein and phenolic compounds from olive kernel. *Food and Bioprocess Technology*, 8(4), 885–894.
<https://doi.org/10.1007/s11947-014-1456-x>
- Ruzengwe, F. M., Amonsou, E. O., & Kudanga, T. (2020). Transglutaminase-mediated crosslinking of Bambara groundnut protein hydrogels: Implications on rheological, textural and microstructural properties. *Food Research International*, 137, 109734. <https://doi.org/10.1016/j.foodres.2020.109734>
- Sand Arpit, T. J. (Ed.). (2024). Introduction of superabsorbent polymers. In *properties and applications of superabsorbent polymers: Smart Applications with Smart Polymers* (1–18).
- Santana, A. A., Martin, L. G. P., de Oliveira, R. A., Kurozawa, L. E., & Park, K. J. (2017). Spray drying of babassu coconut milk using different carrier agents. *Drying Technology*, 35(1), 76–87.

<https://doi.org/10.1080/07373937.2016.1160111>

- Sarkar, A., Kamaruddin, H., Bentley, A., & Wang, S. (2016). Emulsion stabilization by tomato seed protein isolate: Influence of pH, ionic strength and thermal treatment. *Food Hydrocolloids*, 57, 160–168. <https://doi.org/10.1016/j.foodhyd.2016.01.014>
- Saxena, A., Kaloti, M., & Bohidar, H. B. (2011). Rheological properties of binary and ternary protein–polysaccharide co-hydrogels and comparative release kinetics of salbutamol sulphate from their matrices. *International Journal of Biological Macromolecules*, 48(2), 263–270. <https://doi.org/10.1016/j.ijbiomac.2010.11.008>
- Scheidegger, D., Pecora, R. P., Radici, P. M., & Kivatinitz, S. C. (2010). Protein oxidative changes in whole and skim milk after ultraviolet or fluorescent light exposure. *Journal of Dairy Science*, 93(11), 5101–5109. <https://doi.org/10.3168/jds.2010-3513>
- Seema ASHRAF, Ghufraan Saeed, Syed Asad Saeed, & Rashida Ali. (2012). Impact of microwave treatment on the functionality of Cereals and Legumes. *International Journal of Agriculture and Biology*, 14(3), 356–370.
- Simopoulos, A. P. (2002). The importance of the ratio of omega-6/omega-3 essential fatty acids. *Biomedicine & Pharmacotherapy*, 56(8), 365–379. [https://doi.org/10.1016/S0753-3322\(02\)00253-6](https://doi.org/10.1016/S0753-3322(02)00253-6)
- Slavutsky, A. M., & Bertuzzi, M. A. (2019). Formulation and characterization of hydrogel based on pectin and brea gum. *International Journal of Biological Macromolecules*, 123, 784–791. <https://doi.org/10.1016/j.ijbiomac.2018.11.038>
- Soria-Hernández, C., Serna-Saldívar, S., & Chuck-Hernández, C. (2015). Physicochemical and functional properties of vegetable and cereal proteins as potential sources of novel food ingredients. *Food Technology and Biotechnology*, 53. <https://doi.org/10.17113/ftb.53.03.15.3920>
- Spaen, J., & Silva, J. V. C. (2021). Oat proteins: Review of extraction methods and techno-functionality for liquid and semi-solid applications. *LWT*, 147, 111478. <https://doi.org/10.1016/j.lwt.2021.111478>
- Stone, A. K., Karalash, A., Tyler, R. T., Warkentin, T. D., & Nickerson, M. T. (2015). Functional attributes of pea protein isolates prepared using different extraction methods and cultivars. *Food Research International*, 76, 31–38. <https://doi.org/10.1016/j.foodres.2014.11.017>
- Stryjecka, M., Kiełtyka-Dadasiewicz, A., Michalak, M., Rachoń, L., & Głowacka, A. (2019). Chemical composition and antioxidant properties of oils from the seeds of five apricot (*Prunus armeniaca* L.) Cultivars. *Journal of Oleo Science*, 68(8), 729–738. <https://doi.org/10.5650/jos.ess19121>
- Sun, X., Ohanenye, I. C., Ahmed, T., & Udenigwe, C. C. (2020). Microwave treatment increased protein digestibility of pigeon pea (*Cajanus cajan*) flour:

- Elucidation of underlying mechanisms. *Food Chemistry*, 329, 127196. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2020.127196>
- Tao, Y., & Sun, D.-W. (2015). Enhancement of food processes by ultrasound: A Review. *Critical Reviews in Food Science and Nutrition*, 55(4), 570–594. <https://doi.org/10.1080/10408398.2012.667849>
- Thivya, P., Akalya, S., & Sinija, V. R. (2022). A comprehensive review on cellulose-based hydrogel and its potential application in the food industry. *Applied Food Research*, 2(2), 100161. <https://doi.org/10.1016/j.afres.2022.100161>
- Türkiye İstatistik Kurumu. (2024). Bitkisel üretim istatistikleri, 2024 [Veri seti]. <https://data.tuik.gov.tr/Bulten/Index?p=Bitkisel-Uretim-Istatistikleri-2024-53447>.
- Ullah, F., Othman, M. B. H., Javed, F., Ahmad, Z., & Akil, H. Md. (2015). Classification, processing and application of hydrogels: A review. *Materials Science and Engineering: C*, 57, 414–433. <https://doi.org/10.1016/j.msec.2015.07.053>
- Van Vlierberghe, S., Dubruel, P., & Schacht, E. (2010). Effect of cryogenic treatment on the rheological properties of gelatin hydrogels. *Journal of Bioactive and Compatible Polymers*, 25(5), 498–512. <https://doi.org/10.1177/0883911510377254>
- Vardanega, R., Muzio, A. F. V., Silva, E. K., Prata, A. S., & Meireles, M. A. A. (2019). Obtaining functional powder tea from Brazilian ginseng roots: Effects of freeze and spray drying processes on chemical and nutritional quality, morphological and redispersion properties. *Food Research International*, 116, 932–941. <https://doi.org/10.1016/j.foodres.2018.09.030>
- 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.2019.05.02>
- Vega-Gálvez, A., Di Scala, K., Rodríguez, K., Lemus-Mondaca, R., Miranda, M., López, J., & Perez-Won, M. (2009). Effect of air-drying temperature on physico-chemical properties, antioxidant capacity, colour and total phenolic content of red pepper (*Capsicum annuum*, L. var. Hungarian). *Food Chemistry*, 117(4), 647–653. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2009.04.066>
- Vermonden, T., Censi, R., & Hennink, W. E. (2012). Hydrogels for protein delivery. *Chemical Reviews*, 112(5), 2853–2888. <https://doi.org/10.1021/cr200157d>
- Wang, F., Zhang, Y., Xu, L., & Ma, H. (2020). An efficient ultrasound-assisted extraction method of pea protein and its effect on protein functional properties and biological activities. *LWT*, 127, 109348. <https://doi.org/10.1016/j.lwt.2020.109348>
- Wang, Y., Zhao, J., Zhang, W., Liu, C., Jauregi, P., & Huang, M. (2020). Modification of heat-induced whey protein gels by basic amino acids. *Food Hydrocolloids*, 100, 105397. <https://doi.org/10.1016/j.foodhyd.2019.105397>
- Woranuch, S., & Yoksan, R. (2013). Eugenol-loaded chitosan nanoparticles: II.

- Application in bio-based plastics for active packaging. *Carbohydrate Polymers*, 96(2), 586–592. <https://doi.org/10.1016/j.carbpol.2012.09.099>
- Xiong, G., Fu, X., Pan, D., Qi, J., Xu, X., & Jiang, X. (2020). Influence of ultrasound-assisted sodium bicarbonate marination on the curing efficiency of chicken breast meat. *Ultrasonics Sonochemistry*, 60, 104808. <https://doi.org/10.1016/j.ultsonch.2019.104808>
- Yan, W., Yin, L., Li, J., Yadav, M. P., & Jia, X. (2020). Development of corn fiber gum–soybean protein isolate double network hydrogels through synergistic gelation. *Food and Bioprocess Technology*, 13(3), 511–521. <https://doi.org/10.1007/s11947-020-02412-1>
- Yang, J., Zamani, S., Liang, L., & Chen, L. (2021). Extraction methods significantly impact pea protein composition, structure and gelling properties. *Food Hydrocolloids*, 117, 106678. <https://doi.org/10.1016/j.foodhyd.2021.106678>
- Yang, Z., Chen, L., McClements, D. J., Qiu, C., Li, C., Zhang, Z., Miao, M., Tian, Y., Zhu, K., & Jin, Z. (2022). Stimulus-responsive hydrogels in food science: A review. *Food Hydrocolloids*, 124, 107218. <https://doi.org/10.1016/j.foodhyd.2021.107218>
- Yildiz, G. (2025). Effects of high-intensity ultrasound, high-pressure processing, and their combination with pH-shifting on the techno-functionality and digestibility of melon seed protein isolate. *Food Research International*, 208, 116219. <https://doi.org/10.1016/j.foodres.2025.116219>
- Yin, M., Wuyun, T., Jiang, Z., & Zeng, J. (2020). Amino acid profiles and protein quality of Siberian apricot (*Prunus sibirica* L.) kernels from Inner Mongolia. *Journal of Forestry Research*, 31(4), 1391–1397. <https://doi.org/10.1007/s11676-019-00882-4>
- Yu, H., Mei, J., & Xie, J. (2022). New ultrasonic assisted technology of freezing, cooling and thawing in solid food processing: A review. *Ultrasonics Sonochemistry*, 90, 106185. <https://doi.org/10.1016/j.ultsonch.2022.106185>
- Yücel Şengün, İ., Yücel, E., Kılıç, G., & Öztürk, B. (2021). Kabak ve kayısı çekirdeği yağlarının yağ asidi kompozisyonu, biyoaktif özelliklerinin belirlenmesi. *Gıda*, 46(3), 608–620. <https://doi.org/10.15237/gida.GD21024>
- Yücetepe, M., Başığit, B., & Karaaslan, M. (2021). Design of novel nutritious microcapsules comprising ω -5 fatty acids and essential amino acids by assembling pomegranate seed derived macromolecules. *LWT*, 143, 111162. <https://doi.org/10.1016/j.lwt.2021.111162>
- Yücetepe M., (2020). Nar çekirdeğinden protein tozu üretimi ve nar çekirdeği yağının mikrokapsülasyonunda kullanımı. Fen Bilimleri Enstitüsü.
- Zhang, J., Ma, N., Ma, G., Zhong, L., Pei, F., Hu, Q., & Xu, J. (2021). Characterization of soy protein isolate/*Flammulina velutipes* polysaccharide hydrogel and its immunostimulatory effects on RAW264.7 cells. *Food and Chemical Toxicology*, 151, 112126. <https://doi.org/10.1016/j.fct.2021.112126>

- Zhang, J., Wang, G., Liang, Q., Cai, W., & Zhang, Q. (2019). Rheological and microstructural properties of gelatin B/tara gum hydrogels: Effect of protein/polysaccharide ratio, pH and salt addition. *LWT*, 103, 108–115. <https://doi.org/10.1016/j.lwt.2018.12.080>
- Zhang, Q., Gu, L., Su, Y., Chang, C., Yang, Y., & Li, J. (2021). Development of soy protein isolate/ κ -carrageenan composite hydrogels as a delivery system for hydrophilic compounds: Monascus yellow. *International Journal of Biological Macromolecules*, 172, 281–288. <https://doi.org/10.1016/j.ijbiomac.2021.01.044>
- Zhang, S., & Vardhanabhuti, B. (2014). Acid-induced gelation properties of heated whey protein–pectin soluble complex (Part II): Effect of charge density of pectin. *Food Hydrocolloids*, 39, 95–103. <https://doi.org/10.1016/j.foodhyd.2013.12.020>
- Zhang, X., Wang, W., Wang, Y., Wang, Y., Wang, X., Gao, G., Chen, G., & Liu, A. (2018). Effects of nanofiber cellulose on functional properties of heat-induced chicken salt-soluble meat protein gel enhanced with microbial transglutaminase. *Food Hydrocolloids*, 84, 1–8. <https://doi.org/10.1016/j.foodhyd.2018.05.046>
- Zhong, C., Wang, R., Zhou, Z., Jia, S.-R., Tan, Z.-L., & Han, P.-P. (2012). Functional properties of protein isolates from *Caragana korshinskii* Kom. Extracted by three different methods. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 60(41), 10337–10342. <https://doi.org/10.1021/jf303442u>
- Zhou, F.-F., Pan, M.-K., Liu, Y., Guo, N., Zhang, Q., & Wang, J.-H. (2020). Effects of Na⁺ on the cold gelation between a low-methoxyl pectin extracted from *Premna microphylla* turcz and soy protein isolate. *Food Hydrocolloids*, 104, 105762. <https://doi.org/10.1016/j.foodhyd.2020.105762>
- Zhou, S., Chen, W., & Fan, K. (2024). Recent advances in combined ultrasound and microwave treatment for improving food processing efficiency and quality: A review. *Food Bioscience*, 58, 103683. <https://doi.org/10.1016/j.fbio.2024.1036>