



T.C.
KIRŞEHİR AHI EVRAN ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ
BAHÇE BİTKİLERİ ANABİLİM DALI



İÇ CEVİZ YAN ÜRÜNLERİNDEN PROTEİN HİDROLİZATLARININ ÜRETİMİ VE ÖZELLİKLERİNİN BELİRLENMESİ

Saniye KARIPTAŞ AĞCA

YÜKSEK LİSANS TEZİ

KIRŞEHİR

2025



T.C.
KIRSEHİR AHI EVRAN ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ
BAHÇE BİTKİLERİ ANA BİLİM DALI



İÇ CEVİZ YAN ÜRÜNLERİNDEN PROTEİN HİDROLİZATLARININ ÜRETİMİ VE ÖZELLİKLERİNİN BELİRLENMESİ

Saniye KARIPTAŞ AĞCA

YÜKSEK LİSANS TEZİ

DANIŞMAN

Prof. Dr. Ahmet KAZANKAYA

II. DANIŞMAN

Dr. Öğr. Üyesi Şefik TEKLE

KIRSEHİR

2025

KIRŞEHİR AHİ EVRAN ÜNİVERSİTESİ FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ
YÜKSEK LİSANS TEZ ÇALIŐMASI
ETİK BEYANI

Kırşehir Ahi Evran Üniversitesi Bilimsel Araştırma ve Yayın Etiği Yönergesini okuduğumu ve anladığımı ve Kırşehir Ahi Evran Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Tez Yazım Kurallarına uygun olarak hazırladığım bu tez çalışmasında;

- Tez içinde sunduğum verileri, bilgileri ve dokümanları akademik ve etik kurallar çerçevesinde elde ettiğimi,
 - Tüm bilgi, belge, değerlendirme ve sonuçları bilimsel etik kurallarına uygun olarak sunduğumu,
 - Tez çalışmasında yararlandığım eserlerin tümüne uygun atıfta bulunarak kaynak gösterdiğimi,
 - Kullanılan verilerde ve ortaya çıkan sonuçlarda herhangi bir değerşiklik yapmadığımı,
 - Tez olarak sunduğum bu çalışmanın özgün olduğunu,
- bildirir, aksi bir durumda bu konuda hakkımda yapılacak tüm yasal işlemleri ve aleyhime doğabilecek tüm hak kayıplarını kabullendiğimi beyan ederim./...../20....

Öğrenci
Saniye KARİPTAŞ AĞCA

İÇİNDEKİLER DİZİNİ

Sayfa No

İÇİNDEKİLER DİZİNİ.....	II
TEŞEKKÜR.....	IV
ÖZET	V
ABSTRACT	VII
TABLolar DİZİNİ.....	VIII
ŞEKİLLER DİZİNİ.....	IX
SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ.....	IX
1 GİRİŞ.....	1
1.1. Tezin Amacı	10
2. ÖNCEKİ ÇALIŞMALAR	11
3. MATERYAL VE METOT	21
3.1. Materyal.....	21
3.2. Metot.....	21
3.2.1. Yağı Alınmış Ceviz Unu İzolatlarının Hazırlanması	21
3.2.2. Ceviz Unu Hidrolizatlarının Hazırlanması	22
3.2.3. Hidroliz Derecesi Belirlenmesi (%)	23
3.2.4. Protein Miktarı Belirlenmesi	23
3.2.5. Emülsiyon Özelliklerinin Belirlenmesi	24
3.2.6. Köpük Oluşturma Kapasitesi ve Stabilitesi	25
3.2.7. Yağ Bağlama Kapasitesi.....	25
3.2.8. Fourier Transform Infrared (FTIR) Spektroskopisi Analizleri.....	25
3.2.9. Hidrolizat Renk Özelliklerinin Belirlenmesi	26
3.2.10. Antioksidan Aktivite Tayini.....	26
3.2.11. İstatistiksel Analiz.....	26
4. BULGULAR VE TARTIŞMA	27
4.1. Hidroliz Derecesi (%).....	27
4.2. Protein Miktarları	28
4.3. Emülsiyon Özelliklerine İlişkin Sonuçlar.....	29
4.4. Köpük Oluşturma Kapasitesi ve Stabilitesi	31
4.5. Yağ Bağlama Kapasitesi.....	33
4.6. Fourier Transform Infrared (FTIR) Spektroskopisi Sonuçları	34

4.7.	İzolat ve Hidrolizatlarının Renk Özellikleri	36
4.8.	Antioksidan Aktivite Düzeyleri	37
4.	SONUÇ VE ÖNERİLER	39
5.	KAYNAKÇA	41
6.	ÖZGEÇMİŞ	51

TEŞEKKÜR

Tanıőtıđım günden bu yana göstermiő oldukları anlayıőlı ve yardımsever halleri ile her zaman bana örnek olmalarının yanı sıra, yüksek lisansa baőlamamda ve yüksek lisans süresince bir bilim insanının nasıl çalıőması gerektiği konusunu kendilerinden öğrendiğim değerli danıőmanlarım Prof. Dr. Ahmet KAZANKAYA ve Dr. Öğr. Üyesi şefik TEKLE 'ye büyük bir içtenlikle teşekkür ederim. Bu tez çalıőmasının hazırlanmasında bilgi ve deneyimleriyle bana rehberlik eden, her aőamada desteklerini esirgemeyen Gıda ve Yem őube Müdürü Mehmet GÜZELTAŐ' a en içten teşekkürlerimi sunarım.

Tezimin her aşamasında gerek sorularımla gerekse sunumlarında, tezin őekillenmesi ve nihai hale gelmesinde katkıları olan değerli jüri üyelerime ayrıca teşekkürlerimi sunarım.

Hayatımın her alanında her zaman yanımda olarak, benim bu günlere ulaşmamda en büyük paya sahip babam Yaőar KARİPTAŞ ve beni her zaman destekleyen kıymetli aileme, varlığıyla bana güç veren canım çocuklarım ve eőim Yusuf AĞCA'ya sonsuz teşekkür ederim.

Mart, 2025

Saniye KARİPTAŞ AĞCA

ÖZET

YÜKSEK LİSANS TEZİ

İÇ CEVİZ YAN ÜRÜNLERİNDEN PROTEİN HİDROLİZATLARININ ÜRETİMİ VE ÖZELLİKLERİNİN BELİRLENMESİ

Saniye KARİPTAŞ AĞCA

KIRŞEHİR AHI EVRAN ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ
BAHÇE BİTKİLERİ ANA BİLİM DALI

Danışman: Prof. Dr. Ahmet KAZANKAYA
Yıl: 2025 Sayfa: 51
Jüri: Prof. Dr. Ahmet KAZANKAYA
Dr. Öğr. Üyesi Sebahattin YILMAZ
Dr. Öğr. Üyesi Adnan DOĞAN
Dr. Öğr. Üyesi Adnan YAVIÇ
Dr. Öğr. Üyesi Şefik TEKLE
İkinci Danışman Dr. Öğr. Üyesi Şefik TEKLE

Ceviz (*Juglans regia*), zengin besin içeriği, nutrasötik özellikleri ve geniş kullanım alanlarıyla öne çıkan stratejik bir tarım ürünü olup, dünya genelinde pek çok ülke için önemli bir ekonomik kaynak teşkil etmektedir. İç ceviz, biyolojik ve kimyasal açıdan oldukça değerli bir besin maddesi olup *Juglans regia L* türüne ait ceviz ağacının meyvesinin meyve iç kısmıdır. Bileşenleriyle bilimsel literatürde önemli bir yer tutar. Son yıllarda, iç cevizin doğrudan tüketiminin yanında, işlenerek tüketime sunulmasının önemi ve talebi giderek artmaktadır. Bu artış, hem sürdürülebilir gıda üretiminin teşvik edilmesi hem de ceviz meyvesinin tarımsal ekonomik değerin artırılması açısından oldukça önemlidir. Ceviz unu, iç cevizden yağ çıkarma işlemi sonrasında kalan ceviz posasının kurutulmasıyla elde edilen bir yan üründür. Özellikle atık olarak ortaya çıkan ve etkin bir şekilde değerlendirilemeyen bu ürünlerin protein hidrolizatı üretiminde kullanımı, katma değeri yüksek ürünlerin elde edilmesine olanak sağlamaktadır. Bu tez çalışmasında alcalase, Favourzyme® ve savinase enzimleri kullanılarak hidroliz işlemi gerçekleştirilmiş ve hidroliz işleminin iç ceviz proteinlerinin yapısal, fonksiyonel ve biyoaktif özellikleri üzerindeki etkileri incelenmiştir. Hidroliz sürecinde, savinase en yüksek hidroliz sonucunu (%22,59) vermiştir. Favourzyme®, emülsiyon aktivitesi (%282,16 m²/g) ve köpük oluşturma kapasitesi (%77,67) açısından en iyi performansı sergilerken, savinase ve alcalase yağ bağlama kapasitesini artırmıştır. Antioksidan kapasite açısından Cizo fraksiyonu, yüksek DPPH inhibisyon oranı (%61,39-%67,54) ile öne çıkmıştır. Sonuçlar savinase, alcalase ve Favourzyme® gibi enzimlerin ceviz proteinlerinden biyoaktif ve çok işlevli hidrolizatlar üretmek için etkili bir teknoloji sunduğunu göstermektedir. Aynı zamanda, Cizo gibi yüksek antioksidan kapasiteye sahip numunelerin fonksiyonel gıda ve farmasötik ürünlerde değerlendirilme potansiyeli olduğunu ortaya koymaktadır.

Anahtar Kelimeler: Ceviz proteini, Enzimatik hidroliz, Fonksiyonel özellikler, Antioksidan Aktivite

ABSTRACT

MASTER'S THESIS

**PRODUCTION AND CHARACTERIZATION OF PROTEIN HYDROLYSATES
FROM BY-PRODUCTS OF WALNUT KERNELS**

Saniye KARIPTAŞ AĞCA

**KIRŞEHİR AHI EVRAN UNIVERSITY
INSTITUTION OF SCIENCE
HORTICULTURE DEPARTMENT**

Supervisor: Prof. Dr. Ahmet KAZANKAYA
Yıl: 2025 Sayfa: 51
Juries: Prof. Dr. Ahmet KAZANKAYA
Asst. Prof. Dr. Sebahattin YILMAZ
Asst. Prof. Dr. Adnan DOĞAN
Asst. Prof. Dr. Adnan YAVIÇ
Asst. Prof. Dr. Şefik TEKLE
Co-Supervisor Asst. Prof. Dr. Şefik TEKLE

Walnut (*Juglans regia*) is a strategic agricultural product distinguished by its rich nutritional content, nutraceutical properties, and wide range of applications, serving as a significant economic resource for many countries worldwide. Walnut kernel is a biologically and chemically valuable food material, representing the edible part of the walnut fruit and holding a prominent place in the scientific literature due to its composition. In recent years, besides the direct consumption of walnut kernels, the importance and demand for their processed forms have been steadily increasing. This rise is crucial for promoting sustainable food production and enhancing the agricultural economic value of walnuts. Walnut flour is a by-product obtained by drying the walnut meal remaining after oil extraction from walnut kernels. Utilizing these by-products, which are often considered waste and not effectively valorized, for the production of protein hydrolysates offers an opportunity to create high-value-added products. In this thesis, hydrolysis was performed using alcalase, Favourzyme®, and savinase enzymes, and the effects of the hydrolysis process on the structural, functional, and bioactive properties of walnut protein were investigated. During the hydrolysis process, savinase exhibited the highest degree of hydrolysis (22.59%). Favourzyme® demonstrated the best performance in terms of emulsification activity (282.16 m²/g) and foaming capacity (77.67%), while savinase and alcalase enhanced fat-binding capacity. Regarding antioxidant capacity, the Cizo fraction stood out with a high DPPH inhibition rate (61.39%-67.54%). This study demonstrates that enzymes such as savinase, alcalase, and Favourzyme® provide an effective technology for producing bioactive and multifunctional hydrolysates from walnut proteins. Furthermore, it highlights the potential of samples like Cizo, which exhibit high antioxidant capacity, to be utilized in functional food and pharmaceutical products.

Keywords: Walnut protein, Enzymatic hydrolysis, Functional properties, Antioxidant activity

TABLolar DİZİNİ

Sayfa No

Tablo 1.1. TürKomp Verilerine Göre 100 Gram Çiğ Ceviz İçi Besin Değerleri	2
Tablo 1.2. İç Cevizlerin Farklı Yan Ürünlerinin Aminoasit İçerikleri (g/100g)	6
Tablo 4.1. Ceviz İzolat ve Hidrolizatlarının Renk Analizi Değerleri.....	36

ŞEKİLLER DİZİNİ

Sayfa No

Şekil 1.1. Protein Hidrolizatı Üretim Yöntemleri	8
Şekil 3.1. Ceviz Unu İzolatı Üretim Aşamaları (Orijinal)	21
Şekil 3.2. Liyofize Edilmiş Ceviz Unu İzolatı (Orijinal)	22
Şekil 3.3. Ceviz Hidrolizatı Üretimine Ait Aşamalar (Orijinal)	22
Şekil 4.1. Ceviz Unu Hidrolizatlarının Hidroliz Derecesi	28
Şekil 4.2. Ceviz Hidrolizatlarının Emülsiyon Aktivite İndeksi Değerleri	29
Şekil 4.3. Ceviz Hidrolizatlarının Emülsiyon Stabilite İndeksi Değerleri	30
Şekil 4.4. Ceviz İzolat ve Hidrolizatları Köpük Oluşturma Kapasite ve Stabilite Değerleri....	32
Şekil 4.5. Ceviz İzolat ve Hidrolizatlarının Yağ Bağlama Kapasitesi	34
Şekil 4.6. Ceviz İzolat ve Hidrolizatlarının FTIR spektrumları.....	35
Şekil 4.7. Ceviz İzolat ve Hidrolizatlarının DPPH Aktivitesi.....	37

SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ

Simgeler	:	Açıklama
%	:	Yüzde işareti
°C	:	Santigrat derece
g	:	Gram
mL	:	Mililitre
µm	:	Mikrometre
nm	:	Nanometre
cm ⁻¹	:	Dalga sayısı birimi.
pH	:	Asitlik veya bazlık
rpm	:	Dakikadaki devir sayısı, santrifüj hız
xg	:	Santrifüj kuvveti birimi.
±	:	Artı veya eksi
Δ	:	Delta
µL	:	Mikrolitre
mM	:	Milimolar
N	:	Normalite
L, a, b	:	Renk ölçümünde kullanılan parametreler
ΔE	:	Renk farkını ifade eden parametre
Chroma	:	Renk doygunluğunu ifade eden parametre
Hue	:	Renk tonunu ifade eden parametre
w/v veya p/v	:	Ağırlık/Hacim
α-NH ₂	:	Alfa-amino grupları (Alpha-amino groups)
h _{tot}	:	Toplam peptit bağları (Total peptide bonds)
M _p	:	Protein miktarı (Protein amount)
B	:	Baz miktarı (Base amount)
N _b	:	Baz normalitesi (Base normality)
A	:	Ayrılma sabiti (Dissociation constant)
A ₀	:	Başlangıç absorbansı (Initial absorbance)
A ₁₀	:	10 dakika sonraki absorbans (Absorbance after 10 minutes)
Δt	:	Zaman aralığı (Time interval)
ΔA	:	Absorbans farkı (Absorbance difference,

Kısaltmalar	Açıklama
WHO	: Dünya Sağlık Örgütü
FAO	: Gıda ve Tarım Örgütü (Food and Agriculture Organization)
USDA	: Amerika Birleşik Devletleri Tarım Bakanlığı
UNU	: Birleşmiş Milletler Üniversitesi (United Nations University)
CPH	: Ceviz Protein Hidrolizatı
EAI	: Emülsiyon Aktivite İndeksi
ESI	: Emülsiyon Stabilite İndeksi
HD	: Hidroliz Derecesi
FTIR	: Fourier Dönüşümlü Kızılötesi
ATR	: Zayıflatılmış Toplam Yansıma
DPPH	: 1,1-Difenil-2-pikrilhidrazil
ABTS	: 2,2-Azino-bis(3-etilbenzotiazolin-6-sülfonik asit)
PBS	: Fosfat Tamponlu Salin
SDS	: Sodyum Dodesil Sülfat
Cizo	: Ceviz Protein İzolatı
Calc	: Ceviz Alcalase Hidrolizatı
Cfla	: Ceviz Favourzyme® Hidrolizatı
Csav	: Ceviz Savinase Hidrolizatı
ROS	: Reaktif Oksijen Türleri
ACE	: Anjiyotensin Dönüştürücü Enzim
SPSS	: Statistical Package for the Social Sciences
ANOVA	: Tek Yönlü Varyans Analizi (Analysis of Variance)
SD	: Standart Sapma
HCl	: Hidroklorik asit
NaOH	: Sodyum hidroksit
H₂SO₄	: Sülfürik asit
TürKomp	: Ulusal Gıda Kompozisyon Veri Tabanı

1 GİRİŞ

Çok eski ve köklü bir meyvecilik kültürüne sahip olan Türkiye, birçok meyve türünün olduğu gibi cevizin de gen merkezleri arasında yer alır. Cevizin anavatanı, bazılarına göre İran'ın Ghilan bölgesi, bazılarına göre ise Çin olduğu ifade edilmekle birlikte, büyük bir çoğunluk ise cevizin Karpat Dağları'ndan Türkiye, Irak, İran, Afganistan, Güney Rusya, Hindistan, Mançurya ve Kore'ye kadar uzanan geniş bir bölgenin ürünü olduğunu bildirmiştir. Pomolojik olarak sert kabuklu meyve türleri içerisinde yer alan ceviz (*Juglans regia* L.) botanik olarak *Dicotyledoneae* sınıfı, *Juglandales* takımı, *Juglandaceae* familyası ve *Juglans* cinsinde sınıflandırılmaktadır. *Juglans* cinsi içerisinde özellikleri tespit edilmiş 18 ceviz türü bulunmaktadır. Bu türler içinde, meyve kalitesi üstün olan ceviz denildiğinde ilk akla gelen, Anadolu cevizi, İran cevizi ve İngiliz cevizi olarak da tanınan *Juglans regia* L'dir (Kazankaya, 1996; Kazankaya ve ark., 1997; Balcı ve ark., 2001; Doğan ve ark., 2005; Şen ve ark., 2006; Balta ve ark., 2007; Başer ve ark., 2016; Kandilli ve ark., 2021; Kazankaya ve ark., 2022).

FAO'nun verilerine göre, dünya genelinde ceviz üretimi yaklaşık 2.67 milyon ton düzeyindedir. Bu üretim, dünya çapında yaklaşık 1.2 milyon hektar alanda sağlanmış olup bu veriler, ceviz yetiştiriciliğinin küresel ölçekteki önemini ve tarım sektöründeki yerini açıkça ortaya koymaktadır. Ceviz üretiminde Çin, yıllık yaklaşık 1.4 milyon ton üretimle ilk sırada yer alırken, Amerika Birleşik Devletleri 682,200 ton üretimle ikinci sırada bulunmaktadır. İran, 355,040 ton üretimle üçüncü sırayı alırken, Türkiye, 335,000 ton üretimle dördüncü sırada yer almaktadır. Türkiye'deki ceviz üretiminin büyük bir bölümü Karadeniz, İç Anadolu ve Doğu Anadolu bölgelerinde yoğunlaşmıştır (FAO, 2024).

Ceviz, sağlık ve beslenme açısından önemli bir besin kaynağıdır. İç cevizler, yüksek oranda doymamış yağ asitleri, sindirilebilir protein ve diyet lifi içeren besleyici gıdalardır (Pereira ve ark., 2008). Aynı zamanda, flavonoidler, fenolik asitler ve polifenoller gibi biyoaktif bileşikler açısından zengin olan ceviz içleri, antioksidan, antiaterojenik, antiinflamatuvar ve antimutajenik özellikler sergileyerek sağlık üzerinde olumlu etkiler gösterir (Wani ve ark., 2016). Bu özellikleriyle ceviz, hem beslenme hem de sağlık açısından önemli bir rol oynar. Beslenme değerleri Tablo 1.1'de görülebileceği gibi 100 gram çiğ ceviz için, 15.2 g protein, 65.2 g yağ (çoğunlukla çoklu doymamış yağ asitleri) ve 13.7 g karbonhidrat olarak bilinmektedir (USDA, 2024).

Bileşiminde insan sağlığı üzerine olumlu etkileri olan değerli besin öğelerini içermesinden dolayı beslenme rutininde önemli bir yere sahiptir. Ceviz, farklı besin öğeleri bakımından zengin olmasına rağmen, en önemli besin öğeleri yağlardır (Şimşek ve Gülsoy, 2016). Cevizler yaklaşık %52-70 oranında yağ içermektedirler (Bayazit ve ark., 2016). Çiğ olarak tüketilmesi halinde besin öğeleri en doğal formunda kalır. Ceviz yağı ise pişirme veya kozmetik ürünlerinde kullanılan, yüksek doymamış yağ asitleri içeriğine sahip değerli bir yan üründür (Şen ve ark., 2006).

Tablo 1.1. TürKomp Verilerine Göre 100 Gram Çiğ Ceviz İçi Besin Değerleri

Besin Öğesi	Miktar (100 g)
Kalori	679 kcal
Toplam Yağ	64,82 g
- Doymuş Yağ	6,432 g
- Tekli Doymamış Yağ	8,987 g
- Çoklu Doymamış Yağ	34,715 g
Karbonhidrat	3,68 g
- Lif	11,50 g
- Şeker	Bilgi yok
Protein	14,57 g
Vitaminler	
- E Vitamini (α -TE)	1,19 mg
- B6 Vitamini	0,549 mg
- Folat	64 μ g
Mineraller	
- Magnezyum	165 mg
- Fosfor	365 mg
- Bakır	Bilgi yok
- Mangan	Bilgi yok
- Demir	2,34 mg

Dünya genelinde ceviz yağı üretimi, ceviz üretimi ve yağ çıkarma teknolojilerindeki gelişmelere bağlı olarak önemli bir sektör haline gelmiştir. Çin, ceviz yağı üretiminde lider konumda olup, bu ürünü hem yerel tüketim hem de ihracat için kullanmaktadır. Ceviz yağı hem geleneksel hem de yeşil teknolojilerle (soğuk pres, solvent ekstraksiyonu gibi) elde edilmekte ve bu teknolojik gelişmeler, üretimin verimliliğini ve kalitesini artırmaktadır (Fregapane ve Ojeda-Amador, 2019). Ayrıca, ceviz yağının Avrupa ve Kuzey Amerika pazarlarında da önemli bir ticari potansiyeli bulunmaktadır. Sağlıklı gıda ve fonksiyonel gıda trendleriyle birlikte uluslararası pazarlarda talep gören ceviz yağı, Avrupa Birliği'nde niş yağlar kategorisinde değerlendirilmekte, yüksek besin değeri ve antioksidan özellikleri nedeniyle yoğun olarak

tercih edilmektedir (Czwartkowski ve ark., 2022). Özellikle organik ve fonksiyonel gıdalara olan talep, ceviz yağı pazarının büyümesine katkıda bulunmaktadır ve üretimi, sürdürülebilir tarım ve sağlıklı gıda trendleriyle birlikte önemini artırmaktadır. (Masoodi ve ark., 2022). Ceviz yağı, hem iç pazarda hem de uluslararası pazarlarda talep gören bir üründür. Türkiye, ceviz üretiminde önemli bir ülke olarak, ceviz yağı ihracatıyla ekonomik kazanç elde edebilir. Özellikle organik ve fonksiyonel gıdalara olan artan talep, ceviz yağının pazar değerini daha da artırmaktadır (Aydınoglu, 2018).

Ceviz yağı üretimi, ceviz tarımı üzerinde hem ekonomik hem de ekolojik açıdan önemli etkilere sahiptir. Bu etkiler, dünya genelinde ve Türkiye’de yapılan bilimsel çalışmalarla incelenmiştir. Ceviz yağı, yüksek fiyatlı bir ürün olarak pazarda yer alır ve bu durum çiftçiler için ek gelir kaynağı oluşturur. Özellikle Türkiye’de ceviz üretiminin 2022 yılında 336.431 ton olduğu ve bu üretimin bir kısmının yağ üretimine ayrıldığı belirtilmiştir (Tunç ve Yılmaz, 2023). Bu durum, ceviz tarımının sürdürülebilirliğini desteklemekte ve bölgesel kalkınmaya katkı sağlama potansiyelindedir. Bununla birlikte ceviz tarımında modern ve verimli tarım tekniklerinin benimsenmesini teşvik etmektedir. Örneğin, yağ üretimi için yüksek kaliteli cevizlerin yetiştirilmesi, çiftçilerin daha iyi tarım uygulamalarına yönelmesine neden olmakta, bu durum, tarımsal verimliliği artırırken, ceviz bahçelerinin bakımı ve yönetimi konusunda bilimsel araştırmaların da artmasına katkıda bulunmaktadır (Kılavuz ve Yücer, 2023). Ceviz yağı üretimi, ceviz tarımı üzerine yapılan bilimsel araştırmaların artmasına da katkıda bulunmaktadır. Özellikle yağ çıkarma teknolojileri, ceviz çeşitlerinin yağ verimi ve kalitesi gibi konularda yapılan çalışmalar, sektörün geleceğini şekillendirmektedir. Türkiye’de bu alanda yapılan araştırmalar, ceviz tarımının ve yağ üretiminin daha verimli hale gelmesine yardımcı olmaktadır (Tunç ve Yılmaz, 2023; Kılavuz ve Yücer, 2023).

Tarımsal üretim süreçlerinde, hasat sırasında ana ürünün yanı sıra çeşitli miktarlarda ürün kalıntısı veya atık (residue) meydana gelirken, ürünlerin işlenmesi aşamasında ise farklı türde yan ürünler (by-product) elde edilmektedir. Ana ürünün türüne bağlı olarak, hasat aşamasında oluşan atık ya da kalıntı miktarları değişkenlik gösterirken, ürün işleme süreçlerinden elde edilen yan ürünlerin çeşitliliği ve miktarı da önemli ölçüde farklılık gösterebilmektedir. Bu bağlamda, toplam kalıntı ve yan ürün miktarları, çoğu durumda hasat edilen ana ürün miktarını aşabilmektedir (Saçlık, 2023).

Tarımsal üretim ve endüstriyel işleme faaliyetleri sonucunda ortaya çıkan yan ürünlerin zaman zaman nihai üründen daha yüksek besin değerine veya fonksiyonel içeriğe sahip olduğu bildirilmektedir. Bu biyolojik materyallerin büyük bir kısmı değerlendirilmemektedir (Torres-León ve ark., 2018). Meyvecilik ve meyve işleme süreçlerinde, yan ürünler genellikle taze meyvenin %50'sinden fazlasını oluşturmakta ve bazı türlerde ana ürüne kıyasla daha yüksek besleyici özelliklere ve fonksiyonel içeriklere sahip olabilmektedir. Bahçe bitkilerinin tüm bileşenlerinin etkin şekilde değerlendirilmesi, tarımsal işletmelerde düşük atık yaklaşımının benimsenmesini sağlamak ve bu yan ürünlerden yeni değerli ürünler üretmek, ülkeler için stratejik bir gereklilik olarak ortaya çıkmaktadır (Ayala-Zavala ve ark., 2011). İç cevizden yağ eldesi sonrasında 100 gr'lık bir üründen yaklaşık % 55 yağ ayrıldığında geriye 45 gr'lık değerlendirmeye uygun ve protein içeriği yüksek bir yan ürün elde edilmektedir.

Proteinler, canlı organizmalarda hayati önem taşıyan makro besin maddeleridir. Amino asitlerin polimerlerinden oluşan proteinler, hücresel yapıların korunmasından enzimlerin üretilmesine kadar birçok biyolojik fonksiyonu yerine getirir. İnsan vücudu için dokuz temel amino asit, dışarıdan alınması gereken elzem moleküller olup, bu amino asitlerin kaynağı sıklıkla protein açısından zengin gıdalardır (Wu, 2016). Proteinler; kas dokusunun onarımı ve büyümesi, enzim ve hormon sentezi ile bağışıklık sisteminin desteklenmesi gibi çeşitli işlevlere sahiptir. Dünya Sağlık Örgütü (WHO), günlük kalori alımının %10-15'inin proteinlerden gelmesini önermektedir. Yetersiz protein alımı, büyüme geriliği, bağışıklık zayıflığı ve genel sağlık sorunlarına yol açabilir (WHO, 2007). Proteinler; hayvansal kaynaklardan (et, süt, yumurta) elde edilmesinin yanında bitkisel kaynaklardan da (tahıllar, soya, ceviz, baklagiller) elde edilebilir.

Protein ihtiyacı uzun yıllar boyunca ağırlıklı olarak hayvansal kaynaklı proteinlerden karşılanmıştır. Ancak, obezitenin yaygınlaşması, hayvansal kökenli hastalıkların görülme sıklığının artması ve antibiyotiklerle beslenen hayvanlara dair endişeler, tüketicilerin tercihlerini değiştirmesine neden olmuştur. Son dönemlerde bitkisel kaynaklı proteinlere yönelik talep önemli ölçüde artmıştır. Yağlı tohumlar, tahıllar ve bakliyatlar, bitkisel proteinlerin başlıca kaynakları arasında yer almaktadır. Özellikle, bitkisel proteinler genellikle hayvansal proteinlerden daha az yağ ve kolesterol içerirken; aynı zamanda lif, esansiyel vitaminler ve mineraller gibi birçok değerli besin maddesi bakımından daha zengindir (Damodaran ve ark., 2008). Hayvansal ürünlerin kısıtlı ve pahalı olması nedeniyle bitkisel ürünlerin protein kaynağı olarak değerlendirilme çalışmaları önem kazanmıştır.

Vejetaryenlik eğilimleri, organik ve doğal ürünlere olan talep, bitkisel protein üretim miktarını olumlu yönde etkilemektedir (Alcorta ve ark., 2021).

Ceviz yüksek kaliteli bir bitki proteini kaynağıdır; içindeki protein ve yağ, ceviz içinin ağırlığının %70'inden fazlasını oluşturur (Şen ve ark., 2006). Özellikle protein açısından zengin olan ceviz, soya, kanola ve çeşitli bakliyatlar üzerinde birçok araştırma yapılmaktadır (Aydemir ve ark., 2014). Yağsız ceviz unu, hidrolik presleme veya solvent ekstraksiyonu gibi yöntemlerle elde edilir. Bu süreçler, cevizdeki yağın büyük ölçüde çıkarılmasını sağlar, geriye kalan kısım ise öğütülerek una dönüştürülür (Labuckas ve ark., 2014). Son yıllarda, yağsız ceviz ununun besin değeri ve fonksiyonel özellikleri üzerine yoğun araştırmalar yapılmaktadır. Özellikle yüksek protein içeriği ve antioksidan kapasitesi, bu ürünü gıda endüstrisinde önemli bir bileşen haline getirmiştir (Mao ve Hua, 2012).

Ceviz unu, iç ceviz yağ çıkarılma işlemi sonrasında elde edilen ve yüksek protein (%40-45) içeriğiyle öne çıkan bir yan üründür (Mu ve ark., 2014). Bu proteinler, başlıca albumin, globulin, gliadin ve glutenin gibi protein fraksiyonlarıdır. Aynı zamanda mineraller (magnezyum, fosfor, çinko) açısından da zengindir. Yağ içeriği azaltıldığı için kalorisi düşüktür, bu da onu diyet programları için ideal hale getirir (Rabadán ve ark., 2018). Ayrıca, yüksek protein içeriği nedeniyle hayvan yemlerinde katkı maddesi olarak da kullanılır (Burbano ve ark., 2024). Ceviz proteini, 18 farklı amino asit içermekte olup, bunlar arasında sekiz temel (esansiyel) amino asit bulunmaktadır (Sze-Tao ve Sathe, 2000; Savage, 2001). Bu esansiyel amino asitlerin içeriği, insan vücudunun beslenme ihtiyaçlarını karşılamakta ve Dünya Sağlık Örgütü (WHO), Gıda ve Tarım Örgütü (FAO) ile Birleşmiş Milletler Üniversitesi (UNU) tarafından 2007 yılında önerilen beslenme standartlarına oldukça yakındır (Tablo 1.2). Bu özellikleri nedeniyle ceviz proteini, insan gıdası için önemli bir bitkisel protein kaynağı olarak kabul edilmekte ve gelecekte büyük bir gelişme potansiyeline sahip olduğu düşünülmektedir (Li ve ark., 2020). Ayrıca, ceviz proteininin biyolojik aktiviteleri ve fonksiyonel özellikleri, gıda endüstrisinde çeşitli uygulamalarda kullanılmasını mümkün kılmaktadır. Örneğin, ceviz proteininin emülsiyon stabilizasyonu ve köpük oluşturma özellikleri, gıda formülasyonlarında yaygın olarak kullanılmaktadır (Karoud ve ark., 2019). Bu nedenle, ceviz proteininin hem beslenme hem de endüstriyel açıdan daha fazla araştırılması ve değerlendirilmesi önem taşımaktadır.

Tablo 1.2. İç Cevizlerin Farklı Yan Ürünlerinin Aminoasit İçerikleri (g/100g) (Li ve ark., 2020).

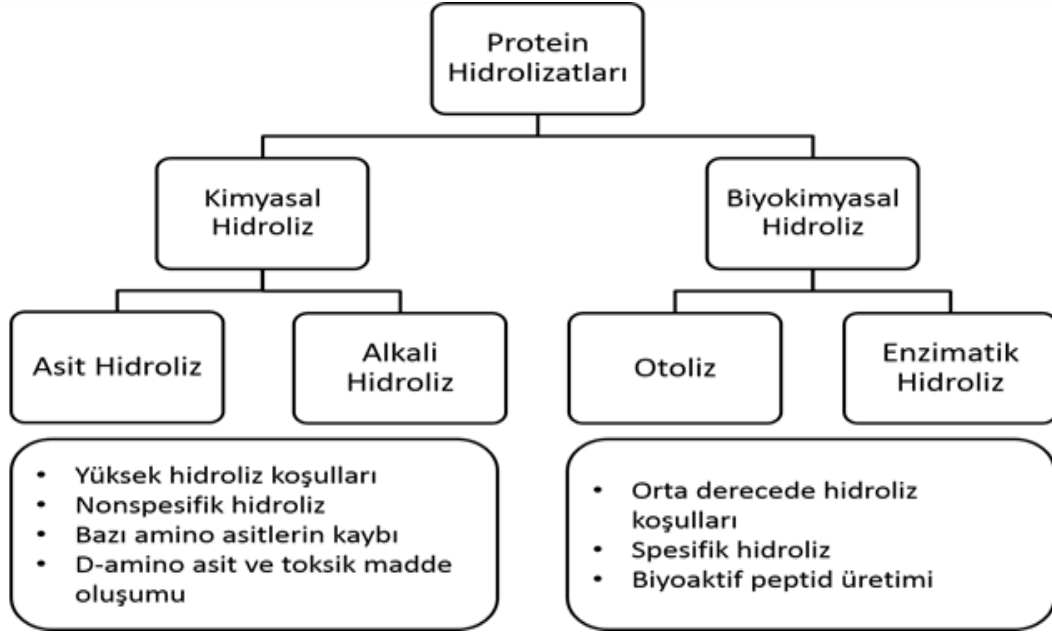
Amino Asit	Yağsız Ceviz Unu	Ceviz Protein Konsantresi	Ceviz Protein İzolatı	WHO/FAO/UNU (2007)*
Metiyonin	1.16	0.02	0.99	0.08
Valin	4.18	0.21	3.50	0.18
Treonin	3.58	0.21	2.55	0.09
Histidin	2.38	0.13	1.89	0.09
İsolösin	3.28	0.10	3.03	0.09
Leucin	7.13	0.07	5.64	0.12
Lizin	2.58	0.05	2.01	0.07
Sistein	0.84	0.06	0.70	0.12
Fenilalanin	4.94	0.05	3.49	0.07
Tirozin	2.76	0.22	2.30	0.13
Triptofan	5.50	0.02	7.4	6.6
Prolin	4.22	0.07	2.33	0.04
Alanin	4.74	0.05	3.31	0.15
Arjinin	14.73	0.09	11.24	0.18
Glysin	5.43	0.15	3.54	0.11
Serin	5.84	0.19	3.96	0.22
Glutamin	22.16	0.12	15.78	0.20
Asparagin	10.04	0.21	6.95	0.19

Bitkisel proteinlerin düşük çözünürlükte olmaları, ceviz proteinlerinin su veya diğer çözücüler içinde kolayca çözünmemesine neden olarak sindirilebilirlik ve biyoyararlanımını olumsuz etkileyebilir. Bu durum, bitkisel proteinlerin yapısal özellikleri ve antinutrisyonel faktörlerin varlığıyla ilişkilidir. Özellikle bitkisel proteinlerin kompleks yapısı ve suda çözünürlüklerinin düşük olması, sindirim enzimlerine erişimlerini sınırlayarak sindirilebilirliklerini azaltır (Sá ve ark., 2020; Opazo-Navarrete ve ark., 2025). Ayrıca, bitkisel proteinlerin içerdiği fitatlar, tanenler ve diğer antinutrisyonel bileşikler, proteinlerin biyoyararlanımını daha da düşürebilir. Bu bileşikler, proteinlerin sindirim sürecinde parçalanmasını engelleyerek amino asitlerin emilimini olumsuz etkiler (Gilani ve ark., 2012; Gu ve ark., 2023). Bununla birlikte, uygun işleme teknikleri bitkisel proteinlerin çözünürlüğünü ve sindirilebilirliğini artırabilir. Bu yöntemler, proteinlerin yapısını modifiye ederek suyla etkileşimlerini iyileştirir ve sindirim enzimlerini daha erişilebilir hale getirir (Rivera del ve ark., 2022; Huang ve ark., 2024).

Protein hidrolizatlarının üretim yöntemleri Şekil 1.1.' de verilmiştir (Tekle, 2022). Yöntemler proteinlerin enzimatik, kimyasal ve fiziksel özelliklerini değiştirerek fonksiyonel performanslarını iyileştirme üzerine odaklanmaktadır (Cabi, 2023). Enzimatik modifikasyon teknikleri, ceviz proteinlerinin çözünürlüğünü artırmada sıkça başvurulan yöntemlerden biridir. Bir diğer yöntem, pH ayarlamalarıdır ki bu yöntem proteinlerin izoelektrik noktasından uzaklaştırılması, protein yüzeyindeki elektrik yüklerinin dengesizliği nedeniyle moleküller arası itme kuvvetini artırarak çözünürlüğü iyileştirmektedir (Kinsella, 1982; Damodaran, 2008; Damodaran, 2017).

Kimyasal modifikasyon teknikleri ise ceviz proteinlerinin çözünürlüğünü artırmaya yönelik diğer bir strateji olarak öne çıkmaktadır (Damodaran, 2008). Asetilasyon veya süksinilasyon gibi kimyasal işlemlerle proteinlerin yüzey polaritesinin değiştirilmesi, suyla olan etkileşimlerini artırmakta ve çözünürlüğü optimize etmektedir (Kinsella, 1982). Kimyasal modifikasyonun uygun şekilde uygulanması, proteinlerin besin değerini koruma ve toksisiteyi önleme açısından dikkatle ele alınmalıdır (Sun ve Holley, 2011). Konuyla ilgili gelecekte yapılacak çalışmalar, bu tekniklerin etkisini optimize etmeye ve ceviz proteinlerinin fonksiyonel kullanımını artırmaya yönelik daha fazla veri sağlayacaktır (Kinsella, 1982; Damodaran, 2008; Damodaran, 2017).

Fiziksel işleme teknikleri, proteinlerin yapısını (konformasyonunu) değiştirmek ve çözünürlük, dağılma gibi fonksiyonel özelliklerini iyileştirmek için kullanılan yöntemlerdir. Bu teknikler, proteinlerin suyla etkileşimini artırarak daha iyi performans göstermelerini sağlar. Geleneksel ısıtma işlemlerinin yanı sıra, ultrason, homojenizasyon, düşük sıcaklık plazması, bilyalı değirmen, ince öğütme ve yüksek basınçlı mikrojet gibi yeni teknikler sıkça kullanılmaktadır. Bu yöntemler, proteinlerin yeniden dağılımını, açılmasını ve çözünürlüğünü artırmayı hedefler (Zhao ve ark., 2023). Fiziksel işleme teknikleri, işleme süreci sırasında örneğin durumuna bağlı olarak kuru işleme veya ıslak işleme olarak sınıflandırılabilir. Ceviz proteinlerinin su ile etkileşimi, çözünürlük ve fonksiyonel özelliklerinin iyileştirilmesi, gıda endüstrisinde bu proteinlerin daha etkili kullanımına yönelik önemli bir araştırma alanıdır. Cevizlerin birkaç saat su içinde bekletilmesi, proteinlerin su ile etkileşimini artırarak çözünürlüğünü iyileştirir. Sıcak su ile bekletme, protein yapısını gevşeterek suyla daha iyi etkileşime girmesini sağlar (Gümüş ve Yıldız, 2024).



Şekil 1.1. Protein Hidrolizatı Üretim Yöntemleri
(Tekle, 2022)

Lif ve karbonhidrat eklenmesi, ceviz proteinlerinin emülsiyon oluşturma yeteneğini artırarak çözünürlüğünü iyileştirir. Bu strateji, proteinlerin suyla etkileşimini artırırken, aynı zamanda fonksiyonel özelliklerini de geliştirir (Arslan ve ark., 2024).

Çözünürlüğü artırmada etkili bir yaklaşım ultrasonikasyon gibi fiziksel yöntemlerde yüksek frekanslı ultrason dalgaları, protein moleküllerinin ikincil ve üçüncül primer yapılarında değişimlere yol açarak proteinlerin su ile daha fazla etkileşime girmesini sağlamaktadır (Sun ve Holley, 2011). Ayrıca bu teknik, proteinlerin emülsifikasyon ve jel oluşturma gibi fonksiyonel özelliklerini de geliştirmektedir (Kinsella, 1982).

Tarımsal atıklardan ya da gıda sanayi yan ürünlerinden elde edilen proteinin kaliteli kabul edilebilmesi için esansiyel aminoasit içeriğinin zengin olması ve toksik maddelerden uzaklaştırılmış protein içeriğine sahip olması gerekmektedir (Kamal ve ark., 2021).

Günümüzde ceviz peptitlerinin sanayi ölçeğinde üretiminde en sık tercih edilen yöntem, kimyasal hidrolizle karşılaştırıldığında birçok avantaj sunan mikrobiyal enzimatik hidrolizdir (Moghadam ve ark., 2020). Bu avantajlar, yüksek hidrolitik özgüllük, hafif reaksiyon koşulları, yüksek ürün saflığı ve düşük enerji gereksinimleri

gibi unsurları içermektedir (Zhang ve ark., 2021). Yaygın olarak kullanılan enzimatik yöntemler arasında, iyi tanımlanmış substrat özgülüğüne sahip ticari enzimlerin (Alcalase, Papain, Pepsin, Favourzyme®, Neutrase ve Protamex dahil) kullanımı yer almaktadır (Li ve ark., 2020; Yang ve ark., 2021).

Protein hidrolizatları, enerji içecekleri, yaşlılık ürünleri, sporcu beslenme ürünleri ve kilo kontrolü diyet ürünlerinde protein katkısı olarak yaygın şekilde kullanılmaktadır. Aynı zamanda, lezzet arttırıcı, fonksiyonel bileşen ve besin değeri düşük gıdalarda da protein katkısı olarak tercih edilebilmektedir. Bunun yanı sıra, fenilketonüri, hipoallerjenik bebek mamaları, akut ve kronik karaciğer hastalıkları, bağırsak sendromu, inflamatuvar bağırsak hastalığı ve pankreasla ilgili hastalıklar gibi çeşitli sağlık sorunlarında da kullanım alanı bulmaktadır. Proteinlerin hidrolizi sonucu oluşan biyoaktif peptidler, antioksidatif, antikanser, antimikrobiyal ve antidiyabetik gibi önemli biyolojik aktivitelere sahip olabilmektedir. Elde edilen protein hidrolizatlarının özellikleri, doğrudan gıda ingrediyesi olarak kullanımını ve fonksiyonel özelliklerini doğrudan etkilemektedir (Tekle, 2022).

1.1. Tezin Amacı

Bu çalışmanın temel amacı, yağı çıkarılan iç cevizlerden elde edilen ceviz posasından üretilen ceviz unlarının enzimatik hidroliz yöntemiyle (alcalase, Favourzyme® ve savinase enzimleri kullanılarak) hidrolizat üretimini gerçekleştirmek ve bu hidrolizatların karakteristik, fonksiyonel ve biyoaktif özelliklerini detaylı bir şekilde incelemektir. Bu kapsamda, hidroliz derecesi, protein miktarı, emülsiyon özellikleri, köpük oluşturma kapasitesi ve stabilitesi, yağ bağlama kapasitesi, FTIR spektroskopisi ile analiz, renk özellikleri ve antioksidan aktivite gibi parametreler analiz edilerek, ceviz unu hidrolizatlarının gıda endüstrisinde ve sağlık ürünlerinde kullanım potansiyeli değerlendirilmiştir.

Bununla birlikte ceviz yan ürünlerinin değerlendirilmesi ve gıda sektöründe kullanımının yaygınlaştırılması, tarımsal ürün çeşitliliğinin oluşmasına ve dolayısıyla tarımsal gelirin artmasına olanak sağlar.

Bu çalışma, ceviz posasının atık olarak değerlendirilmesi yerine katma değeri yüksek ürünlere dönüştürülmesi yoluyla sürdürülebilir gıda üretimi için yenilikçi bir yaklaşım sunmayı hedeflemektedir. Bu yaklaşım, ceviz işleme sürecinde ortaya çıkan atık miktarını azaltarak çevresel kirliliğin önlenmesine önemli bir katkı sağlamaktadır.

2. ÖNCEKİ ÇALIŞMALAR

Ceviz proteinleri üzerine yapılan ilk sistematik araştırmalar, 1980'li yıllarda başlamış olup, bu dönemde alkali ekstraksiyon (pH 8.0-10.0 aralığında NaOH kullanımı) ile yüksek saflıkta protein izolasyonu başarılmıştır. Bu çalışmalar, ceviz proteinlerinin fonksiyonel özelliklerinin (su bağlama kapasitesi, emülsifikasyon aktivitesi) karakterize edilmesine olanak sağlamış ve bitkisel protein kaynaklarının endüstriyel gıda uygulamalarında kullanımına dair kritik bir temel oluşturmuştur.

1990'lara gelindiğinde, enzimatik hidroliz tekniklerinin (özellikle Alcalase ve Favourzyme® gibi endoproteazların kullanımı) geliştirilmesiyle, protein hidrolizatlarının kontrollü üretimi mümkün hale gelmiştir. Bu yöntemler, alkali ekstraksiyona kıyasla daha spesifik peptit profilleri ve artış gösteren biyoaktivite (örn. antioksidan, antihipertansif) potansiyeli sağlamıştır. 2000'li yıllarda, Ceviz protein hidrolizatı (CPH)'nin biyoaktif özellikleri keşfedilmiş ve bu peptitlerin antioksidan, antihipertansif ve antidiyabetik etkileri üzerine yoğun araştırmalar yapılmıştır; ayrıca, ceviz peptitlerinin moleküler çalışmaları, bu peptitlerin biyolojik aktivitelerinin mekanizmalarını aydınlatmaya yardımcı olmuştur (Wang ve ark., 2016; Fan ve ark., 2022).

Biyoaktif peptitler 1950 yılında Mellander tarafından keşfedilmiştir. Bu peptitler, vücut fonksiyonları ve sağlık üzerinde olumlu etkileri olan spesifik protein fragmanları olarak tanımlanmaktadır. Amid veya peptit bağları olarak bilinen kovalent bağlarla bağlanmış amino asitlerden oluşmakta olan biyoaktif peptitler, enzimatik hidroliz, fermantasyon veya proteolitik enzimler kullanılarak ağığa çıkararak ve hormon veya ilağ benzeri aktiviteler göstererek insan sağlığı için önemli bir rol oynamaktadır (Koçak ve şanlı, 2016; Ünal ve ark., 2018). Bu aktivitelerinden dolayı “gıda hormonu” olarak da adlandırılır (Gür ve ark., 2010). Konu ile ilgili yapılan araştırmalar sonucunda 'Biopep' adlı bir veri tabanı oluşturulmuş ve burada 1500'den fazla farklı biyoaktif peptit olduğu belirtilmiştir (Ünal ve ark., 2018). Biyoaktif peptitlerin biyolojik aktiviteleri pek çok faktöre bağlıdır. Amino asit kompozisyonları, içerdikleri amino asit çeşidi, molekül ağırlıkları ve amino asit dizilimi bu faktörlere örnektir (Gür ve ark., 2010; Ünal ve ark., 2018). Biyoaktif peptitler genellikle 2-20 amino asit kalıntısı içermektedirler fakat elde edildiği kaynağa ve yönteme göre sayıları değişiklik göstermektedir (Korhonen ve Pihlanto, 2006; Möller ve ark., 2008). Biyoaktif peptitler başlıca üç yolla ortaya çıkmaktadır; bu yöntemler, sindirim enzimleri ile hidroliz, fermantasyon yolu ve bitkisel ve hayvansal kaynaklı proteolitik enzimler kullanılması olarak bilinir. Biyoaktif peptitlerin eldesinde yöntemler birleştirilerek de kullanılabilir. Alkalaz, pepsin,

kimotripsin, tripsin, termolisin pankreatin vb. hidroliz işlemleri için en fazla kullanılan enzimlerdir (Korhonen ve Pihlanto, 2006). En çok peynir, et, yumurta, buğday, soya fasulyesi, mısır, meyve çekirdekleri, fıstık, baklagiller, sarımsak, brokoli, kolza tohumu, ceviz gibi hayvansal ve bitkisel kaynaklı ürünlerde ve balık, mikro alg, deniz hıyarı, karides gibi deniz ürünlerinde biyoaktif peptitlerin varlığına dair çalışmalar mevcuttur (Dhaval ve ark., 2016).

Cevizden elde edilen biyoaktif peptitler, sağlık üzerinde çeşitli olumlu etkilere sahip olan protein fraksiyonlarıdır. Bu peptitler, ceviz proteinlerinin enzimatik hidrolizi veya fermentasyon yoluyla açığa çıkarılır ve antimikrobiyal, antioksidan, antihipertansif ve mineral taşıyıcı gibi fonksiyonel özellikler gösterir (Liu ve ark., 2023). Bu peptitler, sindirim sağlığı, bağışıklık fonksiyonu ve kardiyovasküler sağlık gibi birçok farklı sağlık alanını destekleyebilir. Biyoaktif peptitlerin bu etkileri, genellikle amino asit dizilimleri ve moleküler yapıları ile yakından ilişkilidir (Cicero ve ark., 2017). Antioksidan etkileri sayesinde serbest radikallerin nötralize edilmesine yardımcı olarak hücre hasarını önler ve oksidatif stresi azaltır (Mateş ve ark., 2024). Ayrıca, patojen mikroorganizmalara karşı koruyucu bir etki göstererek enfeksiyon riskini azaltır. Antihipertansif etkileri ise ACE (anjyotensin dönüştürücü enzim) inhibitörü olarak çalışarak kan basıncını düşürmeye yardımcı olur (Li ve ark., 2020; Mukarram ve ark., 2024). Mineral taşıyıcı etkileri, özellikle kalsiyum ve demir gibi minerallerin emilimini artırarak kemik sağlığı ve anemi riskini azaltır (Rashki ve ark., 2025).

Yapılan bilimsel çalışmalar göstermiştir ki ceviz proteinlerinin hidrolizat işlemi uygulanarak elde edilen peptitler, hidrolize edilmemiş proteinlere kıyasla daha üstün fonksiyonel ve biyoaktif özelliklere sahiptir. Bu peptitler, suda daha iyi çözünürlük, düşük viskozite, iyi köpürme ve emülsifikasyon özellikleri gibi işlevsel avantajlar sunar (Feng ve ark., 2024)

Enzimatik hidroliz yöntemi, bitkisel protein hidrolizatlarının üretimi ve bu hidrolizatların fonksiyonel ve biyoaktif özelliklerinin belirlenmesinde oldukça etkili bir tekniktir. Bu yöntem, proteinlerin spesifik enzimler kullanılarak daha küçük peptitlere ve amino asitlere parçalanmasını sağlar ve proteinlerin biyoyararlanımını artırırken, antioksidan, antimikrobiyal ve antihipertansif gibi biyoaktif özelliklere sahip peptitlerin açığa çıkmasını sağlar. Enzimatik hidroliz, kimyasal hidrolize kıyasla daha kontrollü bir süreçtir ve toksik kimyasal kalıntılar içermez (Esfandi ve ark., 2019; Czelej ve ark., 2022).

Enzimatik hidroliz sürecinin optimizasyonu, enzim seçimi, reaksiyon koşulları ve yeni teknolojilerin kullanımı gibi faktörlere bağlıdır. Enzim seçimi, hedeflenen biyoaktif özelliklere göre belirlenir ve proteaz enzimleri (örneğin, pepsin, tripsin, papain), protein hidrolizinde yaygın olarak kullanılır. (Mora ve Toldrá, 2023).

Truong ve arkadaşları (2020) tarafından yapılan çalışmada, soya proteinlerinin hidrolizinde favourzyme®, protamex ve alcalase enzimleri karşılaştırılmış ve Favourzyme®'in en yüksek çözünebilen protein geri kazanım verimliliğine ulaştığı tespit edilmiştir. Termal ön işlem ile enzimatik hidrolizin birleştirilmesi, protein geri kazanım verimliliğini %61.44'e çıkarmışken, yalnızca enzimatik hidrolizde bu oran %52.57 olarak belirlenmiştir (Truong ve ark., 2020). Fan ve arkadaşlarının 2022 yılında yapmış oldukları bir çalışmada alcalase enzimi ile hidrolizi sonucunda, hidroliz süresinin (0-150 dakika) protein yapısı ve antioksidan özellikler üzerindeki etkileri incelenmiştir. Optimum koşullarda (pH 9.0, 55°C, %4 substrat konsantrasyonu, %2 enzim/substrat oranı) gerçekleştirilen hidrolizde, alcalase enzimi diğer enzimlere (Favourzyme®, Neutrase, Pepsin, Tripsin) kıyasla en yüksek hidroliz derecesi (%12.03) ve DPPH radikal süpürme aktivitesi (%86.28) sağlamıştır. Sonuç olarak, 120 dakikalık alcalase hidrolizi, walnut proteininden yüksek antioksidan aktiviteye sahip biyoaktif peptitlerin eldesi için optimal bir yöntem olarak önerilmektedir.

Bitkisel proteinlerin alerjenik potansiyelini azaltmaya yönelik çalışmalarda, García Arteaga ve ark. (2022) Lactobacillus plantarum fermentasyonu ile papain vetripsin enzim hidrolizini kombine ederek, bezelye protein izolatındaki ana alerjenlerin immünojenitesini belirgin şekilde azaltmayı başarmışlardır. Özellikle fermentasyon sonrası enzimatik hidroliz uygulaması, proteinlerin moleküler ağırlık dağılımını düşürerek antikor tanınmasını en aza indirmiştir. Çalışmada hidrolizatların duyuşal özelliklerinin iyileştirildiği ve acılığın azaldığı gözlenmiştir.

Ceviz protein izolatının fonksiyonel özellikleri incelendiğinde, Wang ve ark. (2020) yaptıkları çalışmada ceviz proteininin kazeine kıyasla daha iyi emülsifiye edici stabilite gösterdiğini ve geniş bir pH aralığında (3-9) bu özelliğini koruduğunu belirtmişlerdir. Bu bulgular, ceviz proteinlerinin gıda endüstrisinde et analogu ve süt alternatifleri gibi ürünlerde kullanım potansiyeline işaret etmektedir.

Sıcaklık, pH ve hidroliz süresi gibi parametreler, peptitlerin verimini ve aktivitesini etkilerken, ultrason, mikrodalga ve puls elektrik alanı gibi yeşil teknolojiler, enzimatik hidroliz verimini artırmak için kullanılmaktadır (Habinshuti ve ark., 2023; Mora ve Toldrá, 2023).

Feng ve ark. (2024) tarafından yapılan bir çalışmada, papain kullanılarak sınırlı enzimatik hidroliz işleminin ceviz proteininin yapısal ve fonksiyonel özellikleri ile besin değerine etkilerini incelemiştir. Hidroliz derecesi en yüksek %11.4 olarak belirlenmiştir. Sonuçlar, papain hidrolizinin ceviz proteininin yapısal özelliklerinde önemli değişikliklere yol açtığını göstermiştir. Hidrolize edilmiş proteinler, daha düşük moleküler ağırlık, artan esneklik ve azalan hidrofobiklik sergilemiştir. Fonksiyonel özellikler ve besin değeri, özellikle %11,4 DH'ye sahip olan fraksiyonda, daha iyi emülsifikasyon ve antioksidan yetenekler ile artmıştır. Bu bulgular, ceviz protein hidrolizatlarını gıda üretiminde kullanımını artırmak için sınırlı enzimatik hidrolizin etkili bir yöntem olabileceğini ve papain enziminin uygun olduğunu önermektedir.

Bir başka çalışma da Liu ve ark. (2016) tarafından yapılan bir çalışmada, ceviz protein hidrolizatlarından antioksidan peptitlerin hazırlanması için neutrase, papain, bromelain, alcalase, pepsin ve pankreatin enzimleri kullanılmıştır. Bu enzimlerle hidrolize edilen peptitler, DPPH, ABTS ve süperoksit radikal süpürme analizleri ile test edilmiştir. Sonuçlar, papain ile hazırlanan peptitlerin daha yüksek antioksidan aktiviteye sahip olduğunu göstermektedir.

Tripsin enziminin ceviz proteinlerini hidrolize etmede başarısını araştıran Moghadam ve ark. (2020) tarafından yapılan bir çalışmada %35-45 arasında bir hidroliz derecesi elde edildiği bildirilmiştir. Ayrıca, tripsin hidrolizatlarının 50 m²/g gibi yüksek bir emülsiyon aktivite indeksi (EAI) değerine sahip olduğu vurgulanmıştır. Ceviz proteinlerinin tripsin ile hidroliz edilmesinin yapısal, fonksiyonel, antioksidan, biyoaktif yüklenme ve ACE inhibitör özellikleri üzerindeki etkilerinin incelenmesinde; hidroliz süreleri 0, 15, 30, 60 ve 120 dakika olarak belirlenmiş ve bu süreçte proteinlerin yapısındaki çözülme içsel floresans spektroskopisi ile doğrulanarak yüzey hidrofobikliğinin arttığı gözlemlenmiştir. İki saatlik hidroliz sonrası çözünürlük %17'den %63'e yükselmiş, hidroliz edilmiş proteinler daha yüksek yüzey aktivitesi göstererek köpürme ve emülsifiye etme özelliklerini iyileştirmiştir. Ayrıca, enzimatik hidroliz sırasında aktif antioksidan dizilerin serbest bırakılmasıyla antioksidan aktivite artmış ve ceviz proteinlerinin ACE aktivitesini inhibe etme yetenekleri ile hidrofobik biyoaktif molekülleri yüklenme kapasitesi önemli ölçüde geliştirilmiştir (Moghadam ve ark., 2020). Ancak Favourzyme®'in etkinliği, protein kaynağına ve işlem koşullarına bağlı olarak değişebilmektedir.

Özellikle bitkisel proteinlerde (örneğin mercimek) alcalase gibi enzimlere kıyasla daha düşük verim gösterebilmekte, ancak non-termal teknolojilerle kombine edildiğinde

bu sınırlılık aşılabilmektedir. Yüksek basınç veya pulsed electric field gibi yöntemlerle ön işlem görmüş proteinlerde Favourzyme® kullanımı, peptitlerin biyoaktivitesini artırmaktadır. Örneğin, yüksek basınç uygulanmış mercimek proteininden Favourzyme® ile üretilen peptitlerin, oksijen radikal absorpsiyon kapasitesi %70'e kadar yükselmiştir (Garcia-Mora ve ark., 2015).

Yapılan başka çalışmada, kenevir tohumu proteinlerinin alcalase enzimi kullanılarak hidroliz edilmesiyle elde edilen peptitlerin fonksiyonel ve biyoaktif özellikleri detaylı bir şekilde incelenmiştir. Çalışmada, pH (8) ve 50°C gibi optimum koşullarda kenevir proteinlerini parçalayarak biyolojik aktiviteye sahip peptitler ürettiği gösterilmiştir. Bu peptitlerin gıda endüstrisi açısından önemli fonksiyonel özellikler taşıdığı belirlenmiştir. Özellikle su tutma kapasitesinin yüksek olması, gıda ürünlerinde nem stabilitesini artırma potansiyeline işaret etmektedir. Ayrıca, hidrolizatların iyi bir emülsiyon stabilitesi göstermesi, mayonez ve sos gibi yağ-su karışımlarının stabilizasyonunda kullanılabileceğini ortaya koymuştur. Çalışmanın bir diğer önemli bulgusu ise bu peptitlerin güçlü antioksidan aktiviteye sahip olmasıdır. DPPH ve ABTS radikallerini süpürme yetenekleri test edilerek peptitlerin oksidatif stresi azaltma potansiyeli kanıtlanmıştır. Bunun yanı sıra, peptitlerin anjiyotensin dönüştürücü enzimi (ACE) inhibe edici etkileri sayesinde hipertansiyonu önleyici özellikler taşıdığı da tespit edilmiştir. Bu kapsamlı çalışma, kenevir tohumu proteinlerinden elde edilen peptitlerin hem gıda teknolojisinde fonksiyonel bileşen olarak hem de sağlık açısından faydalı biyoaktif bileşikler olarak kullanılabileceğini göstermesi açısından önem taşımaktadır (Samaei, 2021)

Liu ve ark., (2024) tarafından yapılan çalışmada, alcalase enziminin ceviz proteinlerinin hidrolizindeki etkinliği detaylı bir şekilde incelenmiştir. Alcalase, *Bacillus licheniformis* kaynaklı bir mikrobiyal proteaz olup özellikle hidrofobik amino asit kalıntılarını (örneğin lösin ve fenilalanin) içeren peptit bağlarını parçalama konusunda yüksek spesifite gösterir. Çalışmada bu enzimin optimal çalışma koşulları pH 8.0 (alkali ortam), 50°C sıcaklık, 4 saatlik hidroliz süresi ve 1:10 (w/w) enzim/substrat oranı olarak belirlenmiştir. Bu koşullar altında alcalase ile yapılan hidroliz sonucunda %45-55 hidroliz derecesi elde edilmiş, DPPH radikal süpürme testinde %80'nin üzerinde antioksidan aktivite gözlenmiş ve ACE inhibisyon deneylerinde 0.42 mg/mL IC50 değeri ile yüksek inhibisyon etkinliği kaydedilmiştir. Araştırmacılar, alcalase'nin pepsin ve papain gibi diğer enzimlere kıyasla ceviz proteinlerinden daha yüksek verimle biyoaktif peptitler ürettiğini ve özellikle büyük moleküler ağırlıklı protein fraksiyonlarını etkili şekilde

küçük peptitlere parçalayabildiğini vurgulamışlardır. Bu bulgular, alcalase'nin fonksiyonel gıda ve nutrasötik uygulamalar için umut verici bir enzim olduğunu göstermektedir.

Mora ve Toldrá (2023), farklı enzimlerin kombinasyonlarının protein hidrolizatlarının fonksiyonel özelliklerini iyileştirdiğini vurgulamıştır. Örneğin, papain ve trypsin kombinasyonu, %60 HD ile hem hidroliz verimliliğini hem de biyoaktif özellikleri artırmıştır. Li ve arkadaşları (2020), papain ve protamex hidrolizatlarının sırasıyla %75 ve %85 ABTS radikal süpürme oranları ile güçlü antioksidan aktivite sergilediğini belirtmiştir. Ceviz protein hidrolizatlarının fonksiyonel özellikleri, gıda endüstrisinde önemli bir araştırma alanıdır. Bu özellikler, proteinlerin gıda sistemlerindeki işleme, depolama ve tüketim aşamalarında gösterdikleri fizikokimyasal nitelikler olarak tanımlanır. Enzimatik hidroliz, ceviz proteinlerinin fonksiyonel özelliklerini değiştiren ve geliştiren bir yöntemdir. Bu süreç, proteinlerin yapısını değiştirerek daha küçük peptitler ve serbest amino asitler üretir, bu da proteinlerin çözünürlük, emülsiyon stabilitesi, köpük oluşturma kapasitesi ve antioksidan aktivite gibi özelliklerini iyileştirir. Ceviz protein hidrolizatlarının emülsiyon özelliklerinin incelendiği çalışmalarda, hidroliz derecesi arttıkça emülsiyon stabilitesinin yükseldiği belirlenmiştir. Yüksek derecede hidrolize edilmiş proteinler, daha iyi emülsiyon stabilitesi sağlarken, bu durum, peptitlerin yüzey aktif özelliklerindeki artışla ilişkilidir. Emülsiyon oluşturma ve stabilizasyon kapasitesi, protein çözünürlüğü ile doğrudan ilişkilidir; çözünürlüğün artması, emülsiyon stabilitesini de artırmaktadır (Jin ve ark., 2020; Zhang ve ark., 2024).

Favourzyme® gibi enzimlerin optimum hidroliz koşullarını belirleyerek yapılan çalışmalar, enzim seçiminin önemini vurgulamıştır. Bu tür enzimler, bitkisel protein hidrolizatlarının gıda sistemlerindeki davranışını inceleyerek, endüstriyel uygulamalar açısından değerli bilgiler sunmaktadır. Elde edilen sonuçlar, ceviz unu hidrolizatlarının gıda endüstrisinde emülgatör olarak kullanım potansiyelini ortaya koymaktadır. Özellikle Favourzyme® enzimiyle gerçekleştirilen hidroliz işlemi, emülsiyon özelliklerini geliştirmede etkili bir yöntem olarak öne çıkmaktadır (Feng ve ark., 2024; Liu ve ark., 2024). Sonuç olarak, ceviz protein hidrolizatlarının emülsiyon özellikleri, gıda endüstrisinde sürdürülebilir emülgatör kaynaklarının geliştirilmesine katkı sağlamaktadır. Bu çalışmalar, yeni nesil enzimlerin protein modifikasyonundaki

potansiyelini vurgulamakta ve gelecekteki araştırmalar için önemli bir alan oluşturmaktadır.

Köpürme özelliği, gıda ürünlerinin dokusunu ve lezzetini geliştirerek tüketici deneyimini artırır. Özellikle içecekler, soslar, marshmallowlar ve çeşitli gıda ürünlerine hafif ve kremi bir doku sağlar. Ayrıca, köpük stabilitesi, ürünlerin raf ömrünü uzatır ve taşıma veya depolama sırasında bozulmalarını önler . Yapılan araştırmalar, ceviz protein hidrolizatlarının köpürme özelliklerinin peptitlerin yapısal ve yüzey aktif özellikleriyle doğrudan ilişkili olduğunu ortaya koymaktadır. Enzimatik hidroliz, proteinlerin daha küçük peptitlere ayrılmasını sağlayarak, düşük moleküler ağırlığa sahip peptitlerin genellikle daha iyi köpük oluşturma kapasitesine sahip olmasına yol açmaktadır. Bu düşük moleküler ağırlıklı peptitler, yüzey gerilimini azaltarak hava kabarcıklarının yüzeyinde birikimini teşvik etmekte ve böylece köpüğün stabilitesini artırmaktadır (Sun ve ark., 2019; Zhang ve ark., 2024).

Ceviz protein hidrolizatlarının köpük oluşturma özelliklerini etkileyen bir diğer önemli faktör, pH düzeyi ve tuz konsantrasyonudur. pH, proteinlerin elektriksel yükünü etkileyerek köpük stabilitesini değiştirebilir. Özellikle, proteinlerin izoelektrik noktasının altında veya üstünde bulunan pH değerleri, köpük stabilitesini artırabilir. Tuz eklenmesi de köpük oluşturma özelliklerini iyileştirebilir; tuz, proteinlerin yüzey aktivitesini artırarak köpüğün daha stabil hale gelmesine yardımcı olur (Moghadam ve ark., 2020; Zhou ve ark., 2022).

Yüksek derecede hidrolize edilmiş proteinler, daha iyi köpük stabilitesi sağlarken, bu durum, peptitlerin yüzey aktif özelliklerinin artmasıyla ilişkilidir. Ayrıca, köpük stabilitesi, proteinlerin çözünürlük düzeyiyle de bağlantılıdır; çözünürlük arttıkça köpük stabilitesi de artar (Jin ve ark., 2020; Feng ve ark., 2024).

Ceviz protein hidrolizatları, sadece köpük oluşturma stabilitesi sağlamakla kalmaz, aynı zamanda gıda ürünlerinin besin değerini de artırır. Biyoaktif peptitler, köpürme sistemlerinde antioksidan ve sağlık yararları sunarak gıda ürünlerinin kalitesini artırabilir (Sun ve ark., 2019; Jin ve ark., 2020).

Ceviz proteinlerinin yağ bağlama kapasitesi, gıda endüstrisinde ürün kalitesini artıran kritik bir özelliktir. Yağ bağlama, yağın fiziksel olarak tutulmasını sağlayarak tat ve tekstür özelliklerini iyileştirir (Liu ve ark., 2025). Ceviz proteinlerinin yağ bağlama kapasitesi, tuz konsantrasyonu ve pH düzeyi gibi faktörlerden etkilenmektedir. Tuz konsantrasyonundaki artışın yağ bağlama kapasitesini önemli ölçüde artırdığı

gözlemlenmiştir. Ayrıca, optimum pH ve sıcaklık koşullarında (30°C ile 50°C arası) bu kapasitenin yaklaşık %40 oranında arttığı tespit edilmiştir. Bu sıcaklık aralığı, proteinlerin yapısal bütünlüğünün korunduğu ve yağla etkileşimin en verimli şekilde gerçekleştiği koşulları yansıtır (Mao ve Hua, 2012).

Renk stabilitesi, ürünün raf ömrü hakkında bilgi verir. Renk değişimleri, ürünün bozulma sürecini gösterebilir ve bu nedenle ürün geliştirme ve kalite kontrol süreçlerinde kritik bir adımdır (Kristinsson ve Rasco, 2000). Özellikle ceviz protein hidrolizatlarında renk stabilitesi, ürünün raf ömrü ve tüketici kabulü açısından önemli bir parametredir (HunterLab, 2025). Renk analizinde Chroma ve Hue, renklerin temel özelliklerini tanımlayan iki önemli parametredir (CIE, 2004). Chroma, bir rengin doygunluğunu veya canlılığını ifade eder. Yüksek chroma değerleri, rengin daha saf ve canlı olduğunu gösterirken, düşük değerler rengin soluk veya griye yakın olduğunu belirtir (Wyszecki ve Stiles, 2000). Örneğin, parlak kırmızı bir elma yüksek chroma değerine sahipken, pastel tonlar daha düşük Chroma değerleriyle karakterize edilir (Berns, 2019). Hue ise rengin temel tonunu belirler ve renk çemberindeki konumunu ifade eder (Johnsen, 2015).

Antioksidanlar, serbest radikalleri nötralize edebilen, oksidatif hasarı önleyen veya onaran bileşiklerdir. Serbest radikaller, hücresel metabolizma sırasında oluşan, yüksek reaktiviteye sahip moleküllerdir ve DNA, proteinler ve lipidler gibi hücresel bileşenlere zarar verebilirler. Bu durum, oksidatif stres olarak adlandırılan bir sürece yol açar ve hücresel dengenin bozulmasına neden olur (McClements ve Decker, 2000; Sarmadi ve Ismail, 2010).

Oksidatif stres, hücrelerde reaktif oksijen türlerinin (ROS) birikmesi sonucu meydana gelir ve bu durum, kronik hastalıklar, yaşlanma, kanser ve kardiyovasküler hastalıklar gibi çeşitli patolojilerin gelişiminde etkili bir rol oynar. Bu nedenle, antioksidanların serbest radikal süpürme, lipid oksidasyonunu önleme ve metal iyonlarını şelatlama gibi mekanizmalarla oksidatif hasarı azaltma yetenekleri, hem sağlık hem de gıda endüstrisi açısından büyük önem taşımaktadır (Kim ve Wijesekara, 2010; Zamora-Sillero ve ark., 2018). Yapılan çalışmalarda ceviz proteinlerinden elde edilen peptitlerin antioksidan aktivitelerini belirlemek için çeşitli analiz yöntemleri kullanılmaktadır (Tablo 2.1.). Bu yöntemler arasında 1,1-difenil-2-pikrilhidrazil (DPPH) serbest radikal süpürme testi, 2,2-azino-bis (3-etilbenzotiazolin-6-sülfonik asit) (ABTS) radikal süpürme testi, hidroksil radikali süpürme testi ve lipid peroksidasyon inhibisyon testi yer almaktadır (Chalamaiah ve ark., 2012).

Son yıllarda yapılan çalışmalar, ceviz proteinlerinin yüksek kaliteli protein içeriği ve bu proteinlerden enzimatik hidroliz yoluyla elde edilen biyoaktif peptitlerin antioksidan özellikleri nedeniyle önemli bir ilgi odağı haline geldiğini göstermektedir. Bu biyoaktif peptitler, serbest radikalleri süpürme, lipid oksidasyonunu inhibe etme ve metal iyonlarını şelatlama gibi çeşitli antioksidan aktiviteler sergileyebilir (Chi ve ark., 2014; Lassoued ve ark., 2015). Özellikle WSREEQEREE ve ADIYTEEAGR gibi peptitler, güçlü antioksidan aktiviteleri ile hücrese düzeyde antioksidan etki göstererek oksidatif stresi azaltmada etkili olmuştur (Wang ve ark., 2022). Bu bulgular, ceviz proteinlerinin ve bunlardan türetilen peptitlerin sağlık açısından potansiyel faydalarını ortaya koymaktadır. Ceviz peptitlerinin çeşitli biyolojik aktiviteleri, onları fonksiyonel gıda bileşenleri ve nutrasötikler olarak potansiyel kılmaktadır. Sürekli araştırma ve geliştirme, insan sağlığını teşvik etme konusundaki uygulamalarını artırabilir.

Ceviz proteinlerinden elde edilen biyoaktif peptitler, gıda endüstrisinde doğal antioksidan olarak kullanılma potansiyeline sahiptir. Lipid oksidasyonunu önleyici etkileri nedeniyle, ceviz protein hidrolizatları gıdaların raf ömrünü uzatmak ve besin değerini korumak için kullanılabilir. Bunun yanı sıra, ceviz protein hidrolizatlarının oksidatif stresle ilişkili hastalıkların önlenmesinde ve tedavisinde kullanılabilecek doğal bir çözüm sunduğu düşünülmektedir (McClements ve Decker, 2000; Farvin ve ark., 2014). Ceviz peptitleri, hem *in vitro* hem de *in vivo* olarak önemli antioksidan özellikler göstermiştir. Bu özellikler, spesifik amino asit dizilimleri ve bileşimlerine atfedilmektedir (Chen ve ark., 2012; Wang ve ark., 2022). Bu peptitler, reaktif oksijen türlerini (ROS) etkili bir şekilde azaltır ve antioksidan enzim aktivitelerini artırır, bu da oksidatif stresi hafifletme ve insülin direncini iyileştirme potansiyeline sahiptir (Wang ve ark., 2020).

Alzheimer gibi nörodejeneratif hastalıklar bağlamında, ceviz peptitleri umut verici etkiler göstermektedir. Çalışmalar, bu peptitlerin bilişsel işlevi artırabileceğini ve bunun oksidatif stresin azaltılması ve nöroinflamasyonun modülasyonu gibi mekanizmalarla ilişkili olabileceğini göstermektedir (Zou ve ark., 2016; Zhao ve ark., 2021). Ayrıca, ceviz peptitleri bağırsak mikrobiyotasının düzenlenmesinde rol oynar. Yararlı bakterilerin sayısını artırırken potansiyel olarak zararlı olanları azaltarak, bağırsak sağlığını iyileştirir ve iltihabı azaltır (Kumar ve ark., 2019; Zhi ve ark., 2022). Araştırmalar ayrıca ceviz peptitlerinin, kırmızı kan hücresi sentezini teşvik ederek ve egzersiz sırasında laktik asit ve üre amonyak üretimini azaltarak yorgunluğu

hafifletebileceğini öne sürmektedir (Kim ve Kim, 2013; Liu ve ark., 2018). Ayrıca, potansiyel antiepileptik aktivite sergileyebilir ve hiperlipidemi ile karaciğer lipid metabolizmasını iyileştirebilirler (Jahanbani ve ark., 2021; Yang ve ark., 2021).

CPH'nin hipertansiyon tedavisinde kullanılabileceğini ve ACE inhibisyonu ile kan basıncını düşürdüğünü belirtmiştir Kardiyovasküler hastalıklar, diyabet, kanser ve nörodejeneratif hastalıklar gibi kronik rahatsızlıkların önlenmesinde ceviz protein hidrolizatlarının etkili olabileceği yapılan araştırmalarla desteklenmiştir (Kim ve Wijesekara, 2010; Karoud ve ark., 2019).

Sonuç olarak, enzimatik hidroliz, protein hidrolizatlarının üretimi ve biyoaktif peptitlerin keşfi için etkili bir yöntemdir. Özellikle antioksidan peptitler, gıda endüstrisinde fonksiyonel gıdalar ve sağlık takviyeleri olarak kullanılmaktadır. Ancak, büyük ölçekli üretim için daha fazla araştırma ve optimizasyon gereklidir (Czelej ve ark., 2022; Toldrá, 2023).

3. MATERYAL VE METOT

Bu bölümde, çalışmada kullanılan materyaller, kimyasallar ve uygulanan işlemler detaylı bir şekilde sunulmuştur.

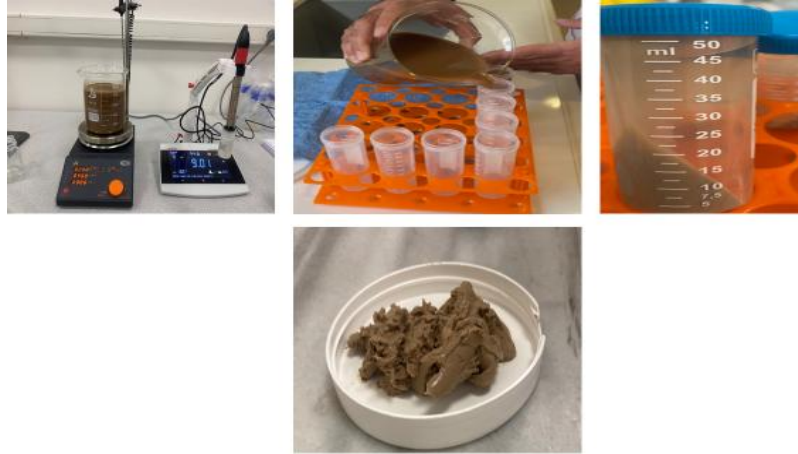
3.1. Materyal

Ceviz unu, “*Tazemiz Doğal Ürünler* (Mersin, Türkiye)” isimli firmadan elde edilmiştir. Ceviz unları, tüketime hazır ve vakumlu şekilde paketlenmiştir. Kullanılan kimyasallar Favourzyme® (*Aspergillus oryzae* kaynaklı proteaz), alcalase (*Bacillus licheniformis*), savinase, 2,2-Diphenyl-1-picrylhydrazyl (DPPH), ve Phosphate buffered saline (PBS) Sigma-Aldrich Chemie GmbH (Taufkirchen, Germany) firmasından alınmıştır. Diğer tüm kimyasal ve çözücüler, analitik saflık derecesindedir.

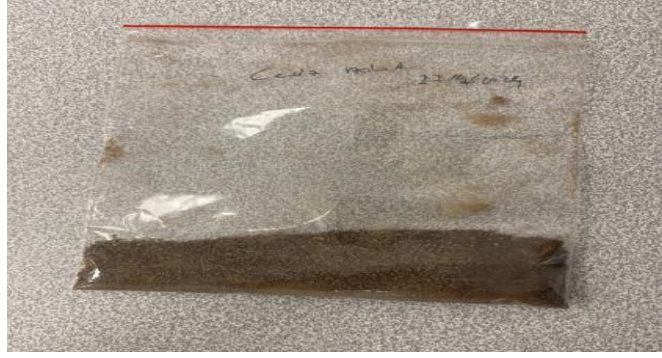
3.2. Metot

3.2.1. Yağı Alınmış Ceviz Unu İzolatlarının Hazırlanması

Yağı alınmış ceviz unu saf su (1:15 a/h) içerisinde dağıtılmış ve pH, 1 M NaOH ile 9'a ayarlanmıştır. Karışım, oda sıcaklığında 1 saat karıştırılmış ve ardından 4000 xg'de 20 dakika santrifüj edilmiştir. Bundan sonra, süpernatantın pH'sı 1 M HCl ile 4.5'e ayarlanmış ve daha sonra aynı sıcaklıkta 20 dakika boyunca 4000 xg'de santrifüj edilerek çökelti saf su ile yıkanmış ve liyofilize edilmiştir (Moghadam ve ark., 2020). Ceviz izolatu üretimine ait görseller Şekil 3.1'de sunulmuştur.



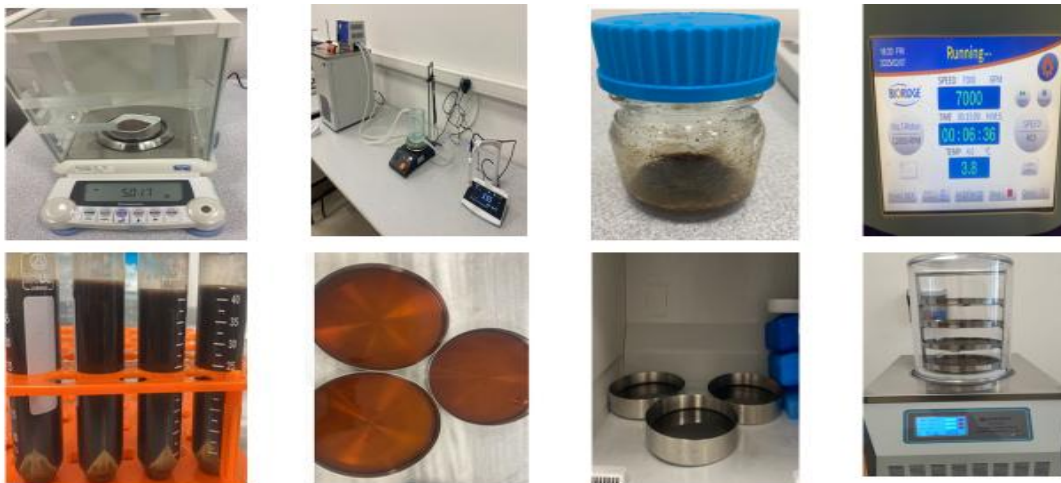
Şekil 3.1. Ceviz Unu İzolatı Üretim Aşamaları (Orijinal)



Şekil 3.2. Liyofize Edilmiş Ceviz Unu İzolatı (Orijinal)

3.2.2. Ceviz Unu Hidrolizatlarının Hazırlanması

Ceviz izolatlarından saf su kullanılarak %5'lik (w/v) çözelti hazırlanmış ve daha sonra karışımın oda sıcaklığında iyice karışması sağlanmıştır. Ceviz hidrolizatlarının üretiminde alcalase, Favourzyme® ve savinase enzimleri kullanılmıştır. Ceviz izolat çözeltilerinin pH'sı, 1 M NaOH çözeltisiyle alcalase için 8,0'e (60°C), Favourzyme® için 7,0'ye (50°C) ve savinaze için 9,0'a (50°C) ayarlanmıştır. Her bir enzim için 2 saat hidroliz işlemi gerçekleştirilmiştir. Sonrasında enzim, 90°C'de 20 dakika süre ile ısı uygulamasıyla inaktive edilmiştir. Çözeltiler, 7000 rpm'de 15 dakika santrifüj edilmiş (Andreas Hettich GmbH & Co. KG, Tuttlingen, Germany) ve liyofilizatör (Martin Christ GmbH, Beta 1-8 LSCplus, Osterode am Harz, Germany) ile -55°C'de dondurarak kurutulmuştur. Kuru toz halindeki hidrolizatlar ambalajlanarak depolanmıştır. Ceviz hidrolizatı üretimine ait görseller Şekil 3.3'te sunulmuştur.



Şekil 3.3. Ceviz Hidrolizatı Üretimine Ait Aşamalar (Orijinal)

3.2.3. Hidroliz Derecesi Belirlenmesi (%)

Hidroliz derecesinin belirlenmesinde pH-stat yöntemi kullanılmıştır. pH-stat yöntemi, reaksiyonla ortaya çıkan veya harcanan hidrojen iyonları sebebiyle meydana gelen pH'daki değişimi sabitlemek amacıyla kullanılan bir yöntemdir. Bu yöntemde hidroliz derecesi, hidroliz reaksiyonu esnasında serbest forma geçen protonların ototitrasyonu ile eklenen baz miktarının tespit edilmesiyle belirlenmektedir. Hidroliz derecesi parçalanmış peptid bağlarının (h) birim ağırlık başına toplam bağ sayısına (htot) oranı olarak tanımlanır. Hidroliz derecesinin hesaplanmasında aşağıdaki eşitlik kullanılmıştır (3.1).

$$\text{Hidroliz Derecesi (\%)} = (hx100) / \text{htot} = (BxNbx100) / (\alpha x Mpx \text{htot}) \quad (3.1)$$

B : Baz miktarı

Nb : Baz normalitesi

α : α -NH₂ gruplarının ortalama ayrılma sabiti

Mp : Protein miktarı (g)

h_{tot} : Ceviz proteinindeki toplam peptid bağları (mmol/g). Ceviz proteini için h_{tot} değeri, 7.35 mmol/g'dır (Adler-Nissen, 1986).

3.2.4. Protein Miktarı Belirlenmesi

Protein miktarı analizi, bir örnekteki toplam protein içeriğinin belirlenmesinde kullanılan yöntemlerden biridir. Bu çalışmada, Kjeldahl yöntemi kullanılarak ceviz hidrolizatlarının protein oranları tespit edilmiştir. Kjeldahl tüplerine, ceviz hidrolizatlarından 1 g örnek konularak üzerine 12 mL sülfürik asit (H₂SO₄) ve 1 adet Kjeldahl tableti eklenmiştir. Yakma ünitesinde, tüp içeriği berraklaşmaya kadar yaklaşık 4 saat süreyle yakma işlemi gerçekleştirilmiştir. İşlem sonrasında soğutulan tüplere 75 mL saf su eklenmiş ve distilasyon aşamasına geçilmiştir. Distilasyon ünitesinden %33'lük NaOH çözeltisinden 75 mL tüplere otomatik olarak eklenmiş ve ünitenin diğer ucuna 25 mL %4 borik asit içeren çözelti bulunan erlen yerleştirilmiştir. Distilasyon sonucunda yaklaşık 150 mL destilat toplandığında işlem tamamlanmış ve elde edilen destilat 0,1 N HCl ile titre edilmiştir. Aşağıdaki formül (3.2) kullanılarak ham azot miktarı hesaplanmıştır. Elde edilen azot miktarı, 6.25 çevrim faktörü kullanılarak toplam protein miktarına dönüştürülmüştür (Mæhre ve ark., 2018).

$$\text{Toplam Azot (\%)} = [(A-B) \times N \times 0.014 / \text{Örnek miktarı (g)}] \times 100 \quad (3.2)$$

A: Titrasyonda harcanan 0.1 N HCl (mL)

B: Şahit deneme için harcanan 0.1 N HCl (mL)

N: HCl'nin normalitesi (0.1 N)

3.2.5. Emülsiyon Özelliklerinin Belirlenmesi

Emülsiyon aktivite indeksi (EAI) ve emülsiyon stabilite indeksi (ESI), Zamorano-Apodaca ve ark. (2020) tarafından önerilen yöntemde küçük bir modifikasyon yapılarak belirlenmiştir. Bu çalışmada, dört farklı numune (Cizo, Calc, Cfla ve Csav) hazırlanmış ve her bir numune için analizler gerçekleştirilmiştir. İşlem adımları, 90 mg hidrolizatının tartılması ve tüplere aktarılmasıyla başlamıştır. Tüplere 9 mL fosfat tamponlu salin (PBS) eklenmiş sonrasında, tüplere 3 ml ayçiçek yağı eklenmiş ve karışım Ultra-turrax (Daihan HG-15D, Seoul, Kore) cihazı kullanılarak 18.000 x g'de 1 dakika süreyle homojenize edilmiştir. Homojenizasyon işleminin tamamlanmasının ardından, emülsiyonun alt kısmından 0 ve 10. dakikalarda 50 µL emülsiyon alınmıştır. Bu emülsiyonlar, %0,1 sodyum dodesil sülfat (SDS) ile 5 mL'ye seyreltilerek çözeltiler hazırlanmıştır. Seyreltilmiş çözeltilerin absorban değerleri, spektrofotometre (Shimadzu UV-1800, Tokyo, Japonya) kullanılarak 500 nm dalga boyunda ölçülmüştür. EAI ve ESI değerleri 3.3 ve 3.4' te verilen formüllerle hesaplanmıştır.

$$\text{EAI (m}^2/\text{g)} = (2 \times 2,303 \times A_0) / (C \times \varphi) \quad (3.3)$$

A_0 = 500 nm dalga boyundaki absorban

C = Protein başlangıç konsantrasyonu (g/mL)

φ = Emülsiyondaki yağ hacmi

$$\text{ESI (dk.)} = (A_0 \times \Delta t) / \Delta A \quad (3.4)$$

A_{10} = 10 dk. sonundaki absorban

Δt = 10 dk.

ΔA = $A_0 - A_{10}$

3.2.6. Köpük Oluşturma Kapasitesi ve Stabilitesi

Köpük kapasitesi ve köpük stabilitesi, Zamorano-Apodaca ve ark. (2020) tarafından kullanılan yöntemde küçük değişiklik yapılarak belirlenmiştir. Liyofilize haldeki hidrolizat çözeltisinden (%0.5 p/v) 10 mL alınarak Ultra-turrax (Daihan HG-15D, Seoul, Kore) cihazı kullanılarak 10.000xg'de oda sıcaklığında 1 dakika süreyle homojenize edilmiştir. Toplam köpük hacmi, homojenizasyon sonucunda 0, 10, 20 ve 30. dakikalarda ölçülmüştür. Köpük kapasitesi, 0. dakikada oluşan köpük genişmesini ifade ederken, köpük stabilitesi, 10, 20 ve 30. dakikada oluşan köpük genişmesini ifade etmektedir. Köpük genişmesi aşağıdaki eşitlikle hesaplanmıştır (3.5).

$$\text{Köpük Genleşmesi (\%)} = [(A - B) / B] \times 100 \quad (3.5)$$

A: Farklı zamanlardaki hacim (mL)

B: Homojenizasyondan önceki hacim (mL)

3.2.7. Yağ Bağlama Kapasitesi

Ceviz hidrolizatlarının yağ bağlama kapasitesi, Karoud ve ark. (2019) tarafından belirtilen yöntemle belirlenmiştir. Çalışmada 4 adet numune için darası alınmış santrifüj tüplerine 20 mg ceviz hidrolizati konulmuş ve tartılmıştır. Üzerine 400 µL ayçiçek yağı eklenerek oda sıcaklığında 1 saat süreyle bekletilmiştir. Karışımlar, vorteks cihazı (Velp ZX3 Vortex Mixer, Italy) ile her 15 dakikada 5 saniye karıştırılmıştır. Sonrasında 5000 rpm'de 20 dakika süreyle, 4 °C santrifüj edilerek (Andreas Hettich GmbH & Co. KG, Tuttlingen, Germany) yağ fazı uzaklaştırılmıştır. Kontrol grubu için boş bir santrifüj tüpüne örnek koymadan yalnızca yağ eklenmiştir. Yağ bağlama kapasitesi, mL yağ / g protein olarak ifade edilmiş ve 3.6 ile verilen eşitlikle hesaplanmıştır.

$$\text{Yağ Bağlama Kapasitesi} = (\text{Bağlanan yağ miktarı (g)} \setminus \text{Örnek miktarı (g)}) * 100 \quad (3.6)$$

3.2.8. Fourier Transform Infrared (FTIR) Spektroskopisi Analizleri

Ceviz hidrolizatlarının %10'luk çözeltisi saf su ile hazırlanmıştır. Çözeltilerin ATR-FTIR spektrumları, 4 cm⁻¹ çözünürlük düzeyinde ve her spektrumda 16 tarama olacak şekilde okunmuştur (Bruker Tensor 27 FTIR spektrometre, Bremen, Almanya). Spektrumların kaydı 4000-600 cm⁻¹ orta kızılötesi bölgede gerçekleştirilmiştir. Her numune için aynı koşullarda ölçümü yapılmış üç spektrumun ortalaması alınmıştır. Her ölçüm öncesi, kristal yüzeyi saf su ve %100 saf etil alkol ile temizlenmiştir (Cebi ve ark., 2016).

3.2.9. Hidrolizat Renk Özelliklerinin Belirlenmesi

Hidrolizatların rengi, Chroma meter CR-400 (Konica Minolta) cihazı kullanılarak belirlendi. L*(parlaklık), a* (kırmızı-yeşil) ve b* (sarı-mavi) parametreleri tespit edilmiştir. Renk farklılıklarını (ΔE^*) hesaplamak için aşağıdaki denklem (3.7) kullanılmıştır.

$$\Delta E^* = [(\Delta L^*)^2 + (\Delta a^*)^2 + (\Delta b^*)^2]^{1/2} \quad (3.7)$$

$$\text{Hue} = \tan^{-1} (b^*/a^*)$$

$$\text{Chroma} = [(a^*)^2 + (b^*)^2]^{1/2}$$

Burada ΔL^* , Δa^* ve Δb^* , sırasıyla Cizo ile hidrolizatlar arasındaki L*, a* ve b* farklarıdır. Her numunenin üç kez L*, a* ve b* değerleri ölçülmüştür.

3.2.10. Antioksidan Aktivite Tayini

Ceviz unu hidrolizatlarının DPPH serbest radikal süpürme aktivitesinin belirlenmesi, genellikle literatürde yer alan standart yöntemlerin küçük modifikasyonlarla uygulanmasıyla gerçekleştirilmiştir. Bu analiz, Dara ve ark. (2020) yöntemine dayalı olarak, küçük değişikliklerle uygulanmıştır. Hidrolizat fraksiyonlarından farklı konsantrasyonlarda (20, 25 ve 30 mg/mL) hazırlanmış solüsyonlardan 1,5 mL alınmış ve üzerine metanolde hazırlanmış 0,2 mM DPPH çözeltisinden 1,5 mL eklenmiştir. Karışım, vorteksle (Velp ZX3 Vortex Mixer, Usmate (MB), Italy) yüksek hızda iyice karıştırılmıştır. Solüsyon, oda sıcaklığında 20 dakika süreyle karanlıkta bekletilmiştir. Kontrol numunelerinde solüsyon yerine saf su kullanılmıştır. Absorbans, spektrofotometreyle (Shimadzu UV-1800, Tokyo, Japan) 517 nm dalga boyunda okunmuştur. Düşük absorbans değeri, yüksek radikal süpürme aktivitesi gösterdiğini işaret etmektedir. DPPH radikal süpürme aktivitesi, aşağıdaki eşitlikle (3.8) hesaplanmıştır:

$$\text{DPPH aktivitesi (\%)} = [1 - \text{Abs}_{\text{örnek}} / \text{Abs}_{\text{kontrol}}] \times 100 \quad (3.8)$$

3.2.11. İstatistiksel Analiz

Sonuçlar, her analiz için ortalama veya ortalama \pm standart sapma olarak ifade edilmiştir. Tek yönlü varyans analizi (ANOVA), numuneler arasındaki anlamlı farklılıkları ($p < 0,05$) test etmek amacıyla JMP Pro 18 yazılımı kullanılarak gerçekleştirilmiştir.

4. BULGULAR VE TARTIŞMA

Bu bölümde iç ceviz yan ürünlerinden elde edilen protein hidrolizatları üzerinde hidroliz derecesi, toplam protein içeriği, emülsiyon özellikleri, köpük oluşturma kapasitesi, yağ bağlama kapasitesi, protein yapısı, renk özellikleri ve antioksidan aktivite tayini analizleri gerçekleştirilmiş elde edilen veriler tablo ve grafikler şeklinde detaylı olarak sunulmuştur. Bulgular, literatürdeki mevcut verilerle karşılaştırılarak önemi üzerine değerlendirilecektir.

4.1.Hidroliz Derecesi (%)

Çalışmamızda ceviz hidrolizatlarının hidroliz dereceleri %2.63 ile %22.59 arasında değişmektedir. Alcalase enzimiyle elde edilen hidrolizatların hidroliz derecesi, %6,54-14,57 arasında, Favourzyme® ile elde edilen hidrolizatların hidroliz derecesi, %2,63-%9,60 arasında, savinase enzimi ile elde edilen hidrolizatların hidroliz derecesi ise %11,08-%22,59 arasında değişmektedir. En yüksek hidroliz derecesi, savinase hidrolizatlarından elde edilirken en düşük değer Favourzyme® hidrolizatlarından elde edilmiştir.

Hidroliz derecesi (HD), özellikle bitkisel proteinlerin proteoliz sürecini izlemek ve enzimatik hidrolizle oluşan peptitlerin boyutunu tahmin etmek için kullanılan önemli bir parametredir. HD, proteinin peptitlere ve serbest aminoasitlere parçalanma derecesini ölçerek besinsel ve işlevsel özelliklerin artırılmasını sağlar. pH değeri, sıcaklık, süre ve enzim konsantrasyonu gibi faktörler, hidroliz derecesini önemli ölçüde etkileyebilir (Tekle, 2022). Ceviz unu hidrolizatlarına ait tespit edilen HD, Şekil 4.1’de verilmiştir.

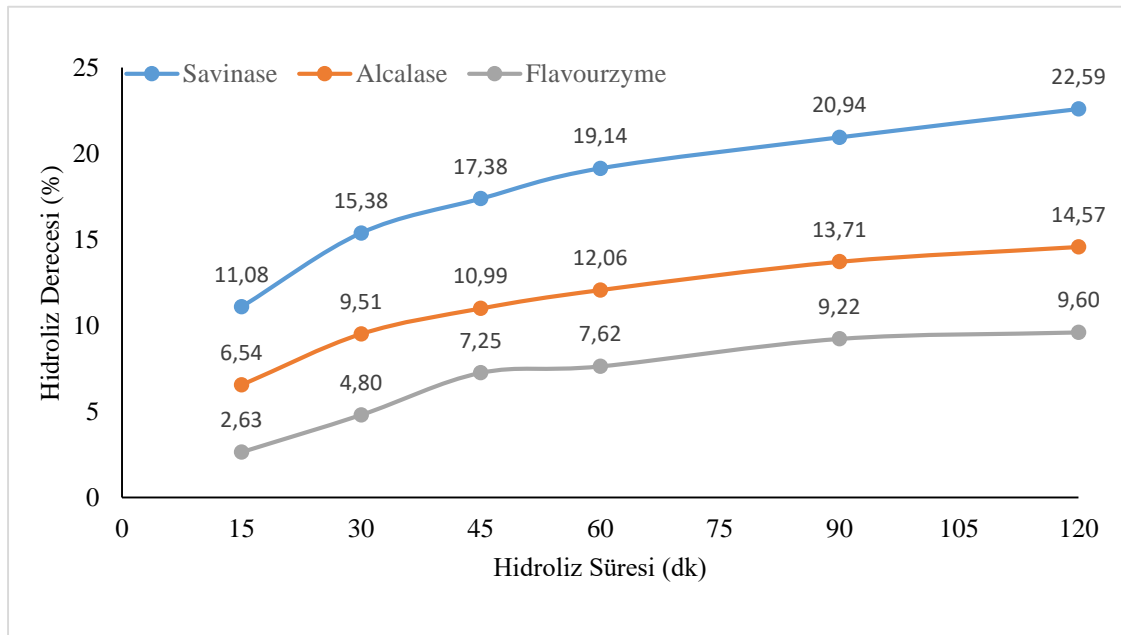
Zhang ve ark. (2019) tarafından protein izolatlarından alcalase kullanılarak üretilen hidrolizatlarda 4-6 saatlik hidroliz sürecinde %20-40 arasında değişen hidroliz derecesi tespit edilmiştir. Bu çalışmada ise 120 dakikalık süre sonunda %14,57 hidroliz derecesi ile yakın bir sonuç elde edilmiştir.

Benzer şekilde, flavorzyme enzimi ile gerçekleştirilen hidroliz işlemlerinde 180 dakikalık bir süre sonunda %15-30 arasında değişen hidroliz dereceleri elde edilmiştir (Chen ve ark., 2013). Bu sonuçlar çalışmamızda ki, 120 dakikalık flavorzyme için elde edilen %9,60’lık maksimum hidroliz derecesi ile uyumlu olup, flavorzyme’nin daha kısa süreli hidroliz işlemlerinde daha düşük bir etkinlik gösterdiğini ortaya koymaktadır.

Zhang ve ark. (2022) tarafından yapılan başka bir çalışma, favinase enzimi kullanılarak bitkisel proteinlerin hidrolizi incelenmiş ve bu enzimin yüksek hidroliz derecesi sağladığı ve proteinlerin biyoaktif özelliklerini artırdığı ortaya konmuştur. Çalışmada, savinase enzimi 4–6 saatlik hidroliz sürecinde %30–50 arasında hidroliz

derecesi elde edildiği sonuçları görülmüştür. Çalışmamızda elde edilen hidroliz dereceleri, Zhang ve ark. (2022) tarafından yapılan çalışmada savinase enziminin yüksek hidroliz derecesi sağladığını ve proteinlerin biyoaktif özelliklerini artırdığını ortaya koyan bulgularla uyumludur.

Ayrıca Şekil 4.1’de görüldüğü üzere hidroliz süresi arttıkça hidroliz derecesinin de arttığı gözlemlenmiştir. Özellikle ilk 30 dakikalık süreçte hidroliz hızının oldukça yüksek olduğu, sonrasında ise hızda belirgin bir azalma olduğu anlaşılmaktadır. Bu durum, kullanılan enzim özelliklerinin yanı sıra substrat tükenmesi ve reaksiyon ürünlerinin enzimin aktif bölgesine bağlanarak katalitik mekanizmaları olumsuz etkileyebilmesinden kaynaklanabilir (Tekle, 2022).



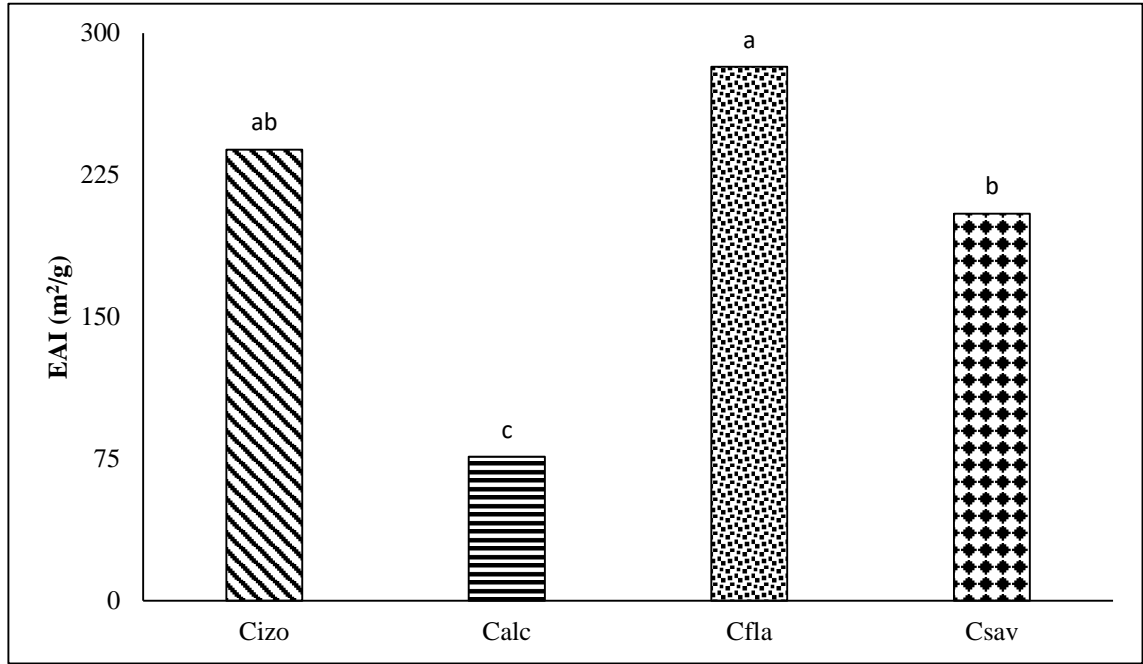
Şekil 4.1. Ceviz Unu Hidrolizatlarının Hidroliz Derecesi

4.2. Protein Miktarları

Yapılan analizde, ceviz ununun protein içeriği %42,00 (N×6,25) olarak belirlenmiştir. Bu değer, literatürde rapor edilen %38-45 aralığındaki değerlerle uyumludur (Zhu ve ark., 2006; Fan ve ark., 2022). Fan ve ark. (2022) tarafından yapılan bir çalışmada ceviz ununun protein içeriği %40 civarında tespit edilmiştir ve bu çalışmada elde edilen protein miktarıyla tutarlılık göstermekte ve kullanılan yöntemlerin güvenilirliğini desteklemektedir. İzolasyon işlemi sonrasında protein oranı %72,38’e yükselmiştir, bu da protein izolasyonunun başarılı bir şekilde gerçekleştiğini göstermektedir.

4.3.Emülsiyon Özelliklerine İlişkin Sonuçlar

Ceviz unu hidrolizatlarının EAI değerleri Şekil 4.2’de sunulmuştur. En yüksek EAI değeri flavorzyme ile elde edilen Cfla grubunda ($\sim 300 \text{ m}^2/\text{g}$), en düşük EAI değeri ise alcalase ile elde edilen Calc grubunda ($\sim 75 \text{ m}^2/\text{g}$) gözlemlenmiştir. Savinase enzimi ile elde edilen Csav grubunun EAI değeri ($\sim 150 \text{ m}^2/\text{g}$) ise orta düzeyde kalmıştır. Cfla enzim hidrolizi değeri istisna olmakla beraber hidrolize ceviz proteinlerinin EAI değerleri de düşmektedir ve her bir hidrolizat grubu ile o gruba ait peptid fraksiyonlarının EAI değerleri arasında istatistiksel anlamda önemli bir fark bulunmaktadır ($p < 0.05$). Dolayısıyla enzimatik hidroliz işleminin, Cizo’ dan hidrolizle üretilen hidrolizatların, Cfla hariç olmak üzere emülsiyon aktivitesini önemli ölçüde azalttığı görülmektedir. Emülsiyon Aktivite İndeksi (EAI) değerleri, proteinlerin moleküler ağırlığı ve amfifilik yapılarının emülsiyon oluşturma kapasitesi üzerindeki etkisini değerlendirmek açısından önemli bir göstergedir (Tekle, 2022).



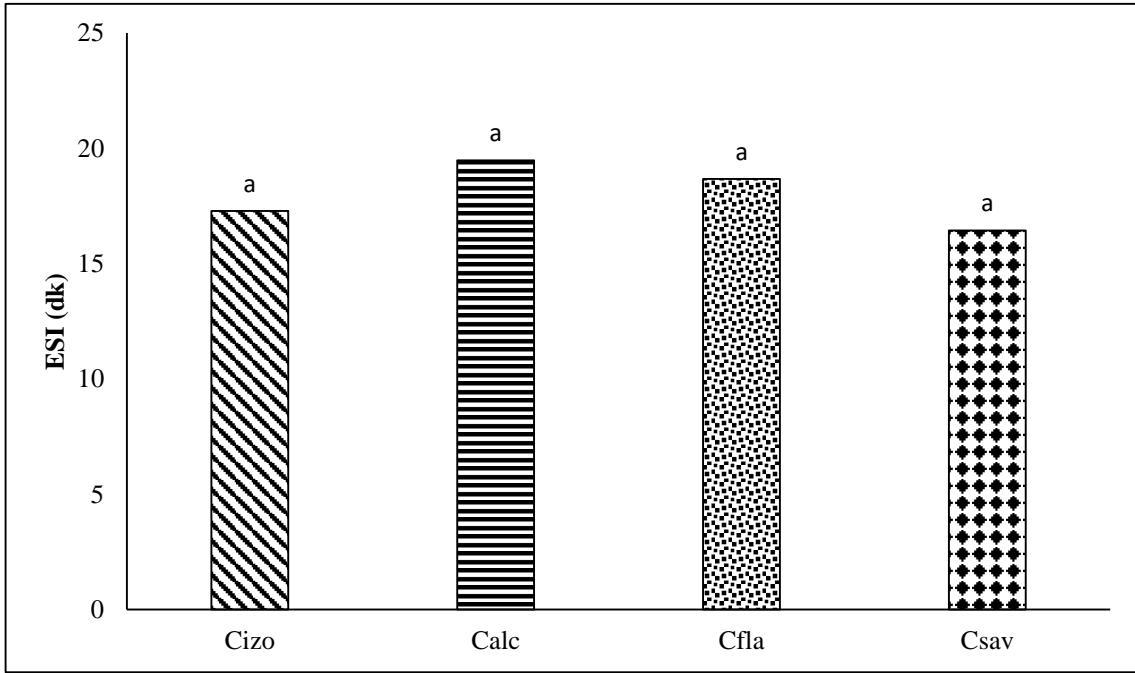
Şekil 4.2. Ceviz Hidrolizatlarının Emülsiyon Aktivite İndeksi Değerleri

Veriler, üç paralelin ortalaması \pm SD olarak ifade edilmiştir. Farklı harfler, numuneler arasındaki istatistiksel olarak anlamlı farklılıkları göstermektedir ($p < 0,05$). Cizo: Ceviz unu izolatu, Calc: Ceviz alcalase hidrolizatu, Cfla: Ceviz flavourzyme hidrolizatu, Csav: Ceviz savinase hidrolizatu.

Yüksek yüzey hidrofobikliği özelliklerine sahip olan ve yüksek moleküler ağırlıklı peptitlerin daha fazla bulunması, emülsiyon özelliklerinin iyileşmesine katkıda bulunmaktadır. Bu çalışmada, Cfla fraksiyonunun Calc fraksiyonuna kıyasla daha yüksek emülsiyon aktivitesi sergilediği gözlemlenmiştir. Bunun nedeni, kısa zincirli peptitlerin yüksek kararlılık göstermelerine ve arayüzde hızla adsorbe olmalarına rağmen, yeterli

düzeyde amfifilik özelliklere sahip olmamalarıdır. Dolayısıyla, bu tür peptitler, daha büyük moleküler ağırlığa sahip polipeptitler gibi arayüzde açılıp yeniden yönelme yeteneği gösteremedikleri için, arayüz gerilimini azaltmada daha az etkilidirler (Vásquez ve ark., 2022).

Ceviz unu izolat ve hidrolizatlarının emülsiyon stabilite indeksi (ESI) değerleri Şekil 4.3'te verilmiştir. ESI değerleri 16,44 dk ile 19,48 dk aralığında değişmektedir. ESI'da en yüksek değer Calc protein fraksiyonuna aitken, en düşük değer Csav protein fraksiyonundan elde edilmiştir. Tüm protein fraksiyonlarının ESI değerleri yaklaşık olarak birbirine yakındır ve istatistiksel olarak anlamlı bir farklılık göstermemektedir ($p>0.05$). Bu durum, ceviz unu hidrolizatındaki protein fraksiyonlarının emülsiyon stabilitesine katkılarının benzer olduğunu göstermektedir (Tekle, 2022).



Şekil 4.3. Ceviz Hidrolizatlarının Emülsiyon Stabilite İndeksi Değerleri

Veriler, üç paralelin ortalaması \pm SD olarak ifade edilmiştir. Farklı harfler, numuneler arasındaki önemli istatistiksel farklılıkları göstermektedir ($p < 0.05$). Cizo: Ceviz unu izolatu, Calc: Ceviz alcalase hidrolizatu, Cfla: Ceviz Favourzyme® hidrolizatu, Csav: Ceviz savinase hidrolizatu

Hidroliz derecesi ile EAI ve ESI arasındaki ilişki incelendiğinde, hidroliz derecesinin proteinlerin moleküler yapısını ve yüzey özelliklerini değiştirerek emülsiyon aktivitesi üzerinde önemli bir rol oynadığı görülmektedir. EAI ve ESI değerleri literatürde bildirilen bulgularla karşılaştırıldığında, flavorzyme enziminin düşük hidroliz derecesine rağmen yüksek EAI değerleri sağlaması, literatürde flavorzyme'nin proteinlerin yüzey aktif özelliklerini iyileştirdiğini belirten çalışmalarla uyumludur.

Örneğin, Chen ve ark. (2011), flavorzyme ile hidroliz edilen soya protein izolatlarının emülsiyon aktivitesini artırdığını ve bu etkinin daha küçük peptitlerin yağ-su ara yüzeyinde daha kolay yerleşmesiyle ilişkili olduğunu göstermiştir.

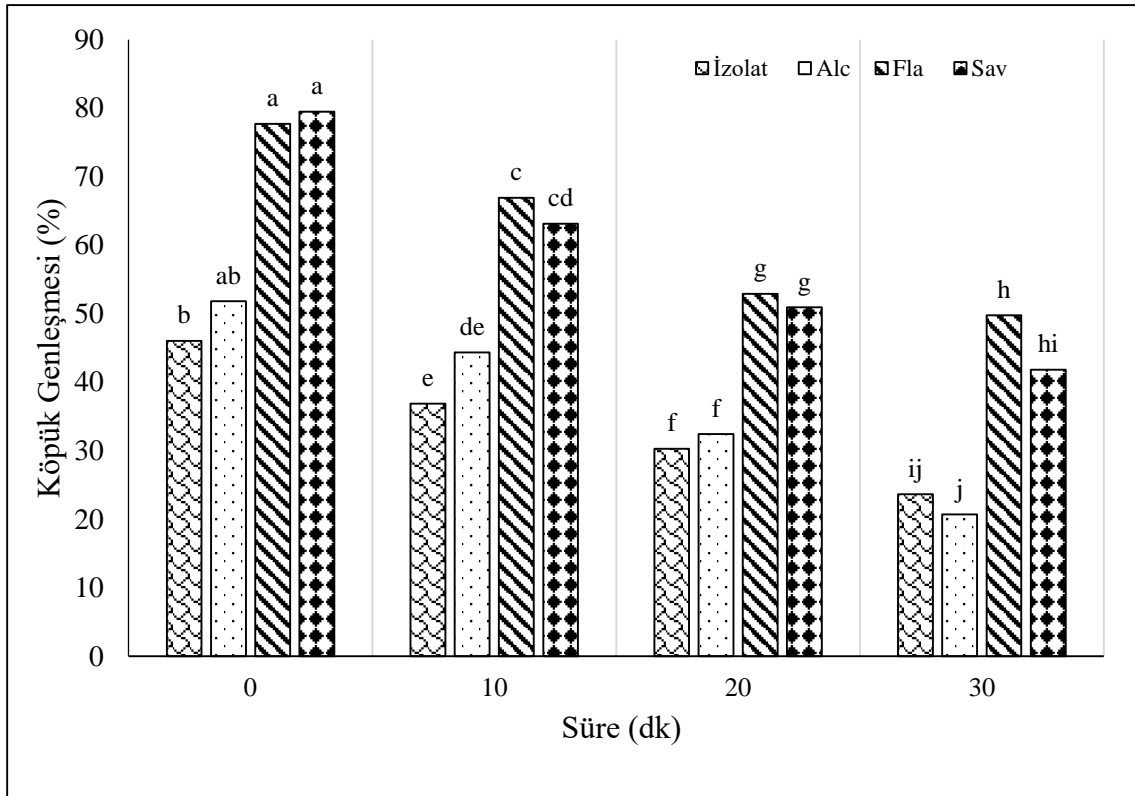
Savinase enzimi ile elde edilen orta düzeydeki EAI değeri, bu enzimin yüksek hidroliz derecesine rağmen proteinlerin yüzey aktif özelliklerini flavorzyme kadar etkili bir şekilde artırmadığını göstermektedir. Çalışmamızda ki bulgular göstermiştir ki savinase enzimi en yüksek hidroliz derecesine (%22,59) sahip olmasına rağmen Csav grubunun EAI değeri flavorzyme ile elde edilen Cfla grubuna kıyasla daha düşük kalmıştır. Benzer şekilde, Zhang ve ark. (2018) tarafından yapılan bir çalışmada, savinase ile hidroliz edilen proteinlerin, yüksek hidroliz derecesi nedeniyle daha küçük peptitlere ayrıldığı ve bu durumun yüzey aktif özelliklerde azalmaya neden olduğu belirtilmiştir.

Bulgular da göstermiştir ki hidroliz derecesi, proteinlerin moleküler yapısını ve yüzey özelliklerini değiştirerek emülsiyon aktivitesi üzerinde önemli bir rol oynarken, emülsiyon stabilitesi üzerindeki etkisi daha sınırlı kalmaktadır. Savinase enzimi yüksek hidroliz derecesi sağlarken, flavorzyme enzimi düşük hidroliz derecesine rağmen yüksek EAI değeri sunarak yüzey aktif özelliklerde bir avantaj sağlamıştır. Ancak, ESI değerleri açısından hidroliz derecesinin etkisinin sınırlı olduğu görülmektedir.

4.4. Köpük Oluşturma Kapasitesi ve Stabilitesi

Çalışmamızda, ceviz izolatu ve hidrolizatlarına ait köpük kapasitesi ve stabilitesi sonuçları Şekil 4.4'te verilmiştir. Köpük oluşturma kapasitesi değerleri %45,99 ile %79,46 arasında değişim göstermiştir ve en yüksek kapasite, savinase enzimi ile hidrolize edilen Csav fraksiyonunda tespit edilmiştir. Buna karşın, en düşük köpük oluşturma Cizo fraksiyonunda gözlemlenmiştir. Elde edilen veriler, enzimatik hidroliz uygulamasının kontrol örneği olan ceviz protein izolatına kıyasla köpük oluşturma kapasitesini önemli ölçüde artırdığını göstermiştir. Köpük stabilitesi değerleri 10, 20 ve 30. dk sonunda tespit edilmiştir. Köpük oluşturma kapasitesi ve stabilitesi, proteinlerin yüzey aktif özellikleri ve moleküler yapıları ile yakından ilişkilidir. Çalışmamızda, ceviz protein izolatu ve farklı enzimatik hidrolizatlarının köpük oluşturma kapasiteleri ve stabiliteyi değerlendirilmiştir. Her üç süre sonunda da en yüksek köpük stabilitesi Favourzyme® (Cfla) hidrolizatlarında bulunurken en düşük değer 10 ve 20. dk sonunda Cizo ve 30. dk sonunda ise Calc numunelerinde tespit edilmiştir. Ayrıca süre uzadıkça köpük stabilitesinde önemli bir azalma olduğu görülmektedir.

Köpük kapasitesi ve stabilitesi, proteinlerin moleküler ağırlığı ve yapısal bütünlüğü ile doğrudan ilişkilidir. Daha büyük moleküler ağırlığa sahip proteinler, hava-su arayüzünde daha güçlü ve stabil bir film oluşturarak köpük stabilitesini artırırken, küçük peptitler bu stabiliteyi sağlamada yetersiz kalmaktadır. Bu durum, hidrofobik amino asitler açısından zengin olan protein fraksiyonlarının, yüzey aktif özelliklerini artırarak hava-su arayüzünde daha etkili bir film oluşturduğunu ve dolayısıyla köpük oluşumunu desteklediğini ortaya koymaktadır (Van der Ven ve ark., 2002; Martínez ve ark., 2009; Delahaije ve Wierenga, 2022).



Şekil 4.4. Ceviz İzolat ve Hidrolizatları Köpük Oluşturma Kapasite ve Stabilite Değerleri

Veriler, üç paralelin ortalaması±SD olarak ifade edilmiştir. Farklı harfler, numuneler arasındaki önemli istatistiksel farklılıkları göstermektedir ($p < 0.05$). Cizo: Ceviz unu izolatu, Calc: Ceviz alcalase hidrolizatı, Cfla: Ceviz flavourzyme hidrolizatı, Csav: Ceviz savinase hidrolizatı.

Köpük oluşturma kapasitesindeki bu durum, literatürdeki soya protein hidrolizatları ve yumurta akı proteinleri üzerine yapılan çalışmalarla paralellik göstermektedir. Örneğin, Martínez ve ark. (2009) tarafından yapılan çalışmada, hidrofobik amino asitlerin zengin olduğu fraksiyonların köpük kapasitesini arttırdığı belirtilmiştir. Benzer şekilde Jin ve ark. (2023) tarafından yumurta akı proteinleri üzerine yapılan çalışmada, hidrofobik amino asitlerin köpük oluşumu ve stabilitesini artırdığı

vurgulanmıştır. Çalışmamızda elde edilen bulgular bu literatür verileri ile uyumlu sonuçlar ortaya koymuştur. Dimitrijev-Dwyer ve ark. (2012) ile Makinen ve ark. (2014) tarafından yapılan çalışmalarda da enzimatik hidroliz işlemi, proteinlerin moleküler ağırlığını azaltmış ve yapısal bütünlüğünü bozarak yüzey aktif özelliklerini zayıflatmış ve köpük stabilitesini olumsuz etkilemiştir. Özellikle küçük moleküler ağırlıklı peptitlerin hava-su arayüzünde yeterince güçlü bir tabaka oluşturamadığı ve bu durumun köpüğün zamanla çökmesine neden olduğu tespit edilmiştir. Köpük oluşumu ve stabilitesi yalnızca proteinlerin moleküler özelliklerinden değil, aynı zamanda çevresel faktörlerden de etkilenmektedir. Literatürde, pH ve iyonik kuvvet gibi faktörlerin proteinlerin yüzey aktif özelliklerini ve köpük oluşturma kapasitelerini önemli ölçüde etkilediği belirtilmiştir. Örneğin, hardal protein izolatında pH değişimlerinin yüzey hidrofobitesini etkilediği ve köpük oluşturma kapasitesini artırdığı gözlemlenmiştir (Aider ve ark., 2012; Kolpakova ve ark., 2024). Benzer şekilde, yulaf proteinlerinde pH 7'de oluşan hidrofobik tabakanın köpük stabilitesini artırdığı belirtilmiştir (Brückner-Gühmann ve ark., 2018).

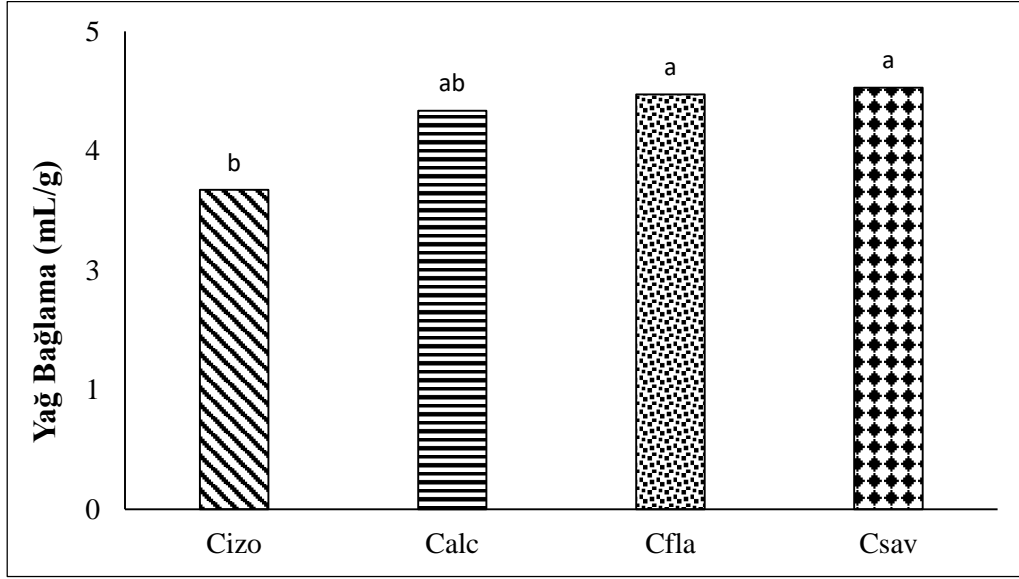
4.5. Yağ Bağlama Kapasitesi

Ceviz unu protein hidrolizatlarının yağ bağlama kapasitesi Şekil 4.5'te verilmiştir. Yağ bağlama kapasitesi değerleri 3.33 ± 0.09 ile 4.41 ± 0.14 mL yağ/g protein arasında değişmektedir. En yüksek yağ bağlama kapasitesi Csav numunesinde belirlenirken en düşük değer Cizo numunesinde tespit edilmiştir. Ceviz izolatına kıyasla enzimatik hidrolizin tüm hidrolizat numunelerinde yağ bağlama kapasitesini önemli düzeyde artırdığı görülmektedir ($p < 0.05$). Özellikle de Calc, Cfla ve Csav peptid fraksiyonları iyi bir yağ bağlama kapasitesi sergilemiş; enzimatik hidroliz işlemi protein yapısını değiştirerek hidrofobik bölgelerin açığa çıkmasını sağlamış ve yağ moleküllerine daha iyi bağlanma durumunu oluşturmuştur (Razali ve ark., 2015).

Zhang ve ark. (2022) çalışmasında, bitki protein hidrolizatlarının işlevselliğini artırmak için alkalaz, Favourzyme® ve papain gibi proteazlar kullanmış ve bu enzimlerin yağ bağlama kapasitesi üzerindeki etkileri incelenmiştir; soya proteini, alkalaz enzimi ile en yüksek yağ bağlama kapasitesi ($4,8 \pm 0,2$ mL yağ protein) gösterirken bezelye proteininden daha düşük yağ bağlama kapasitesi ($4,3 \pm 0,1$ mL yağ/g protein) değeri elde edilmiştir.

Çalışmamızda elde edilen hidrolizat numunelerinden literatüre uyumlu sonuçlar elde edilmiştir. Ayrıca sonuçlar, susam küspesi ve hamsi işleme atıklarından elde edilen protein hidrolizatları gibi farklı kaynaklardan elde edilen hidrolizatların yağ bağlama

kapasitesi üzerine yapılan çalışmalarla benzerlik göstermektedir (Demirhan Yılmaz, 2012; Koç, 2016). Molekül ağırlığının düşmesine neden olan yüksek hidroliz derecesi, daha az yağ emilimi nedeniyle yağ bağlama kapasitesinin düşmesine sebep olur (Honrado ve ark., 2024). Ayrıca aşırı hidrolizin, protein yapısının bütünlüğünü tehlikeye attığı ve yağı hapsetmek için oluşturulan protein ağının bozulmasına neden olduğu belirtilmiştir (Hu ve ark., 2013).



Şekil 4.5. Ceviz İzolat ve Hidrolizatlarının Yağ Bağlama Kapasitesi

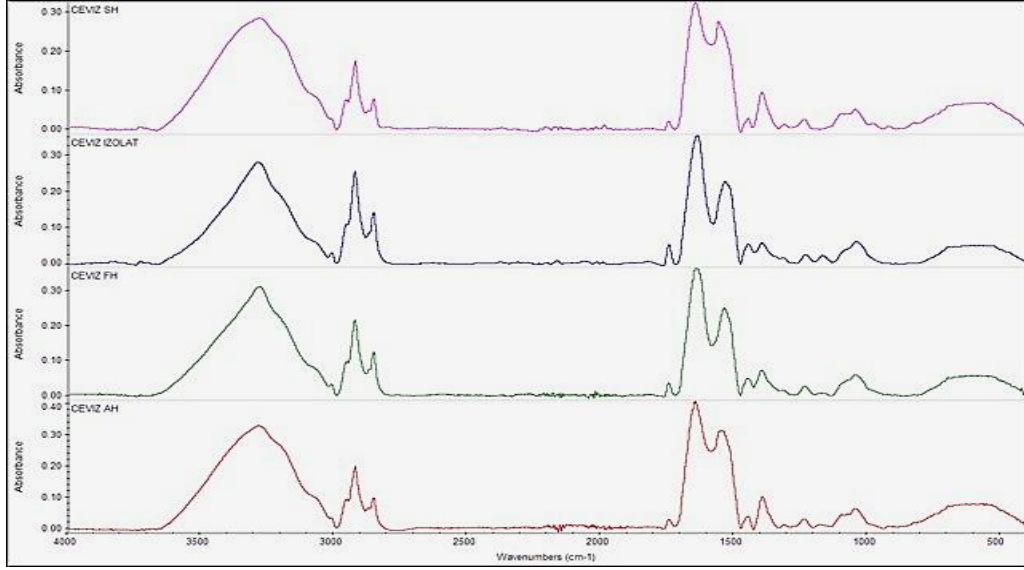
Veriler, üç paralelin ortalaması \pm SD olarak ifade edilmiştir. Farklı harfler, numuneler arasındaki önemli istatistiksel farklılıkları göstermektedir ($p < 0.05$). Cizo: Ceviz unu izolatu, Calc: Ceviz alcalase hidrolizatu, Cfla: Ceviz Favourzyme® hidrolizatu, Csav: Ceviz savinase hidrolizatu.

4.6. Fourier Transform Infrared (FTIR) Spektroskopisi Sonuçları

Ceviz izolat ve hidrolizatlarının FTIR spektrumları ve amide I, II ve III bölgeleri Şekil 4.6'da verilmiştir. Amide I bandı, genellikle C=O ve C-N gerilme titreşimlerinden kaynaklanır ve bu bölgedeki absorpsiyon, infrared spektroskopi kullanılarak proteinlerin sekonder yapısının belirlenmesinde önemli bir rol oynar.

Bu çalışmada, Amide I bandının dalga sayısı Cizo 1637 cm^{-1} , alcalase 1644 cm^{-1} , Cfla ise 1643 cm^{-1} , Csav 1646 cm^{-1} aralığında tespit edilmiştir. Amide II bandı ise N-H gruplarının bükülme titreşimleri ve C-N gruplarının gerilme titreşimlerinden kaynaklanmaktadır. Bu çalışmada, Cizo 1534 cm^{-1} , Calc 1548 cm^{-1} , Cfla 1537 cm^{-1} , Csav ise 1558 cm^{-1} aralığında gözlenmiştir. Amide III bandı, glisin omurgası, prolin yan zincirleri ve CH₂ gruplarının titreşim gerilmeleri ile amid bağlarından kaynaklanan C-N germe titreşimleri ve N-H deformasyonu arasındaki kombinasyon piklerini içerir (Tekle,

2022). Çalışmamızda Amide III bandı Cizo 1231 cm^{-1} , Calc 1234 cm^{-1} , Cfla 1234 cm^{-1} , Csav ise 1236 cm^{-1} aralığında tespit edilmiştir. Elde edilen sonuçlar değerlendirildiğinde ceviz unundan protein izolasyonun başarılı bir şekilde gerçekleştiğini ve ilgili piklerin net bir şekilde ortaya çıktığı görülmektedir. Bulgular Zhang ve ark. (2022) tarafından yapılan çalışmada elde edilen sonuçlar ile uyum göstermektedir. Bu durum çalışmanın literatüre uygunluğunu desteklemektedir.



Şekil 4.6. Ceviz İzolat ve Hidrolizatlarının FTIR spektrumları

Veriler, üç paralelin ortalaması \pm SD olarak ifade edilmiştir. Farklı harfler, numuneler arasındaki önemli istatistiksel farklılıkları göstermektedir ($p < 0.05$). Cizo: Ceviz unu izolatu, Calc: Ceviz alcalase hidrolizati, Cfla: Ceviz Favourzyme® hidrolizati, Csav: Ceviz savinase hidrolizati

Literatürde, bitkisel proteinler için Amide I bandının genellikle 1600-1700 cm^{-1} aralığında olduğu, soya proteini için 1640-1650 cm^{-1} , badem proteini için 1635-1645 cm^{-1} ve bezelye proteini için 1642 cm^{-1} olduğu rapor edilmiştir. Amide II bandı için bu aralığın genellikle 1500-1600 cm^{-1} olduğu belirtilmiş, soya proteini için 1540-1550 cm^{-1} , badem proteini için 1535-1545 cm^{-1} ve bezelye proteini için 1542 cm^{-1} olduğu bildirilmiştir. Çalışmalarda, Amide III bandının genellikle 1200-1300 cm^{-1} aralığında olduğu, soya proteini için 1230-1240 cm^{-1} , badem proteini için 1230-1235 cm^{-1} ve bezelye proteini için 1234 cm^{-1} olduğu rapor edilmiştir (Jackson ve Mantsch, 1995; Krasteva ve Barth, 2007;; Mäkinen ve ark., 2016; Kadam ve ark., 2017). Bu durum, ceviz proteininin izolasyon ve hidroliz işlemleri sırasında yapısal bütünlüğünü koruduğunu ve FTIR analizinin proteinlerin sekonder yapısını değerlendirmede güvenilir bir yöntem olduğunu göstermektedir. Amide I, II ve III bölgelerinde gözlenen net pikler, proteinlerin

yapısal bütünlüğünün bozulmadığını göstermektedir. Bu durum, ceviz proteininin gıda endüstrisinde potansiyel bir protein kaynağı olarak kullanılabilceğini ve fonksiyonel protein bazlı ürünlerin geliştirilmesine katkı sağlayabileceğini işaret etmektedir.

4.7. İzolat ve Hidrolizatlarının Renk Özellikleri

Bu çalışmada ceviz izolat ve hidrolizatlarının renk özellikleri L^* , a^* , b^* , Chroma ve Hue değerleri kullanılarak analiz edilmiştir. Özellikle Cfla örneğinin L^* değeri (50.12 ± 0.90), diğer örneklerden belirgin şekilde yüksek bulunmuştur. Csav örnekleri, 42.65 ± 0.19 L^* değeri ile daha düşük parlaklık göstermiştir. Bu fark, işlem türünün protein yapısı üzerindeki etkisini yansıtmaktadır. Numunelerin a^* değerleri 6.06 ± 0.18 ile 9.36 ± 0.12 arasında; b^* değerleri 19.29 ± 0.15 ile 22.32 ± 0.12 arasında; Chroma değerleri ise 20.45 ± 0.09 ile 24.21 ± 0.16 arasında değişmekte olup aralarındaki fark istatistiksel olarak anlamlı bulunmuştur ($p < 0.05$). ΔE değerlerinde ise Cfla'nın anlamlı bir farklılık gösterdiği görülmektedir (Tablo 4.1). Gıda kalitesini belirleyen temel özelliklerinden biri de gıdanın rengidir. Gıdaların renk özellikleri L^* , a^* , b^* veya doygunluk (Chroma) ve ton açısı (Hue) değerleriyle ifade edilmektedir. Bu çalışmada ceviz izolat ve hidrolizat tozlarının renk analizi değerleri Tablo 4.1'de verilmiştir. Sze-Tao (1996) ceviz proteinlerinin renk özelliklerini incelerken, L^* değerlerinin 40-50 aralığında olduğunu bildirmiştir.

Tablo 4.1. Ceviz İzolat ve Hidrolizatlarının Renk Analizi Değerleri

Numune	L^*	a^*	b^*	ΔE	Chroma	Hue
Cizo	44.4 ± 0.94^a	7.36 ± 0.07^a	20.46 ± 0.31^a	-	21.74 ± 0.27^a	70.21 ± 0.42^a
Calc	43.15 ± 1.03^a	6.79 ± 0.15^b	19.29 ± 0.15^b	1.95 ± 0.87^a	20.45 ± 0.09^b	70.6 ± 0.54^a
Cfla	50.12 ± 0.90^b	6.06 ± 0.18^c	21.51 ± 0.21^c	5.96 ± 0.43^b	22.35 ± 0.22^c	74.25 ± 0.42^b
Csav	42.65 ± 0.19^a	9.36 ± 0.12^d	22.32 ± 0.12^d	3.35 ± 0.31^a	24.21 ± 0.16^d	67.25 ± 0.16^c

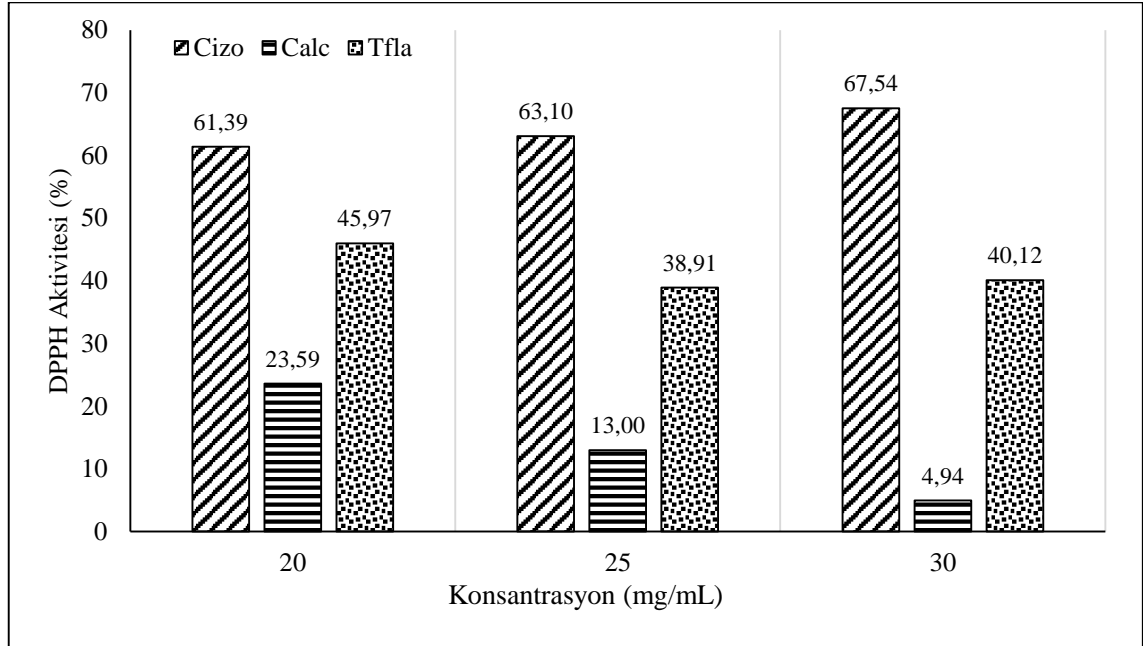
Veriler, üç paralelin ortalaması \pm SD olarak ifade edilmiştir. Aynı sütundaki farklı harfler, numuneler arasındaki önemli istatistiksel farklılıkları göstermektedir ($p < 0.05$). Cizo: Ceviz unu izolatu, Calc: Ceviz alcalase hidrolizatu, Cfla: Ceviz Favourzyme® hidrolizatu, Csav: Ceviz savinase hidrolizatu.

Bu sonuç, çalışmamızda elde edilen L^* değerleri (42.65 ± 0.19 ile 50.12 ± 0.90) ile uyumludur. Parlaklık değerleri (L^*), ceviz hidrolizatlarının işlem türüne bağlı olarak değişkenlik göstermiştir. Bu durum, enzimatik hidroliz işleminin protein yapısı üzerindeki etkisiyle açıklanabilir. Bu sonuçlar, enzimatik hidrolizin yapısal

modifikasyonları tetikleyerek renk profillerinde belirgin değişimlere yol açtığını göstermektedir (Derkach ve ark., 2022).

4.8. Antioksidan Aktivite Düzeyleri

DPPH, 517 nm'de güçlü bir emilim bandı veren kararlı bir radikaldir. DPPH radikalleri antioksidan gibi proton veren bir substratla karşılaştığında, radikaller temizlenir ve emilim azalır (Ramezanzade ve ark., 2018). Cizo, Calc ve Cfla numunelerinin DPPH radikal süpürme aktiviteleri Şekil 4.7'de verilmiştir. Ancak Csav numunesinde antioksidan aktivite tespit edilememiştir. DPPH radikal giderme aktivitesi, % 4,94 ile % 67,54 aralığında değişmektedir. En yüksek DPPH aktivitesi Cizo numunesine aitken, en düşük değer Calc numunesinde ölçülmüştür.



Şekil 4.7. Ceviz İzolat ve Hidrolizatlarının DPPH Aktivitesi

Veriler, üç paralelin ortalaması±SD olarak ifade edilmiştir. Aynı sutundaki farklı harfler, numuneler arasındaki önemli istatistiksel farklılıkları göstermektedir ($p < 0.05$). Cizo: Ceviz unu izolatu, Calc: Ceviz alcalase hidrolizatu, Cfla: Ceviz Favourzyme® hidrolizatu, Csav: Ceviz savinase hidrolizatu.

Cizo numunesinin tüm konsantrasyonlarda en yüksek aktiviteyi göstermesi, bu numunenin güçlü bir antioksidan kapasiteye sahip olduğunu göstermektedir. Cfla numunesi ise orta derecede bir aktivite sergilerken, Calc numunesi en düşük aktiviteye sahip olmuştur. Cizo'nun yapısında bulunan fenolik bileşikler veya diğer antioksidan moleküller, bu yüksek aktivitenin temel nedeni olabilir. Ayrıca, konsantrasyon arttıkça aktivitenin artması, Cizo'nun antioksidan etkisinin doza bağlı olduğunu ortaya

koymaktadır. Calc numunesi ise %4,94 ile %23,59 arasında değişen en düşük DPPH radikal süpürme aktivitesine sahiptir.

Yapılan analizlerde, Calc numunesinin en düşük DPPH radikal süpürme aktivitesine sahip olduğu belirlenmiştir. Konsantrasyon artışıyla birlikte gözlenen aktivitedeki azalma, Calc numunesinin antioksidan etkinliğinin yüksek konsantrasyonlarda düştüğünü göstermektedir. Bu durum, Calc bileşimindeki aktif bileşenlerin yüksek konsantrasyonlarda etkinliklerini kaybetmesi veya toksik etkilerin ortaya çıkması ile ilişkilendirilebilir. Elde edilen bulgular, Liu ve ark. (2019) tarafından Alcalase enzimi kullanılarak hazırlanan protein hidrolizatlarının %50 DPPH radikal temizleme aktivitesi sonuçlarıyla paralellik göstermektedir. Ayrıca, Cumby ve ark. (2008) tarafından Alcalase enzimi kullanılarak hazırlanan soya protein hidrolizatlarında rapor edilen düşük DPPH radikal temizleme aktivitesi sonuçlarıyla da uyumludur.

Bu numunenin antioksidan potansiyelinin sınırlı olduğunu ortaya koymaktadır. Cfla numunesi, orta düzeyde bir DPPH radikal süpürme aktivitesi sergilemiştir. Cfla numunesi ise konsantrasyona bağlı olarak dalgalı bir seyir izlemiş, bu durum numunenin bileşimindeki aktif bileşenlerin farklı özelliklere sahip olabileceğini ortaya koymuştur. Chen ve ark. (2023) tarafından yapılan bir çalışmada, Favourzyme® ile hidrolize edilen ceviz protein hidrolizatının DPPH radikal süpürme aktivitesi %69.07 olarak ölçülmüştür. Favourzyme® ile elde edilen hidrolizatlar, diğer enzimlerle (örneğin Alcalase, Protamex) karşılaştırıldığında, DPPH radikal süpürme aktivitesi açısından daha yüksek performans göstermiştir. Bu durum, Favourzyme®'in antioksidan peptit üretiminde etkili bir enzim olduğunu ortaya koymaktadır (Fan ve ark., 2022; Liu ve ark., 2023). Çalışmamızda daha düşük sonuçlar elde edilmiştir (Şekil 4.7).

4. SONUÇ VE ÖNERİLER

Ceviz protein hidrolizatlarının üretimi ve özelliklerinin belirlenmesi üzerine yapılan bu çalışma, iç ceviz atıklarının fonksiyonel ve biyoaktif özelliklere sahip yüksek katma değerli ürünlere dönüştürülebileceğini göstermektedir. Savinase, alcalase ve Favourzyme® enzimleri kullanılarak gerçekleştirilen enzimatik hidroliz işlemleri, proteinlerin moleküler yapısını değiştirerek biyoaktif peptitlerin oluşumunu desteklemiş ve bu peptitlerin fonksiyonel gıda uygulamaları için uygunluğunu ortaya koymuştur. Hidroliz derecesi, enzim türüne ve süreye bağlı olarak değişiklik göstermiştir. En yüksek hidroliz derecesi savinase enzimi ile olarak tespit edilmiştir. Bu durum, savinase enziminin ceviz proteinlerinin parçalanmasında yüksek etkinlik gösterdiğini ortaya koymaktadır.

Fonksiyonel özellikler açısından, ceviz protein hidrolizatlarının emülsiyon aktivite indeksi (EAI) ve köpük oluşturma kapasitesi gibi özellikleri dikkat çekmiştir. Favourzyme® enzimi ile hidrolize edilmiş örnekler, en yüksek emülsiyon aktivitesine ulaşırken, köpük oluşturma kapasitesi açısından savinase enzimi en iyi sonuçları vermiştir. Bunun yanı sıra, yağ bağlama kapasitesinde de önemli artışlar gözlemlenmiştir. Yağ bağlama kapasitesi, özellikle düşük hidroliz derecesine sahip örneklerde daha yüksek bulunmuş ve bu durum, düşük moleküler ağırlıklı peptitlerin yağ tutma kapasitesini artırdığı literatürle uyumlu bir şekilde doğrulanmıştır.

Antioksidan aktivite analizleri, ceviz protein hidrolizatlarının serbest radikal giderme kapasitesini ortaya koymuştur. DPPH analizinde, özellikle Cizo örneği yüksek bir antioksidan aktivite göstermiştir. Bu durum, Cizo'nun fenolik bileşikler ve hidrofobik amino asitler açısından zengin olduğunu düşündürmektedir. Bu yapısal değişiklikler, peptitlerin antioksidan aktivitelerini artırmada etkili olmuştur.

Bu çalışmanın sonuçları, ceviz protein hidrolizatlarının hem akademik hem de endüstriyel alanda geniş bir potansiyele sahip olduğunu göstermektedir. İlk olarak, ceviz protein hidrolizatlarının gıda endüstrisinde fonksiyonel bileşenler olarak kullanılması önerilmektedir. Özellikle, yüksek emülsiyon aktivitesine sahip Favourzyme® hidrolizatları, soslar, mayonez gibi emülsiyon gerektiren ürünlerde kullanılabilir. Savinase ile elde edilen hidrolizatlar ise köpük oluşturma kapasitesi yüksek olduğu için içecek ve tatlı endüstrisinde değerlendirilebilmektedir. Ayrıca, yüksek antioksidan kapasiteye sahip Cizo fraksiyonu, fonksiyonel gıdalar ve farmasötik ürünlerde doğal antioksidan kaynağı olarak kullanılabilir.

Hidroliz süreçlerinin optimizasyonu, istenilen fonksiyonel özelliklere göre yapılmalıdır. Köpük kapasitesini artırmak için savinase, emülsiyon özelliklerini geliştirmek için Favourzyme® tercih edilebilir. Bunun yanı sıra, hidroliz işlemlerinin endüstriyel ölçekte uygulanabilirliği incelenmeli ve ekonomik fizibilite çalışmaları yapılmalıdır. Özellikle, kullanılan enzimlerin maliyeti ve enerji tüketimi gibi faktörler göz önünde bulundurularak sürdürülebilir bir üretim süreci tasarlanmalıdır.

Ceviz protein hidrolizatlarının biyolojik aktiviteleri üzerine daha fazla araştırma yapılması gerekmektedir. Özellikle, antiinflamatuvar, antihipertansif ve nöroprotektif etkiler gibi potansiyel sağlık yararlarının araştırılması önemlidir. Ayrıca, peptitlerin moleküler yapılarının antioksidan aktiviteleri üzerindeki etkilerini anlamak için ileri düzey moleküler doku analizleri yapılmalıdır.

Son olarak, iç ceviz atıklarının değerlendirilmesi, çevresel sürdürülebilirliğe katkı sağlayacak ve atık yönetimi problemlerini azaltacaktır. Bu nedenle, ceviz protein hidrolizatlarının üretimi, yalnızca ekonomik kazanç sağlamakla kalmayıp, aynı zamanda çevresel faydalar da sunacaktır. Bu bağlamda, ceviz protein hidrolizatlarının daha geniş bir uygulama alanına sahip olması için hem akademik hem de endüstriyel iş birliği teşvik edilmelidir.

5. KAYNAKÇA

- Adler-Nissen, J. (1986). *Enzymic hydrolysis of food proteins* Elsevier Applied Science Publishers, New York (1986), pp. 110-169
- Aider, M., Djenane, D., Ounis, W. B. (2012). Amino acid composition, foaming, emulsifying properties and surface hydrophobicity of mustard protein isolate as affected by pH and NaCl. *International Journal of Food Science Technology*, 47(5), 1028-1036.
- Alcorta, A., Porta, A., Tárrega, A., Alvarez, M. D., & Vaquero, M. P. (2021). Foods for plant-based diets: Challenges and innovations. *Foods*, 10(2), p. 293.
- Arslan, B., Görgüç, A., Yılmaz, F. M. (2023). Proteinlerin karbonhidrat ve polifenollerle konjugasyonu. *ADÜ Fen ve Mühendislik Bilimleri Dergisi*, 1(2), 50-61.
- Ayala-Zavala, J. F. N., Vega-Vega, V., Rosas-Domínguez, C., Palafox-Carlos, H., Villa-Rodríguez, J. A., Siddiqui, M. W., González-Aguilar, G. A. (2011). Agro-industrial potential of exotic fruit byproducts as a source of food additives. *Food Research International*, 44(7), 1866-1874.
- Aydemir, L. Y., Gökbulut, A. A., Baran, Y., Yemenicioğlu, A. (2014). Bioactive, functional and edible film-forming properties of isolated hazelnut (*Corylus a vellana L.*) meal proteins. *Food Hydrocolloids*, 36, 130-142.
- Aydınoğlu, F. (2018). *Latin Amerika ve Anadolu toplumlarında zeytin ve zeytinyağının yerinin kültürel ve ekonomik açıdan karşılaştırılması olarak değerlendirilmesi* (Yüksek lisans tezi, Ankara Üniversitesi). Ankara Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü.
- Balcı, I., Balta, F., Kazankaya, A., Şen, S. M. (2001). Promising native walnut genotypes (*Juglans regia L.*) of the east black sea region of Turkey. *Journal of the American Pomological Society*, 55(4), 204.
- Balta, M. F., Dogan, A., Kazankaya, A., Ozrenk, K., Celik, F. (2007). Pomological definition of native walnuts (*Juglans regia L.*) grown in Central Bitlis.
- Başer, S., Kazankaya, A., Doğan, A., Yaviç, A., Çelik, F. (2016). Van Gölü Havzasında soğuklara dayanıklı ceviz (*Juglans regia L.*) genotiplerinin bazı fiziksel ve kimyasal özellikleri. *YYÜ Journal of Agricultural Science*, 26(4), 632-641.
- Bayazit, S., Tefek, H., Çalışkan, O. (2016). Türkiye’de ceviz (*Juglans regia L.*) araştırmaları. *Ziraat Fakültesi Dergisi*, 11(1), 169-179.
- Berns, R. S. (2019). *Principles of Color Technology* (4th ed.). Wiley.
- Brückner-Gühmann, M., Heiden-Hecht, T., Sözer, N., Drusch, S. (2018). Foaming characteristics of oat protein and modification by partial hydrolysis. *European Food Research and Technology*, 244, 2095-2106.
- Burbano, J. J., Cabezas, D. M., Correa, M. J. (2024). Characterization and techno-functional properties of high protein walnut flour from an oil by-product. *Plant Foods for Human Nutrition*, 1-9.
- Cabi, A. (2023). *Sığır et yan ürünlerinden enzimatik hidroliz yöntemi ile elde edilen protein hidrolizatlarının bazı kalite ve fonksiyonel özelliklerinin belirlenmesi* (Doktora Tezi, Selçuk Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Gıda Mühendisliği Anabilim Dalı).
- Chalamaiah, M., Dinesh Kumar, B., Hemalatha, R., Jyothirmayi, T. (2012). Fish protein hydrolysates: Proximate composition, amino acid composition, antioxidant activities and applications: A review. *Food Chemistry*, 135(4), 3020–3038. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2012.06.100>

- Cebi, N., Durak, M. Z., Toker, O. S., Sagdic, O., Arici, M. (2016). An evaluation of Fourier transforms infrared spectroscopy method for the classification and discrimination of bovine, porcine and fish gelatins. *Food Chemistry*, 190, 1109-1115.
- Chen, L., Chen, J., Ren, J., Zhao, M. (2011). Modifications of soy protein isolates using combined extrusion pre-treatment and controlled enzymatic hydrolysis for improved emulsifying properties. *Food Hydrocolloids*, 25(5), 887-897.
- Chen, M., Ma, A., Sun, Z., Xie, B., Shi, L., Chen, S., Wu, W. (2023). Enhancing activity of food protein-derived peptides: An overview of pretreatment, preparation, and modification methods. *Comprehensive Reviews in Food Science and Food Safety*, 22(6), 4698-4733.
- Chen, N., Yang, H., Sun, Y., Niu, J., Liu, S. (2012). Purification and identification of antioxidant peptides from walnut (*Juglans regia L*) protein hydrolysates. *Peptides*, 38(2), 344-349. <https://doi.org/10.1016/j.peptides.2012.09.017>
- Chi, C. F., Wang, B., Deng, Y. Y., Wang, Y. M., Deng, S. G., Ma, J. Y. (2014). Isolation and characterization of three antioxidant pentapeptides from protein hydrolysate of monkfish (*Lophius litulon*) muscle. *Food Research International*, 55, 222-228.
- Cicero, A. F., Fogacci, F., Colletti, A. (2017). Potential role of bioactive peptides in prevention and treatment of chronic diseases: A narrative review. *British Journal of Pharmacology*, 174(11), 1378-1394.
- CIE (Commission Internationale de l'Éclairage). (2004). *Colorimetry* (3rd ed.). CIE Central Bureau.
- Cumby, N., Zhong, Y., Naczki, M., Shahidi, F. (2008). Antioxidant activity and water-holding capacity of canola protein hydrolysates. *Food Chemistry*, 109(1), 144-148
- Czelej, M., Garbacz, K., Czernecki, T., Wawrzykowski, J., Waśko, A. (2022). Protein hydrolysates derived from animals and plants—a review of production methods and antioxidant activity. *Foods*, 11(13), 1953
<https://doi.org/10.3390/foods11131953>
- Czwartkowski, K., Wierzbic, A., Golimowski, W. (2022). Quality, key production factors, and consumption volume of niche edible oils marketed in the European Union. *Sustainability*, 14(3), 1846.
- Damodaran, K. L. Parkin (Eds.). Boca Raton: CRC press. Fennema, O. R. (2008). *Fennema's food chemistry*. S.
- Damodaran, S., Parkin, K. L. (2017). Amino acids, peptides, and proteins. In *Fennema's food chemistry* (pp. 235-356). CRC press.
- Dara, P. K., Elavarasan, K., Aswathnarayan Shamasundar, B. (2020). Characterization of antioxidant and surface active properties of gelatin hydrolysates obtained from croaker fish skin. *International Aquatic Research*, 12(2), 116-126.
- Demirhan Yılmaz, E. (2012). Susam küspesindeki proteinin enzimatik hidrolizinin, çözünürlüğünün, enzim inaktivasyon kinetiğinin ve fonksiyonel özelliklerinin incelenmesi (Yayınlanmamış Doktora Tezi). Yıldız Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.
- Delahaije, R. J., Wierenga, P. A. (2022). Hydrophobicity enhances the formation of protein-stabilized foams. *Molecules*, 27(7), 2358.
- Dhaval, A., Yadav, N., Purwar, S. (2016). Potential applications of food derived bioactive peptides in management of health. *International Journal of Peptide Research and Therapeutics*, 22, 377-398.

- Dimitrijević-Dwyer, M., He, L., James, M., Nelson, A., Wang, L., Middelberg, A. P. J. (2012). The effects of acid hydrolysis on protein biosurfactant molecular, interfacial, and foam properties: pH responsive protein hydrolysates. *Soft Matter, Issue 19*.
- Dogan, A., Kazankaya, A., Gün, A., Askin, M. A., Oğuz, H. İ., Celik, F. (2005). Fruit characteristics of some Turkish walnut genotypes and cultivars (*Juglans regia L.*).
- Esfandi, R., Walters, M. E., Tsopmo, A. (2019). Antioxidant properties and potential mechanisms of hydrolyzed proteins and peptides from cereals. *Heliyon, 5*(4), e01538. <https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2019.e01538>
- Fan, L., Mao, X., Wu, Q. (2022). Purification, identification and molecular docking of novel antioxidant peptides from walnut (*Juglans regia L.*) protein hydrolysates. *Molecules, 27*(23), 8423.
- Farvin, K. S., Andersen, L. L., Nielsen, H. H., Jacobsen, C., Jakobsen, G., Johansson, I., Jessen, F. (2014). Antioxidant activity of Cod (*Gadus morhua*) protein hydrolysates: In vitro assays and evaluation in 5% fish oil-in-water emulsion. *Food Chemistry, 149*, 326-334.
- Feng, L., Wu, Y., Han, Y., Yao, X., Li, Q., Liu, M., Cao, Y. (2024). Structural characteristics, functional properties and nutritional value of walnut protein by limited enzymatic hydrolysis. *LWT, 197*, 115923. <https://doi.org/10.1016/j.lwt.2024.115923>
- Food and Agriculture Organization of the United Nations (FAO). (2024). *World food and agriculture statistics database*. <https://www.fao.org/faostat/en/#data/QCL/visualize> (Erişim Tarihi: 5 Nisan 2025).
- Fregapane, G., Ojeda-Amador, R. M., Salvador, M. D. (2019). Virgin walnut (*Juglans regia L.*) oil. In *Fruit oils: Chemistry and functionality* (pp. 133-147).
- García Arteaga, V., Demand, V., Kern, K., Strube, A., Szardenings, M., Muranyi, I., Eisner, P., Schweiggert-Weisz, U. (2022). Enzymatic hydrolysis and fermentation of pea protein isolate and its effects on antigenic proteins, functional properties, and sensory profile. *Foods, 11*(1), 118.
- García-Mora, P., Martín-Martínez, M., Bonache, M. A., González-Múniz, R., Peñas, E., Frias, J., Martínez-Villaluenga, C. (2017). Identification, functional gastrointestinal stability and molecular docking studies of lentil peptides with dual antioxidant and angiotensin I converting enzyme inhibitory activities. *Food Chemistry, 221*, 464–472. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2016.10.087>
- García-Mora, P., Peñas, E., Frías, J., Gómez, R., Martínez-Villaluenga, C. (2015). High-pressure improves enzymatic proteolysis and the release of peptides with angiotensin I converting enzyme inhibitory and antioxidant activities from lentil proteins. *Food Chemistry, 171*, 224-232.
- Gilani, G. S., Xiao, C. W., Cockell, K. A. (2012). Impact of antinutritional factors in food proteins on the digestibility of protein and the bioavailability of amino acids and on protein quality. *British Journal of Nutrition, 108*(S2), S315-S332.
- Gu, J., Bk, A., Wu, H., Lu, P., Nawaz, M. A., Barrow, C. J., Suleria, H. A. R. (2023). Impact of processing and storage on protein digestibility and bioavailability of legumes. *Food Reviews International, 39*(7), 4697-4724.
- Guo, X., Wang, Y., Chen, Y. (2015). Improvement of functional properties of walnut protein isolates by enzymatic hydrolysis. *Food Hydrocolloids, 44*, 29-37. <https://doi.org/10.1016/j.foodhyd.2014.09.005>

- Gümüş, S., Yıldız, S. (2024). Ultrases prosesinin bitkisel atık ve yan ürünlerden protein elde edilmesinde kullanımı ve proteinlerin fonksiyonel özellikleri üzerine etkisi. *Gıda*, 49(1), 68-87.
- Guo, X., Wang, Y., Chen, Y. (2015). Improvement of functional properties of walnut protein isolates by enzymatic hydrolysis. *Food Hydrocolloids*, 44, 29-37. <https://doi.org/10.1016/j.foodhyd.2014.09.005>
- Gümüş, S., Yıldız, S. (2024). Ultrases prosesinin bitkisel atık ve yan ürünlerden protein elde edilmesinde kullanımı ve proteinlerin fonksiyonel özellikleri üzerine etkisi. *Gıda*, 49(1), 68-87.
- Gür, F., Güzel, M., Öncül, N., Yıldırım, Z., Yıldırım, M. (2010). Süt serum proteinleri ve türevlerinin biyolojik ve fizyolojik aktiviteleri. *Akademik Gıda*, 8(1), 23-31.
- Habinshuti, I., Nsengumuremyi, D., Muhoza, B., Ebenezer, F., Aregbe, A. Y., Ndisanze, M. A. (2023). Recent and novel processing technologies coupled with enzymatic hydrolysis to enhance the production of antioxidant peptides from food proteins: A review. *Food Chemistry*, 423, 136313.
- Hu, H., Wu, J., Li-Chan, E. C., Zhu, L., Zhang, F., Xu, X., Pan, S. (2013). Effects of ultrasound on structural and physical properties of soy protein isolate (SPI) dispersions. *Food Hydrocolloids*, 30(2), 647-655.
- Huang, J., Zhang, M., Mujumdar, A. S., Semenov, G., Luo, Z. (2024). Technological advances in protein extraction, structure improvement and assembly, digestibility and bioavailability of plant-based foods. *Critical Reviews in Food Science and Nutrition*, 64(31), 11556-11574.
- HunterLab. (2025). *Color stability in food products: A comprehensive guide*. Hunter Associates Laboratory.
- Jahanbani, R., Bahramnejad, E., Rahimi, N., Shafaroodi, H., Sheibani, N., Moosavi-Movahedi, A. A. (2021). Anti-seizure effects of walnut peptides in mouse models of induced seizure: The involvement of GABA and nitric oxide pathways. *Epilepsy Research*, 176, 106727.
- Jackson, M., Mantsch, H. H. (1995). The use and misuse of FTIR spectroscopy in the determination of protein structure. *Critical Reviews in Biochemistry and Molecular Biology*, 30(2), 95-120.
- Jin, F., Wang, Y., Tang, H., Regenstein, J. M., Wang, F. (2020). Limited hydrolysis of dehulled walnut (*Juglans regia L*) proteins using trypsin: Functional properties and structural characteristics. *LWT*, 133, 110035.
- Jin, H., Jin, Y., Pan, J., Mi, S., Zeng, Q., Li, Z., Sheng, L. (2023). Comprehensive identification and hydrophobic analysis of key proteins affecting foam capacity and stability during the evolution of egg white foam. *Food Hydrocolloids*, 134, 108033.
- Johnsen, L. B. (2015). *Food Colorimetry: Theory and Applications*. CRC Press.
- Kadam, S. U., Álvarez, C., Tiwari, B. K., O'Donnell, C. P. (2017). Extraction and characterization of protein from Irish brown seaweed *Ascophyllum nodosum*. *Food Research International*, 99, 1021-1027.
- Kamal, H., Le, C. F., Salter, A. M., Ali, A. (2021). Extraction of protein from food waste: An overview of current status and opportunities. *Comprehensive Reviews in Food Science and Food Safety*, 20(3), 2455-2475.
- Kandilli, M., A.Kazankaya, A.Doğan, 2021. Development Of Spatial Decision Support Systems (Sdss) Using Gis Techniques In Walnut (*Junglas Regia L.*) Cultivation: Van-Çatak (Turkey) Case, *Euroasia Journal of Mathematics, Engineering, Natural Medical Sciences*, International Indexed and Refereed, ISSN 2667-6702, Volume (8), Issue (17), Year 58-79,202

- Karoud, W., Sila, A., Krichen, F., Martinez-Alvarez, O., Bougateg, A. (2019). Characterization, surface properties and biological activities of protein hydrolysates obtained from hake (*Merluccius merluccius*) heads. *Waste and Biomass Valorization*, 10, 287-297
- Kazankaya, A., 1996. Cevizin Aşısıyla Çoğaltılması ve Aşılama Sonrası Biyokimyasal Ve Histolojik Değişiklikler Üzerine Araştırmalar (Doktora tezi, basılmamış). Yüzüncü Yıl Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Van.
- Kazankaya, A., Çelik, F., Doğan, Ö. Ü. A., Yaviç, Ö. Ü. A. (2022). Bölüm. *Pratik Tarım Ve Sürdürülebilirliğin Yansımaları*, 3.
- Kazankaya, A., Şen, S. M., Tekintaş, F. E. (1997). Relations between graft success and structural hormones. *Acta Horticulturae*, 442, 295–297.
- Kılavuz, E., Yücer, E. N. (2023). Üçüncü gıda rejimi çerçevesinde Rusya ve Türkiye'nin tarımsal yapısı ve ticaretinin analizi. *Ekonomi Politika ve Finans Araştırmaları Dergisi*, 8(1), 183-207.
- Kim, D. I., Kim, K. S. (2013). Walnut extract exhibits anti-fatigue action via improvement of exercise tolerance in mice. *Laboratory Animal Research*, 29(4), 190–195. <https://doi.org/10.5625/lar.2013.29.4.190>
- Kim, S. K., Wijesekara, I. (2010). Development and biological activities of marine-derived bioactive peptides: A review. *Journal of Functional Foods*, 2(1), 1–9. <https://doi.org/10.1016/j.jff.2010.01.003>
- Kinsella, J. E. (1982). Protein structure and functional properties: Emulsification and flavor binding effects. *Food Technology*, 36(2), 130-140.
- Koç, S. (2016). *Hamsi (Engraulis encrasicolus) ve işleme atıklarından elde edilen protein hidrolizatlarının besleyici, fonksiyonel ve biyoaktif özelliklerinin araştırılması, Doktora Tezi*. Ç.O.M.Ü Fen Bilimleri Enstitüsü.
- Koçak, A., Şanlı, T. (2016). Süt Proteini Kaynaklı Ace-İnhibitör Peptitleri: Oluşumu, Etki Mekanizması Ve Biyoyararlılıkları. *Gıda*, 41(4), 275-282.
- Korhonen, H., Pihlanto, A. (2006). Bioactive Peptides: Production And Functionality. *International Dairy Journal*, 16(9), 945-960.
- Korhonen, H., Pihlanto, Leppälä A (2006) Bioactive peptides: Production and functionality. *International Dairy Journal*, 16(9), 945-960.
- Kristinsson, H. G., Rasco, B. A. (2000). Fish protein hydrolysates: production, biochemical, and functional properties. *Critical Reviews in Food Science and Nutrition*, 40(1), 43-81.
- Kumar Singh, Amit, Célia Cabral, Ramesh Kumar, Risha Ganguly, Harvesh Kumar Rana, Ashutosh Gupta, Maria Rosaria Lauro, Claudia Carbone, Flávio Reis, and Abhay K. Pandey. "Beneficial effects of dietary polyphenols on gut microbiota and strategies to improve delivery efficiency." *Nutrients* 11, no. 9 (2019): 2216.
- Labuckas, D., Maestri, D., Lamarque, A. (2014). Effect of different oil extraction methods on proximate composition and protein characteristics of walnut (*Juglans regia L*) flour. *LWT-Food Science and Technology*, 59(2), 794-799.
- Lassoued, I., Mora, L., Nasri, R., Jridi, M., Toldrá, F., Aristoy, M. C., Nasri, M. (2015). Characterization and comparative assessment of antioxidant and ACE inhibitory activities of thornback ray gelatin hydrolysates. *Journal of Functional Foods*, 13, 225-238.
- Li, X., Guo, M., Chi, J., Ma, J. (2020). Bioactive peptides from walnut residue protein. *Molecules*, 25(6), 1285.

- Liu, C., Bhattarai, M., Mikkonen, K. S., Heinonen, M. (2019). Effects of enzymatic hydrolysis of fava bean protein isolate by Savinase on the physical and oxidative stability of oil-in-water emulsions. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 67(23), 6625-6632.
- Liu, C., Zhang, Z., Shang, Y., Li, S., Xia, J., Tian, Y., Ma, A. (2024). Progress in the preparation, identification and biological activity of walnut peptides. *Journal of Future Foods*, 4(3), 205-220.
- Liu, C., Deng, Z., Wang, L., Zhang, M., Liu, J. (2025). Complexation between curcumin and walnut protein isolate modified by pH shifting combined with protein-glutaminase. *Food Chemistry*, 464, 141693.
- Liu, D., Guo, Y., Ma, H. (2023). Production, bioactivities and bioavailability of bioactive peptides derived from walnut origin by-products: A review. *Critical Reviews in Food Science and Nutrition*, 63(26), 8032-8047.
- Liu, L., Hao, W., Dai, X., Zhu, Y., Chen, K., Yang, X. (2020). Enzymolysis kinetics and structural-functional properties of high-intensity ultrasound-assisted alkali pretreatment ovalbumin. *International Journal of Food Properties*, 23(1), 80–94. <https://doi.org/10.1080/10942912.2020.1713152>
- Liu, M., Yang, S., Yang, J., Lee, Y., Kou, J., Wang, C. (2019). Neuroprotective and memory-enhancing effects of antioxidant peptide from walnut (*Juglans regia L*) protein hydrolysates. *Natural Product Communications*, 14(7), 1934578X19865838.
- Liu, M.-C., Yang, S.-J., Hong, D., Yang, J.-P., Liu, M., Lin, Y., Huang, C.-H., Wang, C.-J. (2016). A simple and convenient method for the preparation of antioxidant peptides from walnut (*Juglans regia L*) protein hydrolysates. *Chemistry Central Journal*, 10(39). <https://doi.org/10.1186/s13065-016-0184-x>
- Liu, Rui, Lan Wu, Qian Du, Jin-Wei Ren, Qi-He Chen, Di Li, Rui-Xue Mao, Xin-Ran Liu, and Yong Li. "Small molecule oligopeptides isolated from walnut (*Juglans regia L.*) and their anti-fatigue effects in mice." *Molecules* 24, no. 1 (2018): 45.
- Mäkinen, S. (2014). Production, isolation and characterization of bioactive peptides with antihypertensive properties from rapeseed and potato protein.
- Mao, X., Hua, Y. (2012). Composition, structure and functional properties of protein concentrates and isolates produced from walnut (*Juglans regia L*). *International Journal of Molecular Sciences*, 13(2), 1561-1581.
- Mæhre, H. K., Dalheim, L., Edvinsen, G. K., Elvevoll, E. O., Jensen, I.-J. (2018). Protein determination—Method matters. *Foods*, 7(1), 5. <https://doi.org/10.3390/foods7010005>
- Martínez, K. D., Sánchez, C. C., Patino, J. M. R., Pilosof, A. M. (2009). Interfacial and foaming properties of soy protein and their hydrolysates. *Food Hydrocolloids*, 23(8), 2149-2157.
- Masoodi, L., Gull, A., Masoodi, F. A., Gani, A., Nissar, J., Ahad, T., Solberg, S. Ø. (2022). An overview on traditional vs. green technology of extraction methods for producing high quality walnut oil. *Agronomy*, 12(10), 2258.
- Mateş, L., Banc, R., Zaharie, F. A., Rusu, M. E., Popa, D. S. (2024). Mechanistic insights into the biological effects and antioxidant activity of walnut (*Juglans regia L*) ellagitannins: A systematic review. *Antioxidants*, 13(8), 974.
- McClements, D. J., Decker, E. A. (2000). Lipid oxidation in oil-in-water emulsions: Impact of molecular environment on chemical reactions in heterogeneous food systems. *Journal of Food Science*, 65(8), 1270-1282.

- Moghadam, M., Salami, M., Mohammadian, M., Emam-Djomeh, Z., Jahanbani, R., Moosavi-Movahedi, A. A. (2020). Physicochemical and bio-functional properties of walnut proteins as affected by trypsin-mediated hydrolysis. *Food Bioscience*, 36, 100611.
- Mora, L., Toldrá, F. (2023). Advanced enzymatic hydrolysis of food proteins for the production of bioactive peptides. *Current Opinion in Food Science*, 49, 100973. <https://doi.org/10.1016/j.cofs.2022.100973>
- Möller, N. P., Scholz-Ahrens, K. E., Roos, N., Schrezenmeir, J. (2008). Bioactive peptides and proteins from foods: Indication for health effects. *European Journal of Nutrition*, 47(4), 171-182.
- Mu, G., Chen, H.-P., Zhao, M.-M., Wang, S., Yang, B., Ren, J.-Y., & Su, G.-W. (2014). Identification of antioxidant peptides released from defatted walnut (*Juglans sigillata* Dode) flour with pancreatin. *LWT - Food Science and Technology*, 59(1), 123-130. <https://doi.org/10.1016/j.lwt.2014.07.052>
- Mukarram, S. A., Wandhekar, S. S., Ahmed, A. E. M., Pandey, V. K., Csaba, O., Lajos, D., Bela, K. (2024). Exploring the ecological implications, gastronomic applications, and nutritional and therapeutic potential of *Juglans regia* L (Green Walnut): A comprehensive review. *Nutrients*, 16(8), 1183.
- Opazo-Navarrete, M., Burgos-Díaz, C., Bravo-Reyes, C., Gajardo-Poblete, I., Chacón-Fuentes, M., Reyes, J. E., Mojica, L. (2025). Comprehensive review of plant protein digestibility: Challenges, assessment methods, and improvement strategies. *Applied Sciences*, 15(7), 3538.
- Pereira, J. A., Oliveira, I., Sousa, A., Ferreira, I. C., Bento, A., Estevinho, L. (2008). Bioactive properties and chemical composition of six walnut (*Juglans regia* L) cultivars. *Food and Chemical Toxicology*, 46(6), 2103-2111.
- Rabadán, A., Pardo, J. E., Pardo-Giménez, A., Álvarez-Ortí, M. (2018). Effect of genotype and crop year on the nutritional value of walnut virgin oil and defatted flour. *Science of the Total Environment*, 634, 1092-1099.
- Rashki, M., Ghasemzadeh Rahbardar, M., Boskabady, M. H. (2025). Nutritional Advantages of Walnut (*Juglans regia* L) for Cardiovascular Diseases: A Comprehensive Review. *Food Science Nutrition*, 13(1), e4526.
- Razali, A. N., Amin, A. M., Sarbon, N. M. (2015). Antioxidant activity and functional properties of fractionated cobia skin gelatin hydrolysate at different molecular weight. *International Food Research Journal*, 22(2), 651.
- Rivera del Rio, A., Boom, R. M., Janssen, A. E. (2022). Effect of fractionation and processing conditions on the digestibility of plant proteins as food ingredients. *Foods*, 11(6), 870.
- Sá, A. G. A., Moreno, Y. M. F., Carciofi, B. A. M. (2020). Food processing for the improvement of plant proteins digestibility. *Critical reviews in food science and nutrition*, 60(20), 3367-3386.
- Saçlık, S. (2023). *Ceviz (Juglans regia) üretiminde yeşil ceviz ve sert ceviz kabuğu yan ürünlerinin biyokütle miktarlarının belirlenmesi ve tahmini* (Yüksek lisans tezi, Kırşehir Ahi Evran Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Tarımsal Biyoteknoloji Anabilim Dalı). Kırşehir, Türkiye.
- Samaei, S. P., Martini, S., Tagliazucchi, D., Gianotti, A., & Babini, E. (2021). Antioxidant and angiotensin I-converting enzyme (ACE) inhibitory peptides obtained from Alcalase protein hydrolysate fractions of hemp (*Cannabis sativa* L.) bran. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 69(32).
- Sarmadi BH, Ismail A. Antioxidative peptides from food proteins: a review. *Peptides*. 2010;31(10):1949-1956.

- Savage, G. P. (2001). Chemical composition of walnuts (*Juglans regia* L) grown in New Zealand. *Plant Foods for Human Nutrition*, 56, 75-82.
- Şen, S. M., Kazankaya, A., Yarılgaç, T., Doğan, A. (2006). *Bahçeden mutfığa ceviz*. Maji Yayınları.
- Şimşek, M., Gülsoy, E. (2016). The importance of walnuts in terms of human health and the fatty acids: Some studies on this subject. *Journal of the Institute of Science and Technology*, 6(4), 9-15.
- Sun, Q., Ma, Z. F., Zhang, H., Ma, S., Kong, L. (2019). Structural characteristics and functional properties of walnut glutelin as hydrolyzed: Effect of enzymatic modification. *International Journal of Food Properties*, 22(1), 265-279.
- Sun, X. D., Holley, R. A. (2011). Factors influencing gel formation by myofibrillar proteins in muscle foods. *Comprehensive Reviews in Food Science and Food Safety*, 10(1), 33-51.
- Sze-Tao, K. W. C., Sathe, S. K. (2000). Walnuts (*Juglans regia* L): Proximate composition, protein solubility, protein amino acid composition and protein in vitro digestibility. *Journal of the Science of Food and Agriculture*, 80(9), 1393-1401.
- Tekle, Ş. (2022). *Balık atıklarından protein hidrolizatlarının üretilmesi ve özelliklerinin belirlenmesi* (Doctoral dissertation, Doktora Tezi, Yıldız Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü İstanbul, 100).
- Toldrá, F., Reig, M., Gallego, M., Mora, L. (2023). Bioactive peptides in meat and meat products. *Meat and Muscle Biology*, 7(3).
- Torres-León, C., Ramírez-Guzman, N., Londoño-Hernandez, L., Martinez-Medina, G. A., Díaz-Herrera, R., Navarro-Macias, V., Aguilar, C. N. (2018). Food waste and byproducts: An opportunity to minimize malnutrition and hunger in developing countries. *Frontiers in Sustainable Food Systems*, 2, 52.
- Truong, T. H., Nguyen, T. H., Le, H. T., Hoang, T. H. (2020). Enzymatic hydrolysis of soy protein: Effects of thermal pretreatment and enzyme type on protein recovery and functional properties. *Journal of Food Science and Technology*, 57(5), 2052-2060. <https://doi.org/10.1007/s11483-020-01778-1>
- Tunç, Y., Yılmaz, K. U. (2023). Türkiye’de yetiştiriciliği yapılan bazı subtropik iklim meyvelerinin üretim projeksiyonu. *Erciyes Tarım ve Hayvan Bilimleri Dergisi*, 6(1), 17-22.
- Türkiye Cumhuriyeti Tarım ve Orman Bakanlığı. (2025). *Ulusal gıda kompozisyon veri tabanı*. <https://turkomp.tarimorman.gov.tr/> (Erişim Tarihi: 29 Mart 2025).
- U.S. Department of Agriculture (USDA). (2024). *FoodData Central: Walnuts, English, raw*. <https://fdc.nal.usda.gov/fdc-app.html#/food-details/2346393/nutrients> (Erişim Tarihi: 5 Nisan 2025).
- Ünal, M. Ü., Şener, A., Cemek, K. (2018). Biyoaktif peptitlerin sağlık üzerine etkileri. *Gıda*, 43(6), 930-942.
- Van der Ven, C., Gruppen, H., de Bont, D. B., Voragen, A. G. (2002). Correlations between biochemical characteristics and foam-forming and-stabilizing ability of whey and casein hydrolysates. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 50(10), 2938-2946.
- Vásquez, P., Sepúlveda, C. T., Zapata, J. E. (2022). Functional properties of rainbow trout (*Oncorhynchus mykiss*) viscera protein hydrolysates. *Biocatalysis and Agricultural Biotechnology*, 39, 102268.
- Wang, J., Liu, J., John, A., Jiang, Y., Zhu, H., Yang, B. (2022). Structure identification of walnut peptides and evaluation of cellular antioxidant activity. *Food Chemistry*, 388, 132943.

- Wang, J., Wu, T., Fang, L., Liu, C., Liu, X., Li, H. (2020). Peptides from walnut (*Juglans mandshurica* Maxim.) protect hepatic HepG2 cells from high glucose-induced insulin resistance and oxidative stress. *Food Function*, 11(9), 8112–8121. <https://doi.org/10.1039/d0fo01753a>
- Wang, X., Chen, H., Li, S., Zhou, J., Xu, J. (2016). Physico-chemical properties, antioxidant activities and antihypertensive effects of walnut protein and its hydrolysate. *Journal of the Science of Food and Agriculture*, 96(7), 2579-2587.
- Wani, M. S., Hussain, A., Ganie, S. A., Munshi, A. H., Lal, E. P., Gupta, R. C. (2016). *Juglans regia*—A review. *Int. J. Latest Res. Sci. Technol*, 5, 90-97.
- World Health Organization, United Nations University. (2007). *Protein and amino acid requirements in human nutrition* (Vol. 935). World Health Organization. (Erişim Tarihi: 12 Nisan 2025).
- Wu, G. (2016). Dietary protein intake and human health. *Food function*, 7(3), 1251-1265.
- Wyszecki, G., Stiles, W. S. (2000). *Color science: concepts and methods, quantitative data and formulae*. John Wiley Sons.
- Wyszecki, G., Stiles, W. S. (2000). *Color science: concepts and methods, quantitative data and formulae*. John Wiley Sons.
- Yang, X.-Y., Zhong, D.-Y., Wang, G.-L., Zhang, R.-G., Zhang, Y.-L. (2021). Effect of walnut meal peptides on hyperlipidemia and hepatic lipid metabolism in rats fed a high-fat diet. *Nutrients*, 13(5), 1410. <https://doi.org/10.3390/nu13051410>
- Zamora-Sillero, J., Gharsallaoui, A., Prentice, C. (2018). Peptides from fish by-product protein hydrolysates and its functional properties: An overview. *Marine Biotechnology*, 20, 118-130.
- Zamorano-Apodaca, J. C., García-Sifuentes, C. O., Carvajal-Millán, E., Vallejo-Galland, B., Scheuren-Acevedo, S. M., Lugo-Sánchez, M. E. (2020). Biological and functional properties of peptide fractions obtained from collagen hydrolysate derived from mixed by-products of different fish species. *Food Chemistry*, 331, 127350.
- Zhang, M., Cai, S., Wang, O., Zhao, L., & Zhao, L. (2024). A comprehensive review on walnut protein: Extraction, modification, functional properties and its potential applications. *Journal of Agriculture and Food Research*, 16, 101141. .
- Zhang, S., Zhang, M., Yang, R., Zhang, S., Lin, S. (2019). Preparation, identification, and activity evaluation of antioxidant peptides from protein hydrolysate. *Journal of Food Processing and Preservation*, 43(10), e14160.
- Zhang, X., Cheng, Z., Zhao, X., Liu, H., Hu, H., Wang, M., Guo, J. (2022). Effects of the oat β -glucan on the functional and structural properties of defatted walnut meal flour. *Food Chemistry Advances*, 1, 100071.
- Zhang, X., Xu, Z., Wang, Y., Huang, Y., Li, Y., & Qi, B. (2022). Characterization of Structure, Biological Activity, Peptide Composition, Interface and Sensory Properties of Alcalase Protease-Hydrolyzed Soybean Meal. *Biological Activity, Peptide Composition, Interface and Sensory Properties of Alcalase Protease-Hydrolyzed Soybean Meal*
- Zhang, Y., He, S., Simpson, B. K. (2018). Enzymes in food bioprocessing—novel food enzymes, applications, and related techniques. *Current Opinion in Food Science*, 19, 30-35.
- Zhang, Q., Cheng, Z., Wang, Y., Fu, L. (2021). Dietary protein-phenolic interactions: Characterization, biochemical-physiological consequences, and potential food applications. *Critical Reviews in Food Science and Nutrition*, 61(21), 3589-3615.

- Zhao, F., Liu, C., Fang, L., Lu, H., Wang, J., Gao, Y. (2021). Walnut-derived peptide activates PINK1 via the NRF2/KEAP1/HO-1 pathway, promotes mitophagy, and alleviates learning and memory impairments in a mice model. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 69(9), 2758–2772.
- Zhao, Y., He, W., Zhao, S., Jiao, T., Hu, H., Li, J., Zhang, L., Zang, J. (2023). Advanced insights into walnut protein: Structure, physiochemical properties and applications. *Foods*, 12(19), 3603. <https://doi.org/10.3390/foods12193603>
- Zhu, K. X., Zhou, H. M., Qian, H. F. (2006). Proteins extracted from defatted wheat germ: Nutritional and structural properties. *Cereal Chemistry*, 83(1), 69-75.
- Zhou, X., Peng, X., Pei, H., Chen, Y., Meng, H., Yuan, J., Wu, Y. (2022). An overview of walnuts application as a plant-based. *Frontiers in Endocrinology*, 13, 1083707.

6. ÖZGEÇMİŞ

Kişisel Bilgiler	
Adı Soyadı:	Saniye KARİPTAŞ AĞCA
Uyruğu:	T.C.
Orcid Numarası:	0000-0002-9744-928X

Eğitim Bilgileri	
Lisans	
Üniversite	Ondokuz Mayıs Üniversitesi
Fakülte	Ziraat Fakültesi
Bölümü	Hayvansal Üretim
Mezuniyet Yılı	2005
Yüksek Lisans	
Üniversite	Kırşehir Ahi Evran Üniversitesi
Enstitü Adı	Fen Bilimleri Enstitüsü
Anabilim Dalı	Bahçe Bitkileri Anabilim Dalı
Mezuniyet Tarihi	2025

Tezden Üretilen Makaleler ve Bildiriler
Ağca, S. K., Tekle, Ş., & Kazankaya, A. (2023). <i>Ceviz atıklarından protein hidrolizatlarının üretimi</i> . Ahi Evran III - International Conference on Scientific Research, Bakü, Azerbaycan, Mayıs 2023.