



T.C.
NECMETTİN ERBAKAN
ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ



FARKLI KURUTMA YÖNTEMLERİNİN
FINDIK PROTEİNİ İZOLATLARININ
FİZİKOKİMYASAL VE TEKNOLOJİK
ÖZELLİKLERİ ÜZERİNE ETKİSİ

Ayşegül MERAM

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Gıda Mühendisliği Anabilim Dalı

Haziran-2023
KONYA
Her Hakkı Saklıdır

TEZ KABUL VE ONAYI

Ayşegül MERAM tarafından hazırlanan “Farklı Kurutma Yöntemlerinin Fındık Proteini İzolatlarının Fizikokimyasal ve Teknolojik Özellikleri Üzerine Etkisi” adlı tez çalışması 13/06/2023 tarihinde aşağıdaki jüri tarafından oy birliği ile Necmettin Erbakan Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Gıda Mühendisliği Anabilim Dalı’nda YÜKSEK LİSANS TEZİ olarak kabul edilmiştir.

Jüri Üyeleri

İmza

Başkan

Prof. Dr. Derya ARSLAN DANACIOĞLU

.....

Danışman

Doç. Dr. İsmail TONTUL

.....

Üye

Doç. Dr. Kübra Sultan ÖZDEMİR BİLİCİ

.....

Fen Bilimleri Enstitüsü Yönetim Kurulu’nun/.../20.. gün ve sayılı kararıyla onaylanmıştır.

Prof. Dr. Şerife Yurdağül KUMCU
FBE Müdürü

TEZ BİLDİRİMİ

Bu tezdeki bütün bilgilerin etik davranış ve akademik kurallar çerçevesinde elde edildiğini ve tez yazım kurallarına uygun olarak hazırlanan bu çalışmada bana ait olmayan her türlü ifade ve bilginin kaynağına eksiksiz atıf yapıldığını bildiririm.

DECLARATION PAGE

I hereby declare that all information in this document has been obtained and presented in accordance with academic rules and ethical conduct. I also declare that, as required by these rules and conduct, I have fully cited and referenced all material and results that are not original to this work.

Ayşegül MERAM

13/06/2023

ÖZET

YÜKSEK LİSANS TEZİ

FARKLI KURUTMA YÖNTEMLERİNİN FINDIK PROTEİNİ İZOLATLARININ FİZİKOKİMYASAL VE TEKNOLOJİK ÖZELLİKLERİ ÜZERİNE ETKİSİ

Ayşegül MERAM

Necmettin Erbakan Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü
Gıda Mühendisliği Anabilim Dalı

Danışman: Doç. Dr. İsmail TONTUL

2023, 64 Sayfa

Jüri

Doç. Dr. İsmail TONTUL

Prof. Dr. Derya ARSLAN DANACIOĞLU

Doç. Dr. Kübra Sultan ÖZDEMİR BİLİCİ

Hayvansal kaynaklı proteinler, başta et ve et ürünleri olmak üzere temel anlamda protein ihtiyacımızı karşılayabilmektedir. Ancak tüketicilerin kolay ulaşılabilir, sağlıklı ve ekonomik gıdalara olan artan yönelimi ve özel tüketici tercihleri (veganlık/vejetaryanlık, dini inanışlar vb.) gibi sebepler özellikle son yıllarda hayvansal protein ikamelerini giderek cazip hale getirmiştir. Fındık önemli bir bitkisel protein kaynağı olarak görülmektedir. Bu çalışmada; soğuk pres ile yağı çıkarılan fındık küspesi alkali ekstraksiyon ve izoelektrik çöktürme metoduyla saflaştırılarak protein izolatu elde edilmiştir. Üretilen fındık proteini izolatları farklı kurutma yöntemleri ile kurutulmuştur. Bu amaçla, giriş ve çıkış sıcaklıklarının sırasıyla 180 ve 75°C olarak belirlendiği püskürtmeli kurutma (PK) yöntemi ve dört farklı sıcaklıkta (60, 70, 80 ve 90°C) uygulanan kırım pencere kurutma (KPK) yöntemi kullanılmıştır. Örneklerin kuru madde miktarı, su aktivitesi, protein içeriği, renk, çözünürlük (pH 1, 3, 5, 7 ve 9), parçacık boyutu, yoğunluk, su ve yağ tutma kapasitesi, yüzey hidrofobisitesi, emülsifikasyon (pH 1, 7 ve 9) ve köpürme (pH 1, 7 ve 9) özellikleri incelenmiştir. Protein izolatlarının çözünürlük, emülsifikasyon ve köpürme özellikleri değişen pH seviyelerine bağlı olarak farklı eğilimler göstermiştir. Her iki kurutma yönteminde de izoelektrik noktaya yakın olması sebebiyle pH 5’de minimum çözünürlük gözlemlenirken, pH 1’de PK ve KPK yöntemleri için sırasıyla %100 ve %98.30-66.58 değerleriyle maksimum çözünürlüğe ulaşıldığı belirlenmiştir. PK yöntemiyle kurutulan örneğin daha yüksek çözünme özelliği göstermesine ek olarak yüzey hidrofobisitesinin ve köpürme özelliklerinin de daha iyi olduğu saptanmıştır. Öte yandan KPK yöntemiyle kurutulan örneğin parçacık boyutu ve yığın yoğunluğu daha fazla bulunmuş olup, akışkanlık özelliklerinin ve emülsifiye edici özelliklerinin (pH 1 hariç) ise daha üstün olduğu belirlenmiştir. Su aktivitesi, protein içeriği, su ve yağ bağlama değerleri açısından iki kurutma yöntemi de benzer özellikte ürünler sunmuştur.

Çalışmanın sonucunda uygulanan kurutma yöntemine göre fındık proteini izolatlarının farklı fizikokimyasal ve teknolojik özellikler gösterebildiği belirlenmiştir.

Anahtar Kelimeler: Fizikokimyasal özellikler, fındık proteini izolatu, izoelektrik çöktürme, kırım pencere kurutma, püskürtmeli kurutma, teknolojik özellikler

ABSTRACT

MS THESIS

THE EFFECT OF DIFFERENT DRYING METHODS ON THE PHYSICOCHEMICAL AND TECHNOLOGICAL PROPERTIES OF HAZELNUT PROTEIN ISOLATES

Ayşegül MERAM

**THE GRADUATE SCHOOL OF NATURAL AND APPLIED SCIENCE OF
NECMETTİN ERBAKAN UNIVERSITY
THE DEGREE OF MASTER OF SCIENCE IN FOOD ENGINEERING**

Advisor: Assoc. Prof. Dr. İsmail TONTUL

2023, 64 Pages

Jury

Assoc. Prof. Dr. İsmail TONTUL

Prof. Dr. Derya ARSLAN DANACIOĞLU

Assoc. Prof. Dr. Kübra Sultan ÖZDEMİR BİLİCİ

Animal based proteins, especially meat and meat products, can meet our basic protein needs. However, the increasing tendency of consumers to easily accessible, healthy and economical foods and special consumer preferences (veganism/vegetarianism, religious beliefs, etc.) have made plant-based proteins more popular in recent years. Hazelnut is an important plant-based protein source. In this study, the protein isolate was obtained from hazelnut using by-product of cold press, by alkali extraction and isoelectric precipitation method. Then, the hazelnut protein isolates were dried with different drying methods. For this purpose, the spray drying (SD) method, in which the inlet and outlet temperatures were applied as 180 and 75°C, respectively, and the refractance window drying (RWD) method at four different temperatures (60, 70, 80 and 90°C) were used. Dry matter content, water activity, protein content, color, solubility (pH 1, 3, 5, 7 and 9), particle size, density, water and oil holding capacity, surface hydrophobicity, emulsification (pH 1, 7 and 9) and foaming (pH 1, 7 and 9) properties were investigated. The solubility, emulsification and foaming properties of protein isolates showed different trends depending on varying pH levels. In both drying methods, minimum solubility was observed at pH 5 due to its closeness to the isoelectric point, while maximum solubility was reached at pH 1 with values of 100% and 98.30-66.58% for SD and RWD methods, respectively. In addition to higher solubility, the surface hydrophobicity and foaming properties of the sample dried by the SD method were found to be better compared to RWD. On the other hand, the particle size and bulk density of the sample dried by RWD method were found to be higher, and it was determined that the flow properties and emulsifying properties (except pH 1) were superior. Both drying methods presented similar products in terms of water activity, protein content, water and oil binding values. As a result of the study, it was determined that hazelnut protein isolates could show different physicochemical and technological properties according to the drying method.

Keywords: Physicochemical properties, hazelnut protein isolate, isoelectric precipitation, refractance window drying, spray drying, technological properties

ÖNSÖZ

Tez çalışma sürecimin her aşamasında beni yönlendiren, desteğini esirgemen, bilgi ve deneyimleriyle bana yol gösteren değerli hocam Doç. Dr. İsmail TONTUL'a,

Laboratuvar çalışmalarım esnasında her türlü ihtiyacında yardımına koşan sevgili arkadaşım Rumeysa KARATAŞ'a ve süreç boyunca görüş ve katkılarını benden esirgemeyen Gıda Yüksek Mühendisi Merve AYDIN'a,

Tüm öğrenim hayatım boyunca beni destekleyen, anlatılamayacak kadar çok fedakarlıkta bulunan ve daima yanımda olan aileme en içten dileklerle teşekkür ederim.

Ayşegül MERAM
KONYA-2023



İÇİNDEKİLER

ÖZET	iv
ABSTRACT.....	v
ÖNSÖZ	vi
İÇİNDEKİLER	vii
SİMGELER VE KISALTMALAR	ix
1. GİRİŞ	1
2. KAYNAK ARAŞTIRMASI	3
2.1. Bitkisel Proteinlerin Fonksiyonel Özellikleri	3
2.1.1. Çözünürlük.....	3
2.1.2. Emülsifiye edici özellikler	4
2.1.3. Köpürme özellikleri	4
2.1.4. Jelleşme.....	5
2.1.5. Su bağlama kapasitesi	5
2.1.6. Yağ bağlama kapasitesi	6
2.2. Bitkisel Proteinlerin Saflaştırılması	6
2.3. Bitkisel Proteinlerin Kurutulmasında Kullanılan Yöntemler	10
2.3.1. Kabin kurutma	11
2.3.2. Püskürtmeli kurutma.....	11
2.3.3. Vakum kurutma	12
2.3.4. Dondurarak kurutma	13
2.3.5. Kırınım pencereleli kurutma.....	14
2.4. Farklı Kurutma Yöntemlerinin Bitkisel Proteinlerin Özellikleri Üzerine Etkilerinin İncelendiği Çalışmalar	16
2.5. Fındık.....	22
2.5.1. Fındığın bileşimi ve besin değeri.....	23
3. MATERYAL VE YÖNTEM.....	25
3.1. Materyal	25
3.2. Metot	25
3.2.1. Hammaddeden soğuk pres ile yağ çıkarma	25
3.2.2. Yağı alınmış fındık unundan protein izolasyonu ile izolat eldesi.....	25
3.2.3. Protein izolatların kurutulması.....	26
3.2.3.1. Püskürtmeli kurutma yöntemi.....	26
3.2.3.2. Kırınım pencereleli kurutma yöntemi.....	27
3.3. Analizler.....	28
3.3.1. Nem içeriği ve su aktivitesi	28
3.3.2. Renk tayini	28
3.3.3. Protein içeriği.....	28

3.3.6. Yığın yoğunluğu	28
3.3.7. Yüzey hidrofobisitesi	29
3.3.5. Parçacık boyutu.....	30
3.3.4. Çözünürlük.....	30
3.3.9. Su ve yağ tutma kapasitesi.....	30
3.3.10. Emülsifiye edici özellikler	31
3.3.11. Köpürme özellikleri	31
3.3.12. İstatistiksel Analizler	32
4. ARAŞTIRMA SONUÇLARI VE TARTIŞMA.....	33
4.1. Kuru Madde Miktarı, Su Aktivitesi ve Protein İçeriği	33
4.2. Renk	34
4.3. Çözünürlük.....	37
4.4. Parçacık Boyutu	41
4.5. Yoğunluk	44
4.6. Su ve Yağ Tutma Kapasitesi ve Yüzey Hidrofobisitesi	46
4.7. Emülsifiye Edici Özellikler	49
4.8. Köpürme Özellikleri	53
5. SONUÇLAR VE ÖNERİLER	56
5.1. Sonuçlar	56
5.2. Öneriler	57
6. KAYNAKLAR	58

SİMGELER VE KISALTMALAR

Simgeler

a^*	: (a+) kırmızı ve (a-) yeşil renk değeri
a_w	: Su aktivitesi
b^*	: (b+) sarı ve (b-) mavi renk değeri
cm	: Santimetre
dk	: Dakika
g	: Gram
L^*	: (0-100) Parlaklık renk değeri
kg	: Kilogram
kDa	: Kilodalton
kPa	: Kilopaskal
m	: Metre
mg	: Miligram
mL	: Mililitre
mm	: Milimetre
mmHg	: Milimetre cıva
nm	: Nanometre
μm	: Mikrometre
μL	: Mikrolitre
Pa	: Paskal
rpm	: (round per minute) Dakikadaki tur sayısı
s	: Saniye
sa	: Saat
v	: Hacim
w	: Ağırlık
$^{\circ}\text{C}$	: Santigrad derece
%	: Yüzde
β	: Beta

Kısaltmalar

BPB	: Bromofenol mavisi
EAI	: Emülsiyon aktivite indeksi
ESI	: Emülsiyon stabilite indeksi
DK	: Dondurarak kurutma
KK	: Köpük kapasitesi
KS	: Köpük stabilitesi
KPK	: Kırınım pencereleli kurutma
PK	: Püskürtmeli kurutma
VK	: Vakum kurutma

ŞEKİLLER DİZİNİ

Şekil 2. 1. Laboratuvar tipi ultrafiltrasyon cihazının şematik gösterimi (Walsh., 2007) .	8
Şekil 2. 2. Kolza tohumu küspesinden izolat üretimi (Yoshie-Stark ve ark., 2008)	9
Şekil 2. 3. Döner tepsili kabin tipi kurutucu (Akbulut ve ark., 2019)	11
Şekil 2. 4. Püskürtmeli kurutma sisteminin şematik diyagramı (Özdemir ve ark., 2021)	12
Şekil 2. 5. Vakumlu kurutma sisteminin şematik diyagramı: (1) kurutma odası, (2) dahili su deposu, (3) vakum göstergesi, (4) vakum boşaltma valfi, (5) su halkalı vakum pompası, (6) sıcak su besleme pompası, (7) saat camı, (8) elektrot kazanı, (9) motorlu sıcak su pompası, (10) motor, vakum pompası, (11) su seviye göstergesi, (12) boru, (13) tek yönlü vana, (14) tahliye vana, (15) besleme için sıcak su deposu, (16) vakum odası plakası (Jena ve Das, 2007)	13
Şekil 2. 6. Dondurarak kurutma sisteminin şematik diyagramı (Vega-Mercado ve ark., 2001)	14
Şekil 2. 7. Kırınım Pencereli Kurutma Sisteminin Şematik Diyagramı (Raghavi ve ark., 2018)	15
Şekil 3. 1. Fındık peleti (a) ve fındık unu (b)	25
Şekil 3. 2. Fındık Çökeltisi	26
Şekil 3. 3. Denemelerde kullanılan kurutucu (a) ve toplama haznesinde birikmiş kurutulmuş ürün (b)	27
Şekil 3. 4. Kurutma esnası (a) ve kurutulmuş ürün (b)	27
Şekil 4. 1. Fındık proteini izolatlarına ait renk çıktısı	36
Şekil 4. 2. Farklı kurutma yöntemleriyle kurutulan fındık proteini izolatlarının parçacık boyutu dağılım grafikleri	43
Şekil 4. 3. Kırınım pencere (a) ve püskürtmeli (b) kurutma yöntemleriyle kurutulan fındık proteini izolatlarının genel görünümü	43

ÇİZELGELER DİZİNİ

Çizelge 2. 1. Özelliklerine göre proteinlerin ayrılma işlemleri (Kumar ve Sharma, 2015)	6
Çizelge 3. 1. Kırınım pencereli kurutma yöntemiyle kurutulan örneklerinin kuruma süresi.....	28
Çizelge 3. 2. Carr indeksi, Hausner oranı ve akışkanlık ilişkisi	29
Çizelge 4. 1. Fındık proteini izolatlarının kuru madde miktarı, su aktivitesi ve protein içeriği değerleri ¹ ve bu değerlere ait Duncan Çoklu Karşılaştırma Testi sonuçları ²	34
Çizelge 4. 2. Fındık proteini izolatlarının kuru madde miktarı, su aktivitesi ve protein içeriğine ait varyans analiz sonuçları	34
Çizelge 4. 3. Fındık proteini izolatlarının L*, a* ve b* değerleri ¹ ve bu değerlere ait Duncan Çoklu Karşılaştırma Testi sonuçları ²	36
Çizelge 4. 4. Fındık proteini izolatlarının L*, a* ve b* değerlerine ait varyans analiz sonuçları	37
Çizelge 4. 5. Fındık proteini izolatlarının farklı pH seviyelerindeki çözünürlük değerleri ¹ ve bu değerlere ait Duncan Çoklu Karşılaştırma Testi sonuçları ²	38
Çizelge 4. 6. Fındık proteini izolatlarının farklı pH seviyelerindeki çözünürlük değerlerine ait varyans analiz sonuçları	40
Çizelge 4. 7. Fındık proteini izolatlarının hacim ağırlıklı ortalama parçacık boyutu değerleri ¹ ve bu değerlere ait Duncan Çoklu Karşılaştırma Testi sonuçları ²	41
Çizelge 4. 8. Fındık proteini izolatlarının parçacık boyutu değerlerine ait varyans analiz sonuçları	44
Çizelge 4. 9. Fındık proteini izolatlarının yoğunluk ve akış özellikleri değerleri ¹ ve bu değerlere ait Duncan Çoklu Karşılaştırma Testi sonuçları ²	45
Çizelge 4. 10. Fındık proteini izolatlarının yığın yoğunluğu, sıkıştırılmış yoğunluk, Hausner oranı ve Carr indeksi değerlerine ait varyans analiz sonuçları	46
Çizelge 4. 11. Fındık proteini izolatlarının su/yağ tutma kapasitesi ve yüzey hidrofobitesi değerleri ¹ ve bu değerlere ait Duncan Çoklu Karşılaştırma Testi sonuçları ²	47
Çizelge 4. 12. Farklı yöntemlerle kurutulan bitkisel kaynaklı protein tozlarının su ve yağ tutma kapasitesi	48
Çizelge 4. 13. Fındık proteini izolatlarının su/yağ tutma kapasitesi ve yüzey hidrofobitesi değerlerine ait varyans analiz sonuçları	49
Çizelge 4. 14. Fındık proteini izolatlarının emülsiyon aktivite indeksi (EAI) ve emülsiyon stabilite indeksi (ESI) değerleri ¹ ve bu değerlere ait Duncan Çoklu Karşılaştırma Testi sonuçları ²	51
Çizelge 4. 15. Fındık proteini izolatlarının emülsiyon aktivite indeksi (EAI) ve emülsiyon stabilite indeksi (ESI) değerlerine ait varyans analiz sonuçları	52
Çizelge 4. 16. Fındık proteini izolatlarının köpük kapasitesi ve köpük stabilitesi değerleri ¹ ve bu değerlere ait Duncan Çoklu Karşılaştırma Testi sonuçları ²	54
Çizelge 4. 17. Fındık proteini izolatlarının köpük kapasitesi (KK) ve köpük stabilitesi (KS) değerlerine ait varyans analiz sonuçları	55

1. GİRİŞ

Sağlıklı bir yaşam için elzem besin maddelerinden biri olan proteinler, büyüme, gelişme ve hücrelerin onarılmasında rol oynarlar. İhtiyaç duyulan protein gereksinimi şimdiye dek daha çok hayvansal kaynaklı proteinden sağlanmaktaydı. Ancak nüfusun artmasıyla hayvansal protein kaynaklarının yetersiz kalması, hayvancılığın çevreye etkisi ve beslenme trendleri alternatif protein kaynakları gereksinimini ortaya çıkarmıştır (Çetiner ve Ersus Bilek, 2018).

Temel anlamda et ve et ürünleri, biyolojik değeri yüksek protein, vitamin ve mineral içermesinin yanı sıra kolesterol ve doymuş yağ asitlerini de yüksek oranda ihtiva etmektedir. Bu sebeple sağlık açısından incelendiğinde, fazla miktarda et tüketimi kanser ve kardivasküler hastalık riskini artırmaktadır. Ayrıca hayvan hastalıkları, sağlıklı gıdalara olan yönelim, hayvansal protein ikamelerinin artan kabulü, dini inanışlar ve et fiyatlarındaki yükseliş gibi nedenler dolayısıyla bitkisel proteinlerin tüketimi artış göstermektedir (Asgar ve ark., 2010).

Bitkisel kaynaklı proteinler tahıllar, bakliyatlar ve yağlı tohumlar gibi geniş ürün yelpazesine sahiptir. Yağlı tohumlar, sahip oldukları yüksek yağ oranından ötürü daha çok yağ sanayisinde değerlendirilmektedir. Tohumlardan yağ ekstraksiyonu sonrasında meydana gelen kısım küspe olarak adlandırılır (Çetiner ve Ersus Bilek, 2018). Yağlı tohum küspeleri, bitkisel yağ üretiminin yan ürünleridir ve potansiyel protein kaynaklarını oluşturmaktadır (Sari ve ark., 2013). Ülkemiz için oldukça öneme sahip bir ihraç ürünü olan fındık, yağı çıkarıldıktan sonra elde edilen küspesinde fazla miktarda protein ihtiva etmektedir. Hem ekonomik açıdan hem de sahip olduğu yüksek besin değeri sebebiyle değerli bir gıda olan fındıktan olabildiğince fazla yararlanılmak istenmektedir (Başaran, 2015).

Bitkisel proteinlerden maksimum ölçüde faydalanmak amacıyla çöktürme, kromatografi, elektroforez, santrifüj ve ultrafiltrasyon gibi farklı saflaştırma yöntemleri kullanılmaktadır. İzoelektrik çöktürme yöntemi üretimde kolay uygulanabilirlik, ekonomiklik ve yüksek randıman gibi sebeplerle sıklıkla tercih edilmektedir (Akyüz ve Ersus Bilek, 2018). Bitkisel proteinler; konsantre (protein konsantrasyonu %65'ten fazla) ya da izolat (protein konsantrasyonu %80'den fazla) şeklinde işlenebilmektedirler (Boye ve ark., 2010).

Besin değerini yükseltmek ve arzu edilen spesifik fonksiyonel özellikleri sağlamak amacıyla bitkisel proteinler gıdalara ilave edilebilmektedirler. Çözünürlük, su

ve yağ bağlama kapasitesi, köpürme, emülsifikasyon ve jelleşme proteinlerin gıda endüstrisine fayda sağlayan fonksiyonel özelliklerindendir (Moure ve ark.,2006; Boye ve ark., 2010). Proteinlerin fonksiyonel özellikleri, gıdalardaki protein davranışını yöneten fizikokimyasal özelliklerle de ilişkilidir (Rodrigues ve ark., 2012; Elsohaimy ve ark., 2015).

Protein izolasyonunun ardından elde edilen protein konsantreleri/izolatları kimyasal ve mikrobiyal stabiliteyi sağlamasına ek olarak düşük nakliye giderleri gibi avantajlarının bulunması sebebiyle genel olarak kurutulmaktadır (Berghout ve ark., 2015). Kullanılan kurutma yöntemi proteinlerin fizikokimyasal ve fonksiyonel özelliklerini etkileyebilmektedir. Bu sebeple uygun kurutma yönteminin seçilmesi önem taşımaktadır (Joshi ve ark., 2011; Shen ve ark., 2021). Yüksek kaliteye sahip son ürün eldesine imkan veren püskürtmeli kurutma, sürekli ve kolay uygulanabilir çalışma prensibinden dolayı yaygın olarak kullanılan yöntemlerden biridir (Özdemir ve ark., 2021). Kırınım pencereless kurutma yöntemi, püskürtmeli kurutma yöntemine göre daha yeni bir yöntemdir. Ürünlerin kuruma sürelerinin kısa ve kalitelerinin yüksek olmasının yanı sıra enerji tasarrufu açısından da olumlu bir etkisinin bulunması, kırınım pencereless kurutmayı son yılların dikkat çeken bir yöntemi haline getirmiştir (Baeghbali ve Niakousari, 2018; Raghavi ve ark., 2018).

Bu çalışmada, yağı alınmış fındık küspesinden alkali ekstraksiyon ve izoelektrik çöktürme metoduyla protein izolasyonunun ardından elde edilen izolatın püskürtmeli kurutma (PK) ve kırınım pencereless kurutma (KPK) yöntemleriyle kurutulması amaçlanmıştır. Farklı kurutma yöntemleriyle hazırlanan fındık proteini izolatlarının, fizikokimyasal ve teknolojik olarak önemli fonksiyonel özellikleri incelenmiş ve değerlendirilmiştir.

2. KAYNAK ARAŞTIRMASI

2.1. Bitkisel Proteinlerin Fonksiyonel Özellikleri

Proteinlerin fonksiyonel özellikleri; hazırlama, işleme, depolama ve tüketim esnasında proteinlerin davranışlarına etki eden fiziksel ve kimyasal özellikler şeklinde tanımlanmaktadır. Bu özellikler aynı zamanda gıdaların kalite parametreleri ve organoleptik nitelikleri üzerinde de etkilidir (Kinsella, 1982).

Farklı protein kaynaklarının sahip olduğu fonksiyonel özellikler değişiklik göstermekle birlikte, protein kaynağının elde edilmesinde kullanılan yöntemler ya da uygulanan diğer işlemler de fonksiyonel özellik üzerinde etkili olmaktadır (Yavuz ve Özçelik, 2016).

2.1.1. Çözünürlük

Çözünürlük; köpürme, emülsifikasyon ve jelleşme gibi diğer fonksiyonel özelliklerle yakından alakalı olduğu için farklı gıda uygulamalarında protein uygunluğunu değerlendirmek için kullanılan bir özelliktir (Kiosseoglou ve ark., 2021).

Proteinler genellikle suda çözünürler. Bunun sebebi su molekülleri ile proteinlerin yapılarında bulunan hidrofilik/polar amino asitlerin birbirleriyle olan etkileşimidir. Çözelti içerisinde bulunan proteinlerin çözünürlüğü, sıcaklığa, pH değerine, iyonik kuvvete ve tuz konsantrasyonuna bağlı olarak değişmektedir (Bonner, 2007).

İzoelektrik nokta, tüm proteinlerin sahip olduğu ve herhangi bir net yüklerinin bulunmadığı pH'dır. İzoelektrik noktası proteinler arasında farklılık göstermekle birlikte, her protein kendi izoelektrik noktasında en düşük çözünme özelliği gösterir (Ünlüsayın, 2009). İzoelektrik nokta proteinlerin amino asit yapısına bağlı olarak saptanmaktadır. Yüksek oranda bazik amino asitleri içeren proteinlerin (lizin ve arginin gibi) izoelektrik noktası 7.0'dan yüksek olurken, asidik amino asitleri ağırlıklı olarak içeren proteinlerin (aspartik asit ve glutamik asit gibi) ise izoelektrik noktası 7.0'dan düşüktür (Rodrigues ve ark., 2012).

Bezelye, bakla ve soya fasulyesi proteini izolatlarının çözünürlüklerinin değerlendirildiği bir çalışmada; incelenen pH seviyeleri arasında (pH 2-12) örneklerin çözünürlüklerinin, pH 4 ila 6'da en düşük olduğu belirlenmiştir. Soya fasulyesi ve bakla proteini izolatları için sırasıyla, pH 8 ve 9'da en yüksek çözünürlüğün elde edildiği

gözlemlenmiştir. Bezelye proteini izolatlarının ise diğer protein izolatlarına kıyasla çözünürlüğünün daha düşük olduğu saptanmıştır (Fernandez-Quintela ve ark., 1997).

2.1.2. Emülsifiye edici özellikler

Sulu bir ortamda yayılmış olan yağ damlacıklarının etrafında bir film meydana getiren proteinler, emülsifikasyon görevi görürler. Böylelikle çökme, koalesens, damlacık birleşmesi ve krema ayrılması gibi yapı bozulmalarını önlerler. Emülsifikasyon aktivitesi ve emülsifikasyon stabilitesi, proteinlerin emülsifiye edici özelliklerini gözlemlemek amacıyla sıkça kullanılan iki unsurdur. Emülsifikasyon aktivitesi, birim protein başına emülsiyon haline gelen yağ miktarını belirlerken; emülsifikasyon stabilitesi ise belirli bir zaman süresince emülsiyonun yapısındaki değişimlere karşı direnme kabiliyetini belirlemektedir (Boye ve ark., 2010; Yavuz ve Özçelik, 2016).

Yapılan bir çalışmada; nohut proteini izolatlarının emülsifiye edici özelliklerinin pH ve iyonik kuvvetten önemli oranda etkilendiği belirlenmiştir. Bu sebeple pH değerinde ve iyonik güçte yapılacak olan değişiklikler ile nohut proteini izolatında istenilen emülsifiye edici özelliklerin sağlanabileceği ifade edilmiştir (Zhang ve ark., 2009).

2.1.3. Köpürme özellikleri

Proteinlerin hava-su arayüzeyinde açılması, absorbe edilmesi ve hava kabarcıkları etrafında film oluşturmasıyla köpükler meydana gelmektedir. Köpürme özellikleri üzerine farklı proteinlerin farklı yetenekleri bulunmaktadır. Bu durum emülsifiye edici özelliklerinde de olduğu gibi, proteinlerin sahip olduğu farklı fiziksel özellikler ile alakalıdır (Söderberg, 2013). Köpürme özelliklerini değerlendirmek amacıyla genellikle köpük genleşmesi, köpük kapasitesi ve köpük stabilitesi unsurları kullanılmaktadır. Köpük kapasitesi veya köpük genleşmesi, çırpma bağlı hacim (%) artışını; köpük stabilitesi ise belirli bir zaman süresince (0-30 dakika) köpük hacminde meydana gelen değişimi ifade etmektedir (Boye ve ark., 2010).

Yapılan bir çalışmada; pirinç kepeği izolatının ve yumurta beyazının benzer köpürme özelliklerine sahip oldukları belirtilmiştir. Yumurtada bulunan albümin proteini, köpürme özelliklerinin iyi olmasından ötürü proteinler arasında yapılan köpürme kıyaslamalarında sıkça kullanılmaktadır (Wang ve ark., 1999).

2.1.4. Jelleşme

Proteinlerin sahip olduğu diğer bir önemli özellik olan jelleşme, pek çok gıda ürününün duyu ve yapısal niteliklerinde önemli bir yere sahiptir. Jelleşmenin genel olarak denatürasyon, agregasyon ve ağ oluşumunu kapsayan birkaç basamaktan meydana gelen kompleks bir süreç olduğu belirtilmektedir (Ge ve ark., 2020).

Acı bakla proteini izolatının ve soya proteini izolatının jelleşme özelliklerinin karşılaştırıldığı bir çalışmada; acı bakla proteini izolatının oluşturduğu jellerin, daha zayıf ve deforme olduğu, ısıya daha dayanıklı olduğu ve viskozitesinin daha düşük olduğu saptanmıştır. Bu çalışmayla katı gıda ürünlerinde uygulanabilirliği oldukça fazla olan soya proteini izolatının aksine, acı bakla proteini izolatının katı gıda ürünlerinde daha az elverişli olabileceği belirlenmiştir. Ancak ısıtılma sonrasında düşük viskozite istenilen yüksek proteinli gıdalar için acı bakla proteini izolatının fırsat oluşturabileceği ifade edilmiştir (Berghout, 2015).

2.1.5. Su bağlama kapasitesi

Protein materyalinin gramı başına emdiği su miktarı, su bağlama kapasitesi (su emme kapasitesi olarak da tanımlanır) olarak adlandırılır. Su bağlama kapasitesini belirlemek için kullanılan yöntemler farklılık gösterebilmektedir (Boye ve ark., 2010). Bu amaçla sıklıkla uygulanan yöntemlerden birisi, protein partiküllerin fazla miktarda su içerisinde dispersiyonunun yapılması ve santrifüjlenmesidir. Ardından meydana gelen süpernatant atılır ve pelet üzerinden su bağlama kapasitesi hesaplanır (Peters ve ark., 2017). Su bağlama kapasitesinin ölçülmesi, gıda işleme endüstrisinde de önem arz etmektedir. Düşük su bağlama kapasitesine sahip olan malzemeler suyu etkin bir biçimde tutamazken, yüksek su bağlama kapasitesine sahip olan malzemeler ise özellikle depolama esnasında gıda ürünlerinin kırılgan ve kuru bir hale gelmesine sebebiyet verebilmektedirler (Boye ve ark., 2010).

Yapılan bir çalışmada; bakla proteini izolatının su bağlama kapasitesinin (1.8 g/g), bezelye ve soya fasulyesi proteini izolatlarının su bağlama kapasitesinden (sırayla 1.7 g/g ve 1.3 g/g) yüksek olduğu belirlenmiştir (Fernandez-Quintela ve ark., 1997).

2.1.6. Yağ bağlama kapasitesi

Protein materyalinin gramı başına emdiği yağ miktarı, yağ bağlama (yağ emme kapasitesi olarak da tanımlanır) kapasitesi olarak adlandırılır (Boye ve ark., 2010). Yağ bağlama kapasitesini belirlemek amacıyla sıklıkla kullanılan yöntemlerden birisi, numunenin fazla miktarda yağ ile karıştırılıp santrifüj edilmesi ve ardından emilen yağ miktarının hesaplanmasıdır. Gıdanın lezzetini, dokusunu, ağızda bıraktığı hissi ve verimini etkileyen yağ bağlama kapasitesi unlu mamuller, şekerlemeler, içecekler ve et analogları gibi gıda ürünlerinin üretiminde de önem arz etmektedir (Wang ve ark., 2020).

Yapılan bir çalışmada; bakla proteini izolatının yağ bağlama kapasitesinin (1.6 g/g), bezelye ve soya fasulyesi proteini izolatlarının yağ bağlama kapasitesinden (sırayla 1.2 g/g ve 1.1 g/g) yüksek olduğu belirlenmiştir (Ferdandez-Quintela ve ark., 1997).

2.2. Bitkisel Proteinlerin Saflaştırılması

Biyolojik aktivitesinde bir azalma olmadan hücre ekstraktından protein izolasyonuna, protein saflaştırılması denilmektedir. Proteinler biyolojik aktivitelerini belirli bir sıcaklık ve pH aralığında sergiledikleri için saflaştırılmasında yararlanılacak yöntemler proteinin fiziksel, kimyasal ve biyolojik özellikleri göz önünde bulundurularak belirlenmelidir (Ünlüsayın ve ark., 2009). Proteinlerin sahip olduğu çeşitli özelliklere göre kullanılan ayırma işlemleri Çizelge 2.1’de gösterilmiştir.

Çizelge 2. 1. Özelliklerine göre proteinlerin ayrılma işlemleri (Kumar ve Sharma, 2015)

Ayrırma Yöntemi	Özellik
1. Çöktürme	
Amonyum sülfat	Çözünürlük
Aseton	Çözünürlük
İzoelektrik	Çözünürlük, pH
2. Kromatografi	
İyon Değişimi K.	Yük, yük dağılımı
Jel Filtrasyon K.	Boyut, şekil
3. Elektroforez	
Jel Elektroforezi	Yük, boyut, şekil
4. Santrifüj	Boyut, şekil
5. Ultrafiltrasyon	Boyut, şekil

Çöktürme, nispeten ekonomik olması, basit ve yaygın kullanılan ekipmanlar gerektirmesi, sürekli yapılabilme olanağı ve depolamanın uzun sürdüğü durumlarda

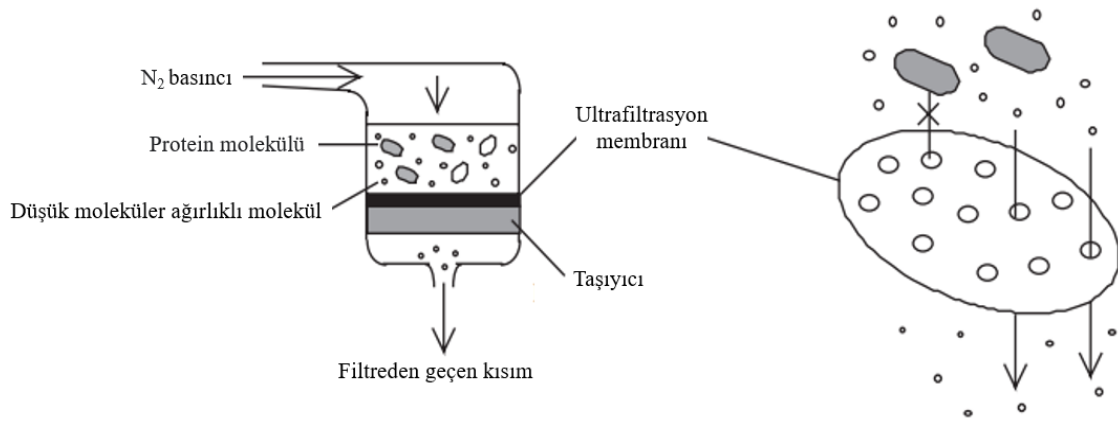
proteinlerin genellikle stabil bir formda olması sebebiyle yaygın olarak kullanılan bir saflaştırma yöntemidir (Harrison ve ark., 2015).

Proteinlerin, çözeltinin pH değerinde ayarlama yapılarak çöktürüldüğü yönteme izoelektrik çöktürme adı verilmektedir (Akyüz ve Ersus Bilek, 2018).

İzoelektrik çöktürme yönteminde genel itibariyle hammadde çözücü olarak kullanılan su içerisinde belirlenen bir oranda dağıtılır. Elde edilen karışımın pH değeri alkali (pH 8-11) olacak şekilde ayarlama yapılır. Karışım proteinlerin çözünürlüğünün en üst seviyeye ulaşması için belirlenen bir zaman aralığında ve sıcaklıkta bekletilerek protein ekstraksiyonu gerçekleştirilir. Sonrasında karışım çözünmeyen materyallerin uzaklaştırılması amacıyla filtre edilir ve elde edilen özütün pH değeri izoelektrik noktasına (pH 4-5) ayarlanarak proteinler çöktürülür. Ardından proteinlerin geri kazanımını sağlamak amacıyla santrifüjleme, tuzların uzaklaştırılması için yıkama, nötrleştirme ve kurutma aşamaları uygulanır (Boye ve ark., 2010; Akyüz ve Ersus Bilek, 2018).

Ultrafiltrasyon, sık sık izoelektrik çöktürmeye alternatif olarak uygulanan basınç ile çalışan bir ayırma işlemidir. Bu yöntemde, alkali ya da asit ekstraksiyonunun ardından ortaya çıkan süpernatant ultrafiltrasyon işlemine tabi tutulur (Klupšaitė ve Juodeikienė, 2015). Kullanılan membranlar, değişen moleküler ağırlık ayırma değerlerine (*molecular weight cut-off*) sahiptirler (Bonner, 2007). En sık kullanılan membranlar, molekül ağırlığı ayırma sınırı 3, 10, 30, 50 ve 100 kDa olanlardır. Genel olarak ultrafiltrasyon membranları selüloz asetat veya selüloz nitrattan üretilse de polivinil klorür ya da polikarbonat da kullanılabilir (Walsh, 2007).

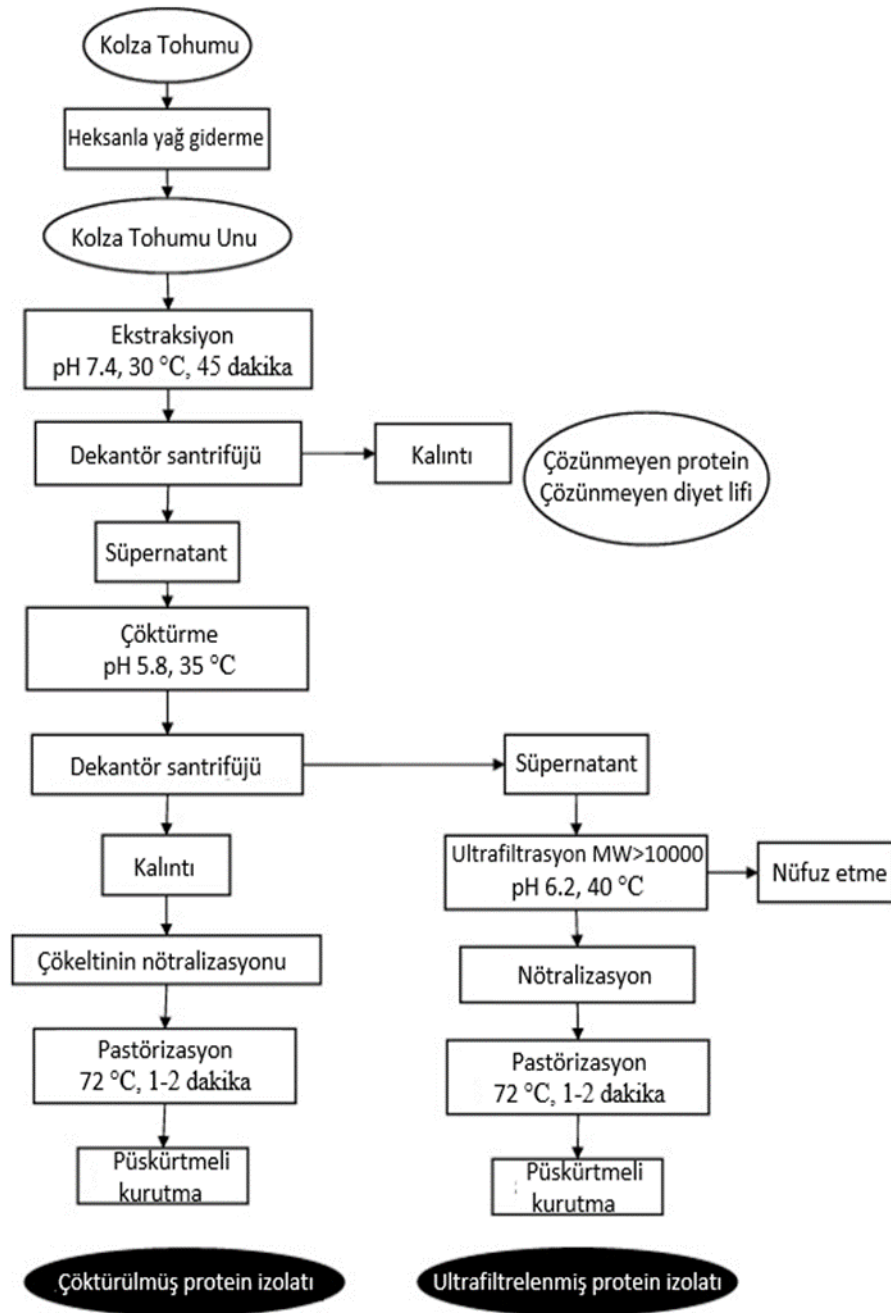
Ultrafiltrasyon işleminde genel olarak karıştırıcılı hücre sistemi kullanılmaktadır. Membran, hücre bölmesinin alt tarafında mevcut olan ağ şeklindeki bir destekleyici (taşıyıcı) üzerine yerleştirilir ve sonrasında konsantre edilmesi istenen örnek membranın üstüne aktarılır. Yeterli düzeyde akışı sağlamak amacıyla çoğunlukla nitrojen gazı ile basınç uygulaması yapılır (Walsh, 2007). Ultrafiltrasyon membranları, 75 psi'yi geçen yüksek basınç uygulamalarına dayanacak biçimde üretilmişlerdir (Evans ve ark., 2009). Filtrenin gözenek ebatından moleküler ağırlığı daha az olan bileşikler, su ve tuz tamamen filtreden geçerken, moleküler ağırlığı daha fazla olan protein çözeltisi ise filtrenin üzerinde kalır ve konsantre olur (Walsh, 2007) (Şekil 2.1.).



Şekil 2. 1. Laboratuvar tipi ultrafiltrasyon cihazının şematik gösterimi (Walsh., 2007)

Örnek konsantre oldukça membranın kirlenmesini azaltmak amacıyla, manyetik bir karıştırıcı kullanılır ya da çalkalama işlemi yapılır (Bonner, 2007). Bilhassa emülsifiye edici özellikler bakımından, ultrafiltrasyon yöntemi ile elde edilen örnekler, izoelektrik çöktürmeyle elde edilmiş olanlara kıyasla daha iyi özelliklere sahiptir (Rodrigues ve ark., 2012). Öte yandan proteinlerin kullanılan membranlara yapışabilmesi sonucunda kayıpların meydana gelmesi ultrafiltrasyonun en önemli dezavantajlarından (Novák ve Havlíček, 2016).

Yoshie-Stark ve ark. (2008), kolza tohumu küspesini izoelektrik çöktürme ve ultrafiltrasyon işlemlerini kullanarak iki ayrı protein izolatu şeklinde hazırlamışlar ve püskürtmeli kurutma yöntemiyle kurutmuşlardır. İzolatlar hazırlanırken izlenilen adımlar Şekil 2.2’de gösterilmiştir.



Şekil 2. 2. Kolza tohumu küspesinden izolat üretimi (Yoshie-Stark ve ark., 2008)

Çalışmanın sonucunda çöktürülerek üretilen protein izolatının %70.8, ultrafiltrasyon ile saflaştırılmış protein izolatının ise %98.7 oranında protein içeriğine sahip olduğu belirlenmiştir. İzolatların farklı pH düzeylerinde (3 ila 9) çözünürlükleri incelendiğinde, ultrafiltrasyon ile saflaştırılmış protein izolatının çözünürlüğünün bütün pH düzeylerinde, çöktürülmüş protein izolatının çözünürlüğünden daha fazla olduğu gözlemlenmiştir. Ultrafiltrasyon yöntemiyle üretilen protein izolatının çözünürlüğü pH 3

ila 9 aralığında %52.5-97.2 olarak belirlenmiştir. Öte yandan, çöktürme yöntemiyle üretilen izolatın pH 3 ve 4'te çözünmediği, en yüksek çözünürlük değerinin pH 7 ila 9 aralığında %26.4 olduğu görülmüştür. İzolatların emülsifikasyon kapasitesi ve stabilitesi karşılaştırıldığında ultrafiltrasyon ile saflaştırılmış protein izolatının, çökeltilmiş protein izolatından daha yüksek değerlere sahip olduğu saptanmıştır. Ayrıca ultrafiltrasyon ile saflaştırılmış protein izolatının emülsifikasyon kapasitesi ve stabilitesinin, bütün bir yumurtadan daha yüksek değere sahip olurken, yumurta beyazından ise daha düşük değere sahip olduğu gözlemlenmiştir. Çalışmada ultrafiltrasyon yöntemiyle üretilen protein izolatının sahip olduğu fonksiyonel özelliklerin daha iyi olduğu belirlenmiştir (Yoshie-Stark ve ark., 2008).

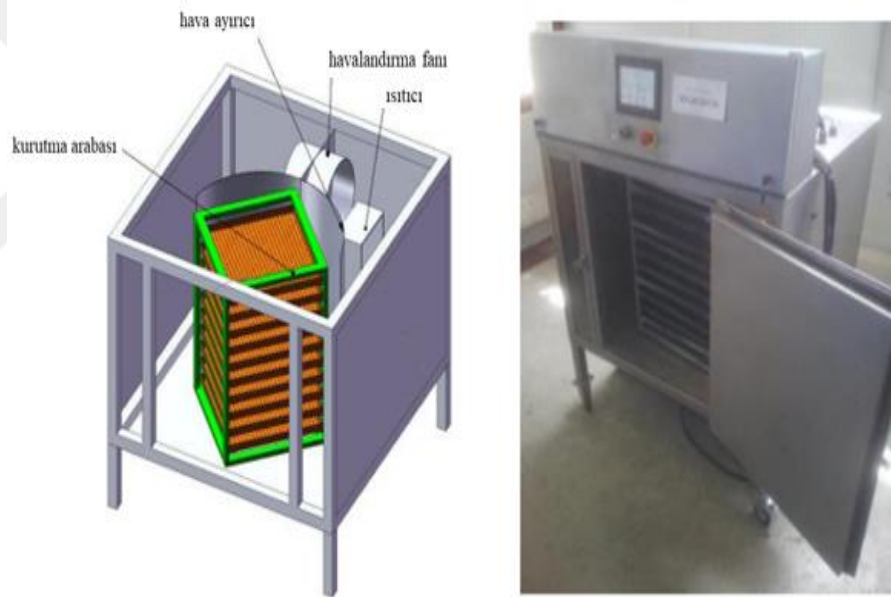
2.3. Bitkisel Proteinlerin Kurutulmasında Kullanılan Yöntemler

Kurutma, kimyasal tepkimelerin ve mikroorganizmaların sebep olduğu bozulmanın durdurulması ya da yavaşlatılması için su aktivitesinin düşürülmesi işlemidir (Bingöl, 2010). Kurutma işlemiyle gıdaların uzun süreli muhafazaları mümkün olmaktadır (Gürel ve ark., 2016). Taşıma ve depolama açısından da kolaylık sağlayan kurutma işleminin diğer faydalarıysa, başka muhafaza yöntemleri uygulanan gıdalara nazaran besin değerlerinin korunması, ekonomik açıdan değere sahip olan farklı gıdaların imalatına imkan vermesi, değişik damak tatlarına uygun olabilecek yeni ürünlerin geliştirilmesini sağlaması ve zirai üretim artıklarının (kabuk, posa, küspe gibi) tekrardan değerlendirilmesine olanak vermesidir (Kaya, 2019).

Son ürün kalitesi ve enerji tüketimi bakımından süreci en iyi şekilde kullanmak amacıyla yapay kurutma teknolojileri dört grup ya da dört nesil adı altında incelenmektedirler. Dolap ve yatak tipi kurutucular (fırın, tepsi, konveyör, tünel vs.) birinci nesil iken, püskürtmeli ve tamburlu kurutucular ikinci nesil kurutma yöntemlerindedir. Üçüncü nesilde dondurarak ve ozmotik kurutma yer almaktadır. Dördüncü nesil kurutucular arasında ise yüksek vakum, mikrodalga, kızılötesi, radyofrekans, ısı pompalı akışkan yataklı kurutma, kırınım pencereci ve diğer hibrit kurutma metotları bulunmaktadır (Vega-Mercado ve ark., 2001; Nindo ve Tang, 2007; Raghavi ve ark., 2018). Bitkisel proteinlerin kurutulmasında tercih edilen bazı kurutma yöntemleri aşağıda verilmiştir.

2.3.1. Kabin kurutma

Kabin kurutucular veya diğer adıyla tepsili kurutucular, en basit haliyle ısıtmayı sağlayan bir rezistans, fan ve tepsilerden meydana gelmektedir. Kullanılan tepsiler birden çok kata da sahip olabilmektedir. Ayrıca bu tip kurutucularda zamanla değişen nem kaybının görülebilmesi için, ürün ağırlığındaki farklılıkları devamlı olarak ölçen bir terazi de mevcut olabilir. Bu yöntemde kurutma, tepsilere konulan ürünlerin içerisinden sıcak hava geçirilmesi ile sağlanır. Ancak tepsilerin farklı noktalarında hava sıcaklığı ve hızının değişkenlik gösterebilmesi homojen bir kurutma yapılmasına engel olmaktadır. Kabin kurutucuların bir diğer dezavantajı ise, kapasitelerinin sınırlı bir kurutmaya imkan tanımasıdır (Akar, 2017). Tipik bir döner tepsili kabin tipi kurutucunun ana bileşenleri Şekil 2.3’de gösterilmiştir.

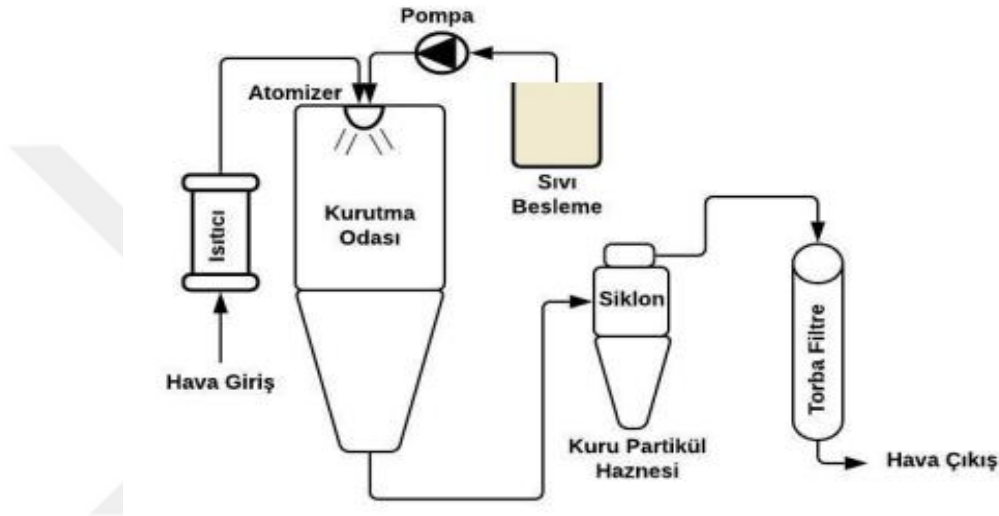


Şekil 2. 3. Döner tepsili kabin tipi kurutucu (Akbulut ve ark., 2019)

2.3.2. Püskürtmeli kurutma

Genellikle bulamaç ve püre formundaki ürünlerin kurutulmasında kullanılan püskürtmeli kurutma yönteminde, sıvı hammadde devamlı olarak sıcak bir kurutma ortamına püskürtülür (atomize edilir). Nemin buharlaşmasıyla sonuçlanan bu işlemde, ürün sıvı halden önce damlacıklara ardından da kurutulmuş parçacıklara dönüşmektedir. Üründe istenilen nem düzeyi sağlanıncaya kadar kurutma devam eder. Sürekli ve basit

bir kurutma yöntemi olması püskürtmeli kurutmanın avantajları arasında yer almaktadır (Vega-Mercado ve ark., 2001). Bu yöntemle elde edilen tozların kalitesi, kurutma havasına (akış hızı ve basınç/sıcaklık), kurutma odasına beslenen çözelti özelliklerine (akış hızı, viskozite vb.), kurutma ortamındaki damlacıklar ile sıcak hava arasında oluşan temas miktarına, yararlanılan atomizer çeşidine ve akış hızına göre farklılık gösterebilmektedir (Özdemir ve ark., 2021). Tipik bir püskürtmeli kurutucu sisteminin ana bileşenleri Şekil 2.4'te gösterilmiştir.

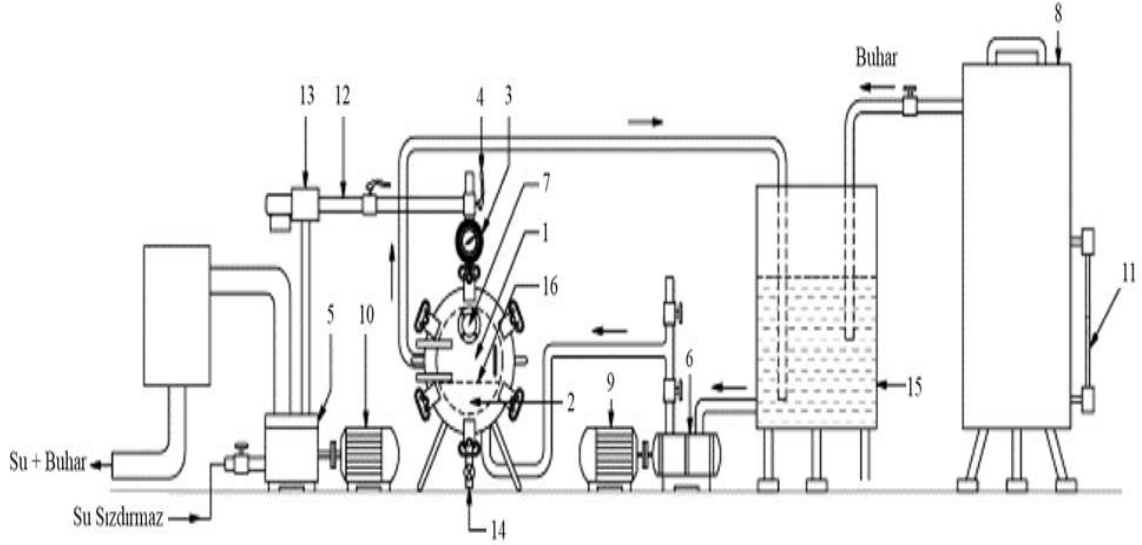


Şekil 2. 4. Püskürtmeli kurutma sisteminin şematik diyagramı (Özdemir ve ark., 2021)

2.3.3. Vakum kurutma

Gıdalarda mevcut olan suyun düşük sıcaklıklarda atmosferik şartlardan daha basit bir şekilde buharlaşması vakum ile mümkün olmaktadır. Su uzaklaştırılırken ortamda havanın olmaması oksidasyon reaksiyonlarının azalmasını sağlamaktadır. Bu yöntemle kurutulan gıdalarda renk, tekstür ve aroma iyi bir biçimde muhafaza edilebilmektedir. Özellikle kuruması zaman alan gıdalarda tercih edilen bu yöntemle ilgili yapılan araştırmalar incelendiğinde, kurutma zamanını öteki yöntemlere göre azalttığı görülmüştür (Erbay ve Küçüköner, 2008). Ancak bu yöntemin kullanımı sınırlı bir seviyede kalmıştır. Bunun sebebi kesikli bir yöntem olması ve vakum uygulaması için ilave donanım gerekmesi gibi nedenlerle ilk yatırım ve işletme maliyetlerinin fazla

olmasıdır (Soysal ve ark., 2009). Tipik bir vakumlu kurutma sisteminin ana bileşenleri Şekil 2.5’de gösterilmektedir.

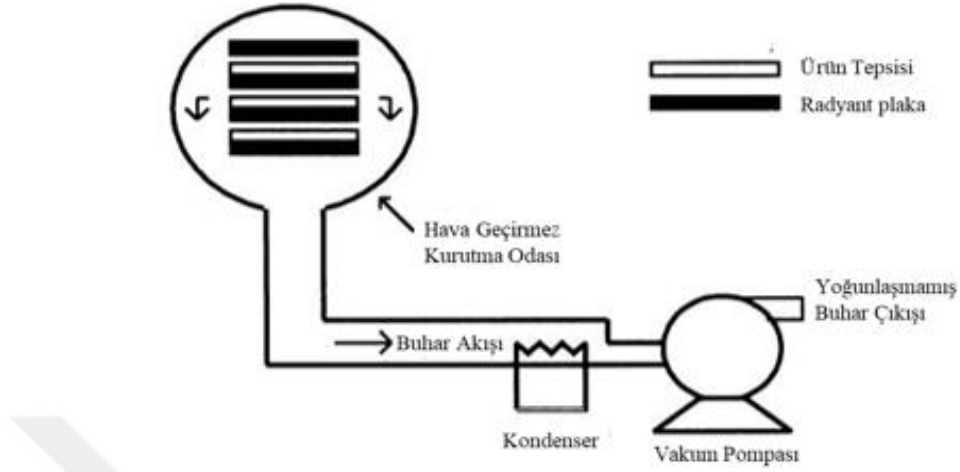


Şekil 2. 5. Vakumlu kurutma sisteminin şematik diyagramı: (1) kurutma odası, (2) dahili su deposu, (3) vakum göstergesi, (4) vakum boşaltma valfi, (5) su halkalı vakum pompası, (6) sıcak su besleme pompası, (7) saat camı, (8) elektrot kazanı, (9) motorlu sıcak su pompası, (10) motor, vakum pompası, (11) su seviye göstergesi, (12) boru, (13) tek yönlü vana, (14) tahliye vana, (15) besleme için sıcak su deposu, (16) vakum odası plakası (Jena ve Das, 2007)

2.3.4. Dondurarak kurutma

Dondurulmuş gıdalardaki suyun, düşük sıcaklıklarda süblimasyon yoluyla uzaklaştırılması ilkesine dayanan dondurarak kurutma, taze haline en yakın olacak biçimde ürünlerin özelliklerini koruyan bir yöntemdir. Son üründe görülen yüksek kalitenin yanı sıra kurutma sırasında suyun katı halde bulunması ürün şeklini de muhafaza etmektedir (Erbay ve Küçüköner, 2008). Gıdaların dondurularak kurutulmasının iki ana nedeni bulunmaktadır. Bunlardan ilki, kurutma esnasında havanın bulunmamasının ve işlem sıcaklığının düşük olmasının üründe meydana gelebilecek oksidasyon ve kimyasal modifikasyon kaynaklı bozulmaları engellemesidir. İkincisi ise, yüksek sıcaklık kaynaklı yapı, görünüş ve/veya aroma özelliklerinde farklılık ya da bozulma olan gıdaların, ortam sıcaklığının altındaki sıcaklıklarda vakum altında en az hasarla kurutulabilmesidir (Vega-Mercado ve ark., 2001; Bingöl, 2010). Bu yöntemin en önemli dezavantajları, yüksek kurulum ve işletme maliyetleri ile işlem süresinin uzun olmasıdır (Özdemir ve ark.,

2021). Tipik bir dondurarak kurutma sisteminin ana bileşenleri Şekil 2.6'da gösterilmiştir.



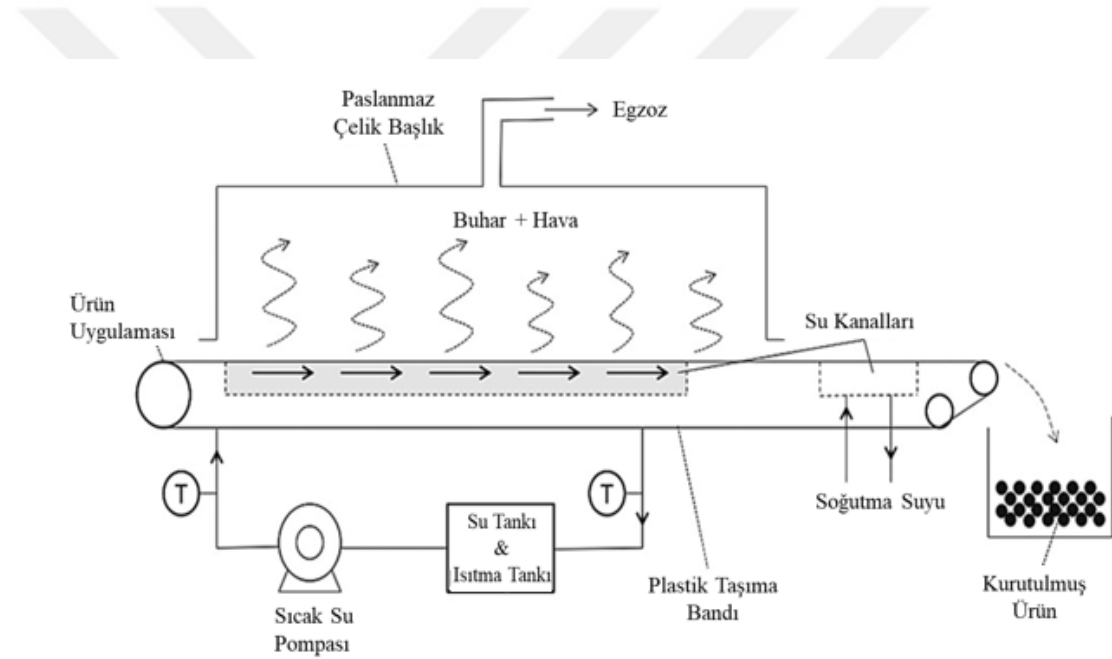
Şekil 2. 6. Dondurarak kurutma sisteminin şematik diyagramı (Vega-Mercado ve ark., 2001)

2.3.5. Kırınım pencereli kurutma

Magoon (1986), tarafından patenti alınan ve MCD Technologies, Inc. (Tacoma, Washington, ABD) tarafından geliştirilen kırınım pencereli kurutma, ısıya karşı hassas olan ürünleri toz, pul veya tabaka şeklinde kurutmak amacıyla kullanılan nispeten yeni bir yöntemdir. Bu yöntemde ince bir kızılötesi şeffaf film (Mylar® film gibi) üzerine kurutulacak olan ıslak malzeme ince bir şekilde yayılır. Film, hareketli ya da sabit olabilmektedir. Hareketli film konfigürasyonunda, çoğunlukla gıda 0,6 ile 3 m/dk aralığındaki kayış hızlarıyla sıcak su ile birlikte hareket ettirilir. Böylelikle dolaşımdaki sıcak sudan, suyun temas halinde olduğu plastik taşıma bandına, ısı aktarımı gerçekleşir. İletim ve radyasyon yoluyla ürüne geçen ısı enerjisinin hızlı transferi sebebiyle gıdada bulunan su, süratle buharlaşır ve bunun sonucunda termal bir denge durumu meydana gelir.

Kurutmaya dair güncel kabul görmüş prensip şu şekildedir: Ürün yokken, plastik-su arayüzünde ortaya çıkan ışıma enerjisi genellikle geri yansıtılır ve çok azı havaya iletilir (ya da kaybedilir). Kurutulacak önemli oranda su ihtiva eden ürün, plastiğin üzerine konulduğunda, su ve gıda arasındaki kırılma indisi uyumsuzluğu yüksek oranda azalır. Kırılma indisleri yaklaşarak bu arayüzdeki yansımayı azaltır ve ışıma enerjisinin

gıdaya iletimini artırır. Plastik malzeme, iyi bir termal radyasyon ileticisi olarak varsayılır (ilgili dalga boylarında termal radyasyona karşı hemen hemen şeffaf olarak kabul görür). Kızılötesi radyasyona (IR) karşı şeffaf olan ince bir plastik tabakadan yararlanılması, sıcak sudan ıslak malzemeye termal radyasyon için, açık bir "pencere" oluşturmaktadır. Söz edilen bu kırılma "penceresi", kurutmanın tamamı boyunca açık olarak bulunmaz. ıslak malzeme kurudukça artan kırılma indisi sonucu yavaş yavaş kapanır. Böylelikle termal radyasyonu keserek örneğin su banyosu sıcaklıklarına gelmesine engel olur. Radyasyon ile ısı transferinin, daha çabuk kuruma sağlayan baskın ısı transfer modlarından biri olduğu öne sürülmektedir (Ortiz-Jerez ve ark., 2015; Raghavi ve ark., 2018). Tipik bir kırınım pencereli kurutma sisteminin ana bileşenleri Şekil 2.7'de gösterilmektedir.



Şekil 2. 7. Kırınım Pencereli Kurutma Sisteminin Şematik Diyagramı (Raghavi ve ark., 2018)

Kırınım pencereli kurutma yöntemiyle kurutulan ürünler, dondurularak kurutulmuş olanlara benzer şekilde yüksek kalitede olmaktadır. Ancak kırınım pencereli kurutmanın dondurarak kurutma işlemine göre ekipman maliyeti ve enerji tüketimi ise daha azdır. Dondurarak kurutmanın yanı sıra püskürtmeli kurutma yöntemiyle karşılaştırıldığında da kırınım pencereli kurutma %33 daha az enerji tüketmektedir (Nindo ve ark., 2007; Baeghbali ve Niakousari, 2018; Raghavi ve ark., 2018).

Meyve, sebze ve baharat gibi birçok gıda kırımın pencerele kurutma yöntemiyle renk, vitamin ve antioksidan özellikleri oldukça iyi korunarak kısa bir zamanda kurutulabilmektedir (Tontul ve ark., 2019). Ayrıca kurutma esnasında ürünün ısı transfer ortamıyla doğrudan temas halinde olmaması nedeniyle çapraz kontaminasyon riski düşüktür. Sağladığı pek çok avantaja karşın bu yöntemin dezavantajı yapışkanlık gösterme eğilimleri fazla olduğu için şeker oranı yüksek gıdaların kurutulmasına pek elverişli olmamasıdır (Moses ve ark., 2014).

2.4. Farklı Kurutma Yöntemlerinin Bitkisel Proteinlerin Özellikleri Üzerine Etkilerinin İncelendiği Çalışmalar

Joshi ve ark. (2011), izoelektrik çöktürme yöntemi ile elde ettikleri mercimek proteini izolatını, dondurarak kurutma, püskürtmeli kurutma ve vakumlu kurutma yöntemleriyle kurutmuşlardır. Çalışmada farklı kurutma yöntemleriyle hazırlanan mercimek proteini izolatlarının, fizikokimyasal ve fonksiyonel özelliklerinin değerlendirilmesi amaçlanmıştır. Dondurarak kurutma yönteminde öncelikle 18°C'de 24 saat süreyle dondurulan örnekler sonrasında -48°C'lik kompresör sıcaklığında ve 0.5 mmHg vakum altında dondurularak kurutulmuştur. Püskürtmeli kurutma yönteminde giriş ve çıkış sıcaklıkları sırasıyla 180 ve 85°C ve besleme çözeltisinin akış hızı 6.5 mL/dk olacak şekilde kurutma yapılmıştır. Vakumlu kurutma yönteminde ise protein çözeltisi 85 kPa basınç altında, 60°C'de 48 saat boyunca kurutulmuştur. Kurutulmuş protein izolatları öğütüldükten sonra elenmiştir. Çalışmanın sonuçları incelendiğinde tozların kimyasal bileşimleri (protein ve kül içeriği) ve en yüksek termal denatürasyon sıcaklıkları arasında önemli düzeyde bir farklılık bulunmadığı saptanmıştır. Vakumla kurutulmuş olan örneklerin çözünürlüklerinin (%50.34), dondurularak kurutulan (%78.39) ve püskürtülerek kurutulan (%81.19) örneklerle göre önemli düzeyde düşük olduğu gözlemlenmiştir. Örneklerin hepsinin viskoelastik jel meydana getirebilmiş olduğu ancak vakumla kurutulan örneğin jelleşmesi için gereksinim duyulan jelleşme süresinin, diğer yöntemlerle kurutulan tozlara göre önemli düzeyde daha uzun olduğu görülmüştür. Dondurularak ve püskürtülerek kurutulan tozların, vakumla kurutulmuş olan toza göre jelleşme kabiliyetinin daha iyi ve jelleşme mukavemetinin daha yüksek olduğu belirlenmiştir. Püskürtülerek kurutulan örneklerin su emme kapasitesinin (0.43 ± 0.02 g/g), dondurularak kurutulan (0.48 ± 0.02 g/g) ve vakumla kurutulan (0.47 ± 0.02 g/g) örneklerle kıyaslandığında en düşük değere sahip olduğu saptanmıştır.

Ayrıca örneklerin parçacık boyutu dağılımı, renk ve yüzey morfolojileri de üç kurutma yöntemi arasında farklılık göstermiştir. Bu çalışma ile mercimek protein izolatı tozlarının üretilmesinde seçilen farklı kurutma yöntemlerinin, proteinlerin fizikokimyasal ve fonksiyonel özelliklerini etkileyebileceği görülmüştür (Joshi ve ark., 2011).

Mune ve Sogi (2015), izoelektrik çöktürme yöntemi ile elde ettikleri dört çeşit börülce ve bambara fasulyesi proteini konsantrelerini kabinli kurutma (KK), vakumlu kurutma (VK) ve dondurarak kurutma (DK) yöntemleriyle kurutmuşlardır. Çalışmada farklı kurutma yöntemleriyle hazırlanan protein konsantrelerinin fonksiyonel özelliklerinin değerlendirilmesi amaçlanmıştır. Tüm yöntemlerde örnekler alüminyum plakalar üzerine ortalama 5 mm kalınlığında dökülmüştür. KK yönteminde protein çözeltileri sabit hava akışında (1.5 m/s), 24 saat süresince 50°C’de kurutulmuş, öğütülmüş ve elenmiştir. VK yönteminde protein çözeltileri 3.33 kPa’da, 24 saat süresince 50°C’de kurutulmuş, öğütülmüş ve elenmiştir. DK yönteminde ise protein çözeltileri ilk olarak 2 saat boyunca -30 °C’de dondurulmuş ve ardından ortalama 15 kPa’lık bir basınçta, 48 saat boyunca -50°C’de dondurularak kurutulmuş, öğütülmüş ve elenmiştir. Çalışmanın sonuçları incelendiğinde börülce ve bambara fasulyesi proteinin konsantrelerinin protein içeriklerinin sırasıyla %62.83-78.15 ve %63.83-73.70 aralığında değiştiği belirlenmiştir. Örneklerin protein verimi ise börülce ve bambara fasulyesi proteini konsantreleri için sırasıyla %73-96 ve %82-98 aralığında değişkenlik göstermiştir. Ayrıca KK, VK ve DK yöntemleriyle kurutulan protein konsantrelerinin nihai nem içeriklerinin sırasıyla %4.95-7.83, %5.23-8.68 ve %3.98-6.88 aralığında değiştiği saptanmıştır. Protein konsantrelerinin çözünürlüğü pH 2-10 aralığında incelenmiştir. Uygulanan yöntemler karşılaştırıldığında DK yöntemiyle kurutulan örnekler pH 2-6 aralığında daha düşük çözünürlük gösterirken, VK yöntemiyle kurutulan örnekler ise pH 6-10 aralığında daha yüksek çözünürlük göstermiştir. Örneklerin su emme kapasitelerinin vakumla kurutulan börülce proteini konsantresinde (4.04 g/g) ve dondurularak kurutulan bambara fasulyesi proteini konsantresinde (4.46 g/g) en yüksek değerleri verdiği gözlemlenmiştir. Aynı zamanda börülce ve bambara proteini konsantrelerinin su emme kapasitelerinin en düşük olduğu değerler, vakumla kurutulan örneklerde belirlenmiştir (Börülce ve bambara proteini konsantreleri için sırasıyla 2.12 g/g ve 2.60 g/g). Bütün protein konsantrelerinin diğer yöntemlere kıyasla yağ emme kapasitelerinin, dondurularak kurutulmuş olanlarda daha yüksek (2.07-3.55 mL/g arasında) ve vakumla kurutulmuş olanlarda ise (iki çeşit börülce ve bir çeşit bambara proteini konsantresi haricinde) daha düşük (1.93-2.06 mL/g arasında) olduğu saptanmıştır. Bu çalışma ile farklı kurutma yöntemlerinin, türlere ve

çeşitlere bağlı olarak protein konsantrelerinin fonksiyonel özelliklerini önemli düzeyde etkilediği görülmüştür (Mune ve Sogi, 2015).

Mune ve Sogi (2016), izoelektrik çöktürme yöntemi ile elde ettikleri dört çeşit börülce ve bambara fasulyesi proteini konsantrelerini kabinli kurutma (KK), vakumlu kurutma (VK) ve dondurarak kurutma (DK) yöntemleriyle kurutmuşlardır. Çalışmada farklı kurutma yöntemleriyle hazırlanan protein konsantrelerinin yüzey hidrofobikliği, ikincil yapısı, emülsiyonlaştırma ve köpürme özelliklerinin değerlendirilmesi amaçlanmıştır. Çalışmanın sonuçları incelendiğinde bambara fasulyesi proteini konsantrelerinin yüzey hidrofobikliğinin, tüm yöntemler arasında dondurularak kurutulanlarda daha yüksek olduğu, vakumla kurutulanlarda ise en düşük olduğu bildirilmiştir. Börülce fasulyesi proteini konsantrelerinin yüzey hidrofobikliğinin ise çeşitler arasında farklılık gösterdiği ve en yüksek değeri KK yöntemi ile kurutulan konsantrenin verdiği saptanmıştır. Örneklerin ikincil yapılarına bakıldığında, dondurularak kurutulmuş olan konsantrelerin diğerlerine kıyasla daha fazla β -tabaka (%40-43) ve daha az β -dönüş (%19-24) yapısı içerdiği gözlemlenmiştir. Çalışmada yüzey hidrofobikliğinin ve konformasyon stabilitesinin yani esnekliğinin, proteinlerin emülsifiye edici ve köpürtücü özellikleri üzerinde etkisi olduğu ifade edilmiştir. DK yöntemiyle kurutulan bambara fasulyesi proteini konsantrelerinin diğer yöntemlere kıyasla emülsiyonlaştırma aktivitesinin önemli düzeyde yüksek olduğu görülürken (%56-59), börülce proteini konsantrelerinin emülsiyonlaştırma aktivitesinin ise çeşitler arasında önemli düzeyde farklılık gösterdiği görülmüştür (%46-61). Dondurularak kurutulan bütün bambara fasulyesi ve börülce proteini konsantrelerinin (bir çeşit börülce proteinin konsantresi hariç) diğer yöntemlere göre önemli düzeyde yüksek emülsiyon stabilitelere sahip oldukları belirlenmiştir. Aynı tür içerisindeki çeşitlere bağlı olarak örneklerin köpürme kabiliyetleri farklılık göstermiştir. KK yöntemiyle kurutulan börülce proteini konsantresinin (%303) ve bambara fasulyesi proteini konsantresinin (%219) diğer yöntemlere kıyasla daha yüksek köpürme kabiliyeti gösterdiği saptanmıştır. Örneklerin köpürme stabilitesi 30 ve 60 dakikalık iki farklı sürenin sonunda incelenmiştir. DK yöntemiyle kurutulan börülce proteini konsantrelerinin köpürme stabilitesinin diğer yöntemlere kıyasla önemli düzeyde yüksek olduğu görülmüştür. Bambara fasulyesi proteini konsantrelerinin köpürme stabilitesinin ise çeşitler arasında önemli düzeyde farklılık gösterdiği ve en yüksek değeri KK yöntemiyle kurutulan konsantrenin verdiği gözlemlenmiştir. Bu çalışma ile uygun kurutma yöntemi ve hammadde çeşidi belirlenerek üretilen börülce ve bambara fasulyesi proteini

konsantrelerinin, bilhassa yüksek emülsiyonlaştırma ve köpürme özelliklerinin ihtiyaç duyulduğu gıda ürünlerinde kullanım alanı bulabileceği görülmüştür (Mune ve Sogi, 2016).

Gong ve ark. (2016), izoelektrik çöktürme yöntemi ile elde ettikleri fıstık proteini izolatını (FPI), püskürtmeli kurutma ve dondurarak kurutma yöntemleri ile kurutmuşlardır. Çalışmada farklı kurutma yöntemleriyle hazırlanan fıstık proteini izolatlarının, emülsifiye edici özellikleri ve protein yapısında meydana gelen değişikliklerin değerlendirilmesi amaçlanmıştır. Dondurarak kurutma yönteminde protein çözeltisinin sıcaklığı öncelikle liyofilizatörde -40 °C'ye düşürülmüş ve örnek sıcaklığı 20°C'ye ulaştığında işlem sonlandırılmıştır. Sonrasında dondurularak kurutulmuş izolat öğütülmüş ve elenmiştir. Püskürtmeli kurutma yönteminde ise protein çözeltisi, giriş ve çıkış sıcaklıklarının sırasıyla 180 ve 85°C olduğu, besleme çözeltisinin akış hızının 6.5 mL/dk'da ve pompa kapasitesinin %16'da tutulduğu bir püskürtmeli kurutucuda kurutulmuştur. Çalışmanın sonuçları incelendiğinde püskürtülerek ve dondurularak kurutulan FPI tozlarının protein içerikleri arasında önemli düzeyde bir farklılık olmadığı saptanmıştır. Diğer taraftan farklı yöntemlerle kurutulmuş olan tozların çözünürlük, su tutma ve yağ bağlama kapasitelerinin önemli düzeyde farklı olduğu gözlemlenmiştir. Dondurularak kurutulmuş olan FPI tozlarının çözünürlüğünün, su tutma ve yağ bağlama kapasitelerinin, püskürtülerek kurutulmuş olan FPI tozlarına göre daha yüksek olduğu belirlenmiştir. Püskürtülerek kurutulan FPI toz parçacıkları buruşmuş, fazla katlanmamış ve esnek bir yüzey morfolojisi gösterirken, dondurularak kurutulan FPI toz parçacıkları ise sıkıca katlanmış, plaka biçiminde ve pürüzsüz bir yüzey morfolojisi göstermiştir. Bu yapısal farklılığın sebebinin püskürtmeli kurutma esnasında büzülen damlacıklardan, dondurarak kurutma esnasında ise çözünen maddelerin konsantrasyonundan kaynaklı olduğu ifade edilmiştir. Püskürtülerek kurutulan FPI tozunun emülsiyonlaştırma aktivitesinin, dondurularak kurutulan FPI tozunun ise emülsiyonlaştırma stabilitesinin daha iyi olduğu belirlenmiştir. Yani dondurularak kurutulmuş olan FPI tozları daha kararlı emülsiyonlar meydana getirmiştir. Bu çalışma ile farklı kurutma yöntemleri ile hazırlanan fıstık proteini izolatlarının, farklı emülsifiye edici özelliklere ve farklı yapılara sahip olduğu görülmüştür (Gong ve ark., 2016).

Tontul ve ark. (2018), izoelektrik çöktürme yöntemi ile elde ettikleri nohut proteini izolatını, kırınım pencereli kurutma (KPK) ve dondurarak kurutma yöntemleriyle kurutmuşlardır. Çalışmada farklı kurutma yöntemleriyle hazırlanan nohut proteini izolatlarının, fonksiyonel özelliklerinin farklı pH değerlerinde kıyaslanması

amaçlanmıştır. KPK yönteminde hızı 4.5 m/sa olan bir film tabakası üzerine, protein çözeltisi 2 mm kalınlığında yayılmıştır. Dolaşan suyun sıcaklığının $90 \pm 2^{\circ}\text{C}$ 'ye ayarlandığı bu yöntemde kurutma 20 dakika sürmüştür. Dondurarak kurutma yönteminde ise bir tepsi üzerine 2 mm kalınlığında yayılan protein çözeltisi, öncelikle -80°C 'de dondurulmuştur. Ardından dondurulan örnekler -40°C 'de, 53 Pa (0.40 mmHg) mutlak oda basıncında 48 saat süresince dondurularak kurutulmuştur. Her iki yöntemle de kuruyan örnekler öğütülmüştür. Nohut proteini izolatlarının çözünürlüğüne pH 1 ila 12 arasında, emülsifiye edici ve köpürtücü özelliklerine pH 2 ila 10 arasında ve jelleşme özelliklerine ise pH 2 ve pH 8 değerlerinde bakılmıştır. Çalışmanın sonuçları incelendiğinde dondurularak kurutulmuş olan protein izolatlarının pH 4-6 haricinde tüm pH seviyelerinde, KPK yöntemiyle kurutulmuş olanlara kıyasla çözünürlüğünün daha yüksek olduğu saptanmıştır. Örneklerin çözünürlüklerinin, dondurarak kurutma yönteminde %94.2 ile pH 11'de, KPK yönteminde ise %74.5 ile pH 12'de maksimum değere ulaştığı belirlenmiştir. KPK yöntemiyle kurutulmuş olan nohut proteini izolatlarının su tutma kapasitesinin, emülsiyon stabilitesinin (pH 10 değeri haricinde) ve emülsiyon aktivitesinin (pH 2 ve 10 değerleri haricinde) dondurularak kurutulan örneklerle göre daha yüksek olduğu gözlemlenmiştir. Kurutulan nohut proteini izolatlarının her iki yöntemde de köpük kapasitesi benzer sonuçlar verirken, dondurularak kurutulan örneklerin köpük stabilitesinin (pH 10 değeri hariç) ve yağ tutma kapasitesinin daha yüksek olduğu belirlenmiştir. Ayrıca dondurularak kurutulan örneklerin jel oluşturma yeteneklerinin de KPK yöntemiyle kurutulanlardan daha iyi olduğu saptanmıştır. Bu çalışma ile farklı kurutma yöntemleri ile elde edilen nohut proteini izolatlarının farklı fonksiyonel özelliklere sahip olduğu görülmüştür. Aynı zamanda bu çalışma kırım pencereci kurutma yöntemiyle protein izolatlarının kurutulmasına dair ilk rapor olma niteliği taşımaktadır (Tontul ve ark., 2018).

Preethi ve ark. (2021), izoelektrik çöktürme yöntemi ile elde ettikleri maş fasulyesi ve siyah mercimek proteini ekstraktlarını, kırım pencereci kurutma (KPK) ve dondurarak kurutma yöntemleriyle kurutmuşlardır. Çalışmada farklı kurutma yöntemleriyle hazırlanan protein tozlarının, fizikokimyasal ve fonksiyonel özelliklerinin değerlendirilmesi amaçlanmıştır. KPK yönteminde, ortalama 1 mm kalınlığa sahip olan örnekler homojen bir şekilde polyester bir film tabakası üzerine yayılmıştır. Kurutma 40 ve 50°C 'lik iki farklı sıcaklıkta yapılmıştır. Dondurarak kurutma yönteminde ise örnekler, -80°C ila 30°C ($\pm 2^{\circ}\text{C}$) arasında ve 100 Pa hazne basıncı altında 16 saatin üzerinde dondurularak kurutulmuştur. Her iki yöntemle de kuruyan örnekler toz haline

getirilmiş ve elenmiştir. Çalışmanın sonuçları incelendiğinde bütün kurutma şartlarında örneklerin nihai nem içeriklerinin %3 ila %6 arasında olduğu belirlenmiştir. KPK yöntemiyle kurutulan örneklerin su aktiviteleri dondurularak kurutulan örneklerle göre önemli düzeyde daha yüksek değerlere sahip olsa da iki protein tozu da düşük su aktivitesi değerleri göstermiştir. Tozların kuruma süreleri karşılaştırıldığında KPK yöntemiyle kurutulmuş olan örneklerin (50°C’de 150 dakika ve 40°C’de 210 dakika), dondurularak kurutulan örneklerle kıyasla yaklaşık 23 saat daha erken kuruduğu görülmüştür. Hem KPK hem de dondurarak kurutma yöntemiyle kurutulan örneklerin protein konsantrasyonu, maş fasulyesi proteini tozları için yaklaşık %75-76 olarak, siyah mercimek proteini tozları için ise yaklaşık %58-60 olarak saptanmıştır. KPK yöntemiyle kurutulan siyah mercimek proteini tozları dondurularak kurutulanlara göre önemli düzeyde yüksek çözünürlük gösterirken, maş fasulyesi proteini tozları ise her iki yöntemde de benzer çözünürlük göstermiştir. Ayrıca incelenen pH seviyeleri arasında (pH 1 ila 10) her iki proteininde çözünürlüğü pH 4 ila 7’de daha düşük olurken, pH 1, 2, 8, 9 ve 10’da daha yüksek olmuştur. Kurutulan örnekler arasında en yüksek su emme kapasitesi, 50°C’de KPK yöntemiyle kurutulan siyah mercimek proteini tozunda belirlenmiştir. Bunun sebebi, kurutma esnasında artan sıcaklıkla birlikte proteinlerin ihtiva ettiği kovalent olmayan bağların zayıf ve esnek hale gelmesi olarak ifade edilmiştir. Örneklerin köpürme özellikleri incelendiğinde, KPK yöntemiyle kurutulan örneklerin dondurularak kurutulanlara kıyasla köpürme yeteneğinin daha iyi olduğu ve oluşan köpüğün toplam yüksekliğinin iki yöntemde de eşit olduğu tespit edilmiştir. Köpük stabilitesini saptamak amacıyla hesaplanan birleşme hızı maş fasulyesi proteini tozları için KPK yöntemiyle kurutulan örneklerde, siyah mercimek proteini tozları için ise dondurularak kurutulan örneklerde yüksek olmuştur. Emülsiyon aktivite ve stabilite indeksleri iki yöntemle de kurutulan örneklerde önemli düzeyde bir farklılık göstermemiştir. Ancak KPK yöntemiyle kurutulan örneklerin incelenen pH seviyeleri (pH 2 ila 10) arasında emülsiyon aktivitelerinin pH 2 ve 4’te, emülsiyon stabilitelerinin ise pH 4 ve 8’de daha yüksek olduğu saptanmıştır. İki yöntemle de kurutulmuş olan örneklerin toz özelliklerinde, yağ emme kapasitelerinde, yüzey hidrofobikliğinde, jel oluşturma kabiliyetlerinde, yapışkanlık ve termal özelliklerinde önemli bir farklılık olmadığı gözlemlenmiştir. Bu çalışma ile baklagil (maş fasulyesi ve siyah mercimek) bazlı protein kaynaklarının potansiyelini ortaya koyan bulgulara ulaşılmış ve KPK yönteminin dondurarak kurutma yöntemi ile eşit protein kalitesi sunduğu görülmüştür. Aynı zamanda KPK yöntemi,

düşük kurutma maliyeti ve zamanı gibi ek avantajlar da sağlamıştır (Preethi ve ark., 2021).

Shen ve ark. (2021), izoelektrik çöktürme yöntemi ile elde ettikleri kinoa proteini izolatını, dondurarak kurutma (-40°C 'de 3 gün), püskürtmeli kurutma (giriş ve çıkış sıcaklıkları sırasıyla 180°C ve 60°C , aspiratörün %90'ı ve pompa hızının %10'u) ve vakumlu kurutma (40°C , -28 mmHg'de 2 gün) yöntemleri ile kurutmuşlardır. Çalışmada farklı kurutma yöntemleriyle hazırlanan kinoa proteini izolatlarının, fonksiyonel ve fizyokimyasal özelliklerinin değerlendirilmesi amaçlanmıştır. Çalışmanın sonuçları incelendiğinde farklı yöntemlerle kurutulan protein izolatlarının nem içeriklerinin önemli düzeyde farklı olmadığı ancak dondurularak (%86.19) ve vakumla kurutulmuş (%86.13) olan kinoa proteini izolatlarının, püskürtülerek kurutulanlara (%83.22) göre protein içeriklerinin biraz daha fazla olduğu belirlenmiştir. Püskürtmeli kurutma yöntemi ile kurutulan tozların, dondurularak kurutulan ($44.24\ \mu\text{m}$) ve vakumla kurutulan tozlardan ($38.25\ \mu\text{m}$) önemli düzeyde daha ince ve ufak parçacık boyutlarına ($10.43\ \mu\text{m}$) sahip olduğu gözlemlenmiştir. Üretilen tozlar renk özellikleri bakımından incelendiğinde püskürtülerek kurutulmuş olanlar kremi beyaz bir renk sergilerken, dondurularak ve vakumla kurutulanlar ise kahverengimsi bir renk sergilemişlerdir. Dondurularak kurutulmuş tozun, yüzey hidrofobikliğine de katkı sağlayan emülsiyon kapasitesi ve stabilitesinin incelenen tüm pH düzeylerinde (pH 5, 6, 7, 8) ve yağ bağlama kapasitesinin incelenen pH düzeyinde (pH 7) en yüksek değerleri verdiği saptanmıştır. Püskürtülerek kurutulmuş olan protein izolatının ise pH 7'de çözünürlük ve su emme kapasitesi bakımından en yüksek değerleri vermiş olduğu görülmüştür. Dondurularak kurutulmuş olan protein tozundan elde edilen jellerin, diğer kurutma yöntemlerinden elde edilen jellerle kıyaslandığında daha yüksek elastikiyet ve viskoz modül özellikleri gösterdiği belirlenmiştir. Genel anlamda, kinoa proteini tozu iyi fonksiyonel özellikler sergilese de işlem esnasında daha az denatüre olan dondurularak kurutulmuş protein tozu diğer yöntemlerle kurutulan tozlara göre daha iyi fonksiyonel özellikler göstermiştir. Bu çalışma ile farklı kurutma yöntemleri ile hazırlanan kinoa proteini izolatlarının, farklı fonksiyonel özelliklere sahip olduğu görülmüştür (Shen ve ark., 2021).

2.5. Fındık

Fındık (*Corylus avellana* L.), Betulaceae familyasına mensup olan sert kabuklu bir meyvedir (Alasalvar ve ark., 2009; Karaosmanoğlu ve Üstün, 2017).

Yüksek kaliteye sahip fındık çeşitlerinin yetiştirilmesi için elverişli bir ortam olan Türkiye, fındık üretiminde küresel çapta yaklaşık %70'lik bir pay ile ilk sırada gelmektedir. Ayrıca Türkiye'nin sektördeki en büyük fındık ihracatçısı olması sebebiyle fındık, ülke ekonomisine katkıda bulunan değerli bir üründür (Köksal ve ark., 2006; Tatar ve ark., 2015; Gültekin Özgüven ve ark., 2020; Kurtça, 2021).

Ülkemizde olgunlaşan fındıkların hasadı daldan elle, yerden elle ve değişik çalışma şekilleri bulunan hasat makinaları kullanılarak yerden toplama şeklinde yapılabilmektedir (Yıldız, 2020). Fındıkta randıman ve verim kayıplarının olmaması için başka ürünlerde de olduğu gibi belirli standartlar dahilinde hasadı gerçekleştirilmektedir. Haziran ve Temmuz aylarında fındıktaki gelişimin önemli bir kısmı bitmektedir. Çeşidine ve rakıma bağlı farklılık göstermekle birlikte Ağustos ayının başından itibaren fındık hasat edilmeye uygun hale gelmektedir (Karadeniz ve ark., 2009).

Türkiye'de farklı fiziksel ve besinsel özelliklere sahip fındık çeşitleri yetişmektedir. Tombul, Palaz, Çakıldak, Kan, Kara, Kargalak, Cavcava, Fosa, Mincane, Uzunmusa, Sivri, Acı, Kuş, Yuvarlık Badem ve Yassı Badem bu fındık çeşitlerindendir (Özdemir ve Akıncı, 2004).

Türkiye'nin ardından fındık üretiminin en çok yapıldığı yerler arasında Güney Avrupa (İtalya, İspanya, Portekiz, Fransa ve Yunanistan) ülkeleriyle birlikte ABD, Yeni Zelanda, Çin, Azerbaycan, Şili, İran ve Gürcistan gibi ülkeler yer almaktadır (Seyhan ve ark., 2007; Alasalvar ve ark., 2009; Karaosmanoğlu ve Üstün, 2017).

2.5.1. Fındığın bileşimi ve besin değeri

Sahip olduğu zengin besin içeriği sebebiyle fındığın insan beslenmesinde ve sağlığında önemli bir rolü bulunmaktadır. İç fındığın kimyasal bileşimi %2-6.5 nem, %10-24 protein, %50-73 yağ, %10-12 karbonhidrat, %1-3 selüloz ve %1-3.4 külden oluşmaktadır. Fındığın 100 gramı 600-650 kcal enerji sağlamaktadır. Bal (330 kcal/100 g) ve pekmez (220 kcal/100 g) gibi yüksek enerjiye sahip gıdalarla birlikte kabuklu, taze ve kurutulmuş meyvelerle de kıyaslandığında fındık oldukça yüksek bir enerji değerine sahiptir.

Fındık, iyi bir protein kaynağıdır. 100 g fındık tüketimi ile günlük protein ihtiyacının %22'sinin karşılandığı bildirilmiştir. Fındık yağı insan sağlığı açısından elzem olan doymamış yağ asitlerini yüksek oranda içermektedir. Kalp ve damar hastalıklarının ortaya çıkmasında önemli bir etkisi olan kolesterol bileşiminde mevcut değildir. Zengin

mineral içeriğine sahip olmasının yanı sıra antioksidan özellikte olan E vitamini açısından da en iyi kaynaklardan biridir (Şimsek ve Aslantaş, 1999; Köksal ve ark., 2006; Kırca ve ark., 2018).



3. MATERYAL VE YÖNTEM

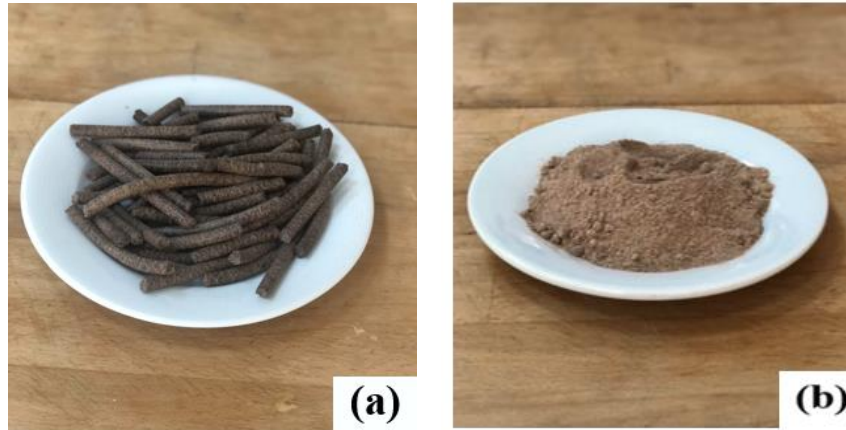
3.1. Materyal

Çalışmada kullanılmak üzere herhangi bir işlem görmemiş vakumlu ambalajlarda bulunan fındık içi numuneleri, piyasadan temin edilmiş ve Necmettin Erbakan Üniversitesi Gıda Mühendisliği Bölümü'ne getirtilmiştir. Deneylerde analitik saflıktaki kimyasallardan yararlanılmıştır.

3.2. Metot

3.2.1. Hammaddeden soğuk pres ile yağ çıkarma

Yağ çıkarma işlemi, vidalı pres, 1-30 kg tohum/saat nominal kapasiteye sahip, 1.5 kW, 220 Volt motor ile farklı hızlarda çalışan soğuk pres yağ makinası (Karaerler marka NF 500 model) kullanılarak gerçekleştirilmiştir. Presleme işleminin ardından pelet halinde sıkıştırılmış olan ürün öğütülmüş ve elenmiştir. Elde edilen yağı alınmış fındık unu +4°C'de buzdolabında muhafaza edilmiştir.



Şekil 3. 1. Fındık peleti (a) ve fındık unu (b)

3.2.2. Yağı alınmış fındık unundan protein izolasyonu ile izolat eldesi

Fındık proteini izolatu, bitkisel proteinlerin saflaştırılmasında sıklıkla tercih edilen alkali ekstraksiyon ve izoelektrik çöktürme (Zhang ve ark., 2009) yöntemi uygulanarak

elde edilmiştir. Kısaca, yağı alınmış fındık unu saf su içinde (un:su oranı 1:10 (w/v)) dağıtılmıştır. Dispersiyonun pH değeri 3 M NaOH çözeltisi kullanılarak 9'a ayarlanmış ve 1 saat oda sıcaklığında 1500 rpm'de karıştırılarak protein ekstraksiyonu gerçekleştirilmiştir. Daha sonra karışım 4°C'de 7000 g'de 15 dakika santrifüj edilmiştir. Süpernatant (çözünen kısım) ayrılmış ve proteini çöktirmek için 1 N HCl çözeltisi ile pH değeri 4.5'e ayarlanmıştır. Ardından karışım 30 dakika oda sıcaklığında 1500 rpm'de karıştırılmış ve protein çöktirsinin geri kazanılması amacıyla 7000 g'de 15 dakika santrifüj edilmiştir. Elde edilen çökelti santrifüj tüpünden alınarak tartılmış ve aynı miktardaki saf su içinde dağıtıldıktan sonra kurutma işlemlerine kadar +4°C'de buzdolabında muhafaza edilmiştir.

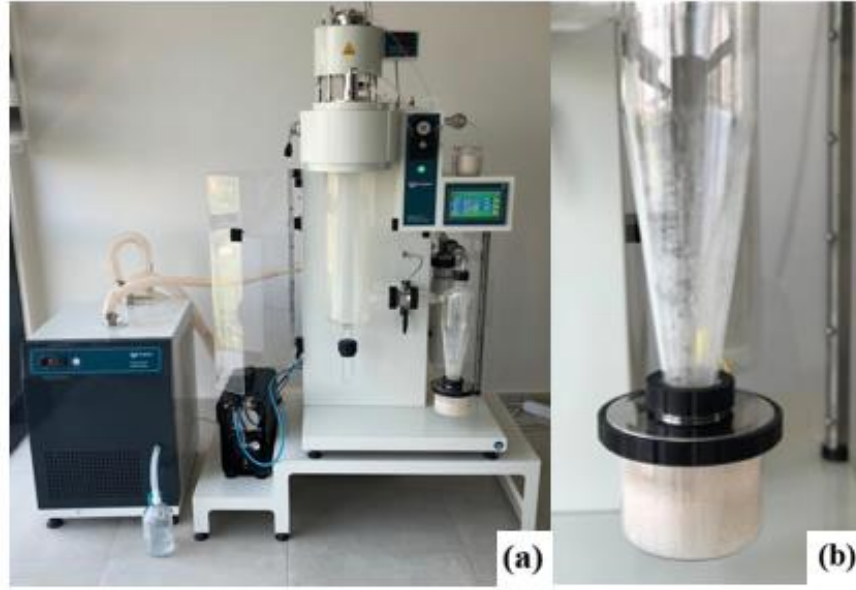


Şekil 3. 2. Fındık çökeltisi

3.2.3. Protein izolatların kurutulması

3.2.3.1. Püskürtmeli kurutma yöntemi

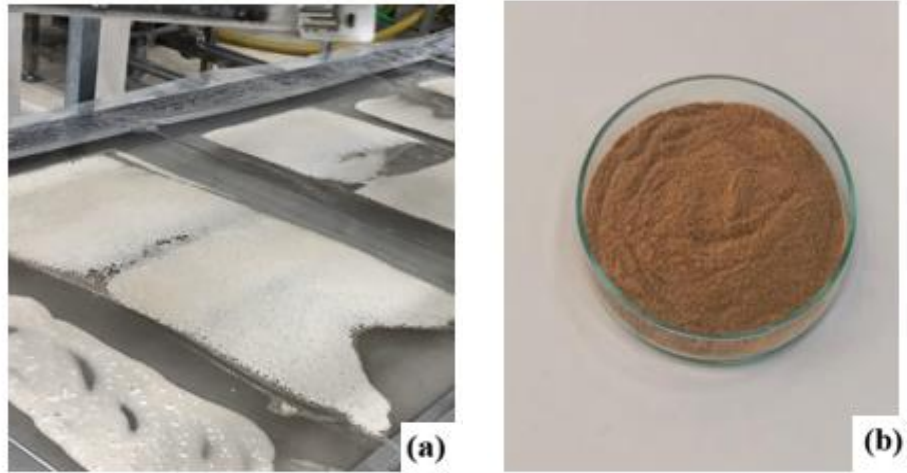
Elde edilen protein izolatları püskürtmeli kurutucu (B15, Unopex, İzmir) ile kurutulmuştur. Cihaz, giriş ve çıkış sıcaklıkları sırasıyla 180 ve 75°C, besleme çözeltisinin akış hızı 10 mL/dk ve aspiratör oranı % 90 olacak şekilde ayarlanmıştır. Cam hazneye toplanan kurutulmuş ürün alınarak hava almayan ambalajların içerisine konulmuş ve depolanmıştır.



Şekil 3. 3. Denemelerde kullanılan kurutucu (a) ve toplama haznesinde birikmiş kurutulmuş ürün (b)

3.2.3.2. Kırınım pencereli kurutma yöntemi

Elde edilen protein izolatları pilot ölçekli kırınım pencereli kurutucuda 60, 70, 80 ve 90°C olmak üzere farklı sıcaklıklarda kurutulmuştur. Bu amaçla örnekler sabit bir film üzerine homojen bir şekilde serilmiştir. Kuruyan örnekler kurutucu yüzeyinden kazınmış, öğütülmüş (Siemens MK880FQ1, Almanya) ve elenmiştir. Ardından hava almayan ambalajların içerisine konulan örnekler depolanmıştır. Ürünlerin kuruma süreleri Çizelge 3.1’de verilmiştir.



Şekil 3. 4. Kurutma esnası (a) ve kurutulmuş ürün (b)

Çizelge 3. 1. Kırınım pencereleli kurutma yöntemiyle kurutulan örneklerinin kuruma süresi

Sıcaklık (°C)	Süre (dk)
60	45-50
70	33-35
80	25-27
90	17-20

3.3. Analizler

3.3.1. Nem içeriği ve su aktivitesi

Protein izolatlarının nem içeriği 0.5 g örneğin 105°C’de sabit tartıma gelinceye kadar kurutulması sonucu gravimetrik olarak belirlenmiştir. Numunelerin su aktivitesi ise 25°C’de Novasina (Labtouch, İsviçre) su aktivitesi ölçüm cihazı kullanılarak belirlenmiştir.

3.3.2. Renk tayini

Örneklerin renk değerleri el tipi Konica-Minolta (CR 400, Japan) renk ölçer kullanılarak belirlenmiştir. Yapılan ölçümle, L* (- siyahtan + beyaza), a* (- yeşilden + kırmızıya) ve b* (-maviden + sarıya) olmak üzere üç renk bileşeni değeri kaydedilmiştir.

3.3.3. Protein içeriği

Örneklerin protein içerikleri, Leco FP-828 nitrojen mikro analizörü (Leco Corporation, St. Joseph, MI, ABD) kullanılarak belirlenmiştir (Bengoechea ve ark., 2008). Bunun için alüminyum numune kaplarına 0.15 g örnek tartılmış ve cihaza yerleştirilmiştir. Sonuçlar yüzde azotun 5.30 ile çarpılması ile hesaplanmıştır.

3.3.6. Yığın yoğunluğu

Yığın yoğunluğu Beristain ve ark. (2001) tarafından bildirilen yöntemle göre saptanmıştır. Örnekler 10 mL’lik dereceli silindire belirlenen hacme kadar (V1) gevşek bir biçimde konulmuş ve tartılmıştır (m). Silindir yığındaki boşlukların kapanması amacıyla düz bir zemin üzerinde 30 mm yükseklikten 100 kez serbest düşmeye bırakılmış

ve son hacim okunmuştur (V2). Yığın yoğunluğu (Eşitlik 3.1) ve sıkıştırılmış yoğunluk (Eşitlik 3.2) aşağıdaki eşitlikler ile hesaplanmıştır.

$$Yığın\ yoğunluğu = \frac{m}{V_1} \quad (Eşitlik\ 3.1)$$

$$Sıkıştırılmış\ yoğunluk = \frac{m}{V_2} \quad (Eşitlik\ 3.2)$$

Yığın yoğunluğu ve sıkıştırılmış yoğunluk değerleri kullanılarak, akışkanlık özelliklerini (Çizelge 3.2) belirlemek amacıyla Hausner oranı (Eşitlik 3.3) ve Carr indeksi (Eşitlik 3.4) değerleri hesaplanmıştır (Başyigit ve Çam, 2017).

$$Hausner\ oranı = \frac{Sıkıştırılmış\ Yoğunluk}{Yığın\ yoğunluğu} \quad (Eşitlik\ 3.3)$$

$$Carr\ indeksi = \frac{Sıkıştırılmış\ yoğunluk - Yığın\ yoğunluğu}{Sıkıştırılmış\ yoğunluk} \times 100 \quad (Eşitlik\ 3.4)$$

Çizelge 3. 2. Carr indeksi, Hausner oranı ve akışkanlık ilişkisi

Carr İndeksi (%)	Akışkanlık	Hausner Oranı
≤10	Mükemmel	1.00-1.11
11-15	İyi	1.12-1.18
16-20	Orta	1.19-1.25
21-25	Geçerli	1.26-1.34
26-31	Zayıf	1.35-1.45
32-37	Çok zayıf	1.46-1.59
38≥	Çok kötü	1.60≥

3.3.7. Yüzey hidrofobisitesi

Örneklerin yüzey hidrofobisitesi, Tontul ve ark. (2018) tarafından açıklanan bromofenol mavisi (BPB) bağlama yöntemi belirlenmiştir. Fosfat tamponu (pH 7, 20 mM) içerisinde 5 mg/mL konsantrasyonda hazırlanan protein çözeltisinden 1 mL alınmış ve 200 µL BPB çözeltisi (1 mg/20mL) ile karıştırılmıştır. Örnekler 10 dk oda sıcaklığında

çalkalandıktan sonra 2000 g'de 15 dk santrifüj edilmiştir. Son olarak bir spektrofotometre kullanılarak 595 nm'de süpernatantların absorbansı fosfat tamponuna karşı kaydedilmiştir. Kontrol olarak 1 mL fosfat tamponu ve 200 µL BPB çözeltisi karışımı kullanılmıştır. Örneklerin yüzey hidrofobisitesi aşağıdaki eşitlik (Eşitlik 3.5) kullanılarak hesaplanmıştır.

$$Bağlı\ BPB\ (\mu g) = 200\ \mu g \times \frac{Kontrol\ absorbansı - Örnek\ absorbansı}{Kontrol\ absorbansı} \quad (Eşitlik\ 3.5)$$

3.3.5. Parçacık boyutu

Örneklerin parçacık boyutu, lazer kırınım prensibi ile çalışan parçacık boyut analizörü (Mastersizer 2000, Malvern, Birleşik Krallık) kullanılarak belirlenmiştir. Bu amaçla 2-propanol içerisinde dağıtılan numunelerin (refraktif indeks 1.52) hem parçacık boyutu dağılımı hem de hacim ağırlıklı ortalama parçacık boyutu hesaplanmıştır.

3.3.4. Çözünürlük

Örneklerin çözünürlüğü Tontul ve ark. (2018) tarafından kullanılan yöntem ile belirlenmiştir. Bu amaçla 100 mg örnek 10 mL saf su içinde dağıtılmış ve pH değerleri 1, 3, 5, 7 ve 9 olacak şekilde ayarlanmıştır. Çözeltiler 30 dakika karıştırılmış ve ardından 10.000 g'de 10 dakika santrifüj edilmiştir. Süpernatant alınarak Biuret yöntemiyle çözünürlük belirlenmiştir. Bunun için 1 mL süpernatant ve 4 mL Biuret çözeltisi (%3 NaOH solüsyonunda 1.5 g CuSO₄·5H₂O ve 6 g C₄H₄O₆KNa·4H₂O çözündürülerek hazırlanmıştır) karıştırılmış ve 37°C'de 20 dakika inkübasyona bırakılmıştır. Son olarak bir spektrofotometre kullanılarak 540 nm'de karışımın absorbansı kaydedilmiştir. Kör olarak 1 mL %3 NaOH solüsyonu ve 4 ml Biuret çözeltisi karışımı kullanılmıştır. Protein standart olarak sığır serum albümini kullanılmıştır. Belirlenen protein oranından çözünürlük değeri hesaplanmıştır.

3.3.9. Su ve yağ tutma kapasitesi

Su ve yağ tutma kapasiteleri Tan ve ark. (2014) tarafından bildirilen yöntem ile belirlenmiştir. Bu amaçla örnekler (0.1 g) önceden tartılan santrifüj tüpünde 1.5 mL

damıtılmış su veya ayçiçek yağı içinde dağıtılmış ve 1 dakika vortekslenmiştir. 30 dakika oda sıcaklığında tutulan örnekler sonrasında 5000 g'de 30 dakika santrifüj edilmiştir. Meydana gelen süpernatant atılmış ve tartım yapılmıştır. Su ve yağ bağlama kapasitesi, örneğin gram başına emdiği su veya yağ miktarı olarak hesaplanmıştır.

3.3.10. Emülsifiye edici özellikler

Protein izolatlarının emülsiyonlaştırma özellikleri Tontul ve ark. (2018) tarafından açıklanan yöntemle göre belirlenmiştir. Bu amaçla 4.5 mL protein çözeltisine (saf suda %0.5) 1.5 mL ayçiçek yağı eklenmiş ve çözeltinin pH değeri 1, 7 ve 9 değerlerine ayarlanmıştır. Karışım bir homojenizatörde (IKA T25 digital Ultra-Turrax, Almanya) 1 dakika boyunca 20000 rpm'de karıştırılmıştır. Ardından bir tüpe alınan 25 µL emülsiyon 5 mL %0.1 sodyum dodesil sülfat (SDS) çözeltisi ile seyreltilmiştir. Bir spektrofotometre kullanılarak seyreltilmiş emülsiyonun absorbansı emülsifikasyondan hemen sonra ve 10 dakika sonra olmak üzere 500 nm'de kaydedilmiştir. Emülsiyon aktivite indeksi (EAI) (Eşitlik 3.6) ve emülsiyon stabilite indeksi (ESI) (Eşitlik 3.7) aşağıdaki eşitliklere göre hesaplanmıştır.

$$EAI (m^2/g) = \frac{2 \times 2,303 \times A_0 \times DF}{C \times \varphi \times 10000} \quad (\text{Eşitlik 3.6})$$

$$ESI(\text{min}) = \frac{A_0}{A_0 - A_{10}} \times 10 \quad (\text{Eşitlik 3.7})$$

A_0 : Emülsifikasyondan sonra emülsiyon absorbansı

DF: Seyreltme faktörü

C: Hacim başına protein ağırlığı (g/mL)

Φ : Emülsiyondaki yağın hacim oranı

A_{10} : Emülsifikasyondan 10 dakika sonra emülsiyon absorbansı

3.3.11. Köpürme özellikleri

Köpürme kapasitesi ve stabilitesi Ogunwolu ve ark. (2009) tarafından açıklanan yöntemle göre belirlenmiştir. Bu amaçla 100 mg örnek 100 ml saf su içinde dağıtılmış ve çözelti pH değeri 1, 7 ve 9 değerlerine ayarlanmıştır. Ardından çözeltiler bir karıştırıcıda

3 dakika boyunca çırpılmış ve çırpılan protein çözeltileri 250 mL’lik dereceli bir silindire dökülmüşlerdir. Toplam örnek hacmi, köpük kapasitesi ve köpük stabilitesi için sırasıyla 0. ve 30. dakikalarda belirlenmiş ve aşağıdaki eşitliklere (Eşitlik 3.8 ve Eşitlik 3.9) göre hesaplanmıştır.

$$Köpük\ Kapasitesi(\%) = \frac{(Çırpma\ sonrası\ hacim - Çırpma\ öncesi\ hacim)\ ml}{(Çırpma\ öncesi\ hacim)\ ml} \quad (Eşitlik\ 3.8)$$

$$Köpük\ Stabilitesi(\%) = \frac{(Bekletme\ sonrası\ hacim - Çırpma\ öncesi\ hacim)\ ml}{(Çırpma\ öncesi\ hacim)\ ml} \quad (Eşitlik\ 3.9)$$

3.3.12. İstatistiksel Analizler

Tüm kurutma denemeleri 2 tekerrürlü, analizler paralelli olarak gerçekleştirilmiştir. Veriler varyans analizine tabi tutulmuş ve önemli farklılıklar Duncan Çoklu Karşılaştırma Testi ile belirlenmiştir.

4. ARAŞTIRMA SONUÇLARI VE TARTIŞMA

4.1. Kuru Madde Miktarı, Su Aktivitesi ve Protein İçeriği

Nem içeriği ve su aktivitesi, toz ürünlerin depolama stabilitesini belirleyen önemli parametrelerdir. Mikrobiyal olarak 0.65'ten daha düşük su aktivitesi değerleri güvenli olarak sayılsa da, 0.3'ün altındaki su aktivitesi değerlerinin kimyasal ve biyokimyasal tepkimeler bakımından daha güvenilir aralık olduğu bildirilmiştir (Balcı-Torun ve Özdemir, 2021).

Kurutulan fındık proteini izolatlarının kuru madde miktarı 94.83-98.64 g/100g arasında, su aktivitesi ise 0.210-0.284 arasında değişiklik göstermiştir (Çizelge 4.1). En düşük kuru madde içeriği KPK yöntemi ile 60°C sıcaklıkta kurutulan örnekte görülürken en yüksek kuru madde içeriği ise PK ile kurutulan örnekte görülmüştür. Kurutulan protein tozlarının su aktivitesi iki yöntemde de düşük ve Duncan Çoklu Karşılaştırma Testi sonuçlarına göre istatistiksel olarak benzer bulunmuştur (Çizelge 4.1). Tontul ve ark. (2018), kuruttukları nohut proteini izolatlarının nem içeriklerini KPK (90°C) ve dondurarak kurutma için sırasıyla 2.86 ve 3.57 g/100g, su aktivitelerini ise 0.179 olarak saptamışlardır. Preethi ve ark. (2021), KPK (40°C ve 50°C) ve dondurarak kurutma yöntemleriyle kuruttukları maş fasulyesi ve siyah mercimek proteini tozlarının nem içeriklerinin %3-%6 aralığında değiştiğini ve örneklerin su aktivitesi değerlerinin düşük (0.13-0.40 aralığında) olduğunu tespit etmişlerdir.

Tozların protein içeriği, KPK ile kurutulan örnekler için %83.21-86.13 arasında iken PK ile kurutulan örnekte %85.46 olarak belirlenmiştir (Çizelge 4.1). KPK yönteminde sıcaklık arttıkça protein miktarı da artış göstermiştir. Gong ve ark. (2016), püskürtmeli ve dondurarak kurutma yöntemleri ile kuruttukları fıstık proteini izolatlarının protein içeriklerini sırasıyla %85.37 ve %86.25 olarak saptamışlardır. Tontul ve ark. (2018), kuruttukları nohut proteini izolatlarının protein içeriklerini KPK (90°C) ve dondurarak kurutma için sırasıyla %84.88 ve %88.42 olarak bildirmişlerdir. Literatürde dondurularak kurutulan fındık proteini izolatlarının protein içeriği %89.95 (Sharma ve ark., 2010) ve %89.71 (Eroğlu ve ark., 2020) olarak bildirilmiştir. Bu nedenle sonuçlar literatür ile uyumlu bulunmuştur.

Çizelge 4. 1. Fındık proteini izolatlarının kuru madde miktarı, su aktivitesi ve protein içeriği değerleri¹ ve bu değerlere ait Duncan Çoklu Karşılaştırma Testi sonuçları²

Kurutma yöntemi	Sıcaklık (°C)	Kuru madde miktarı (g/100g)	Su aktivitesi	Protein içeriği (%)
Kırınım Pencereli	60	94.83±1.03b	0.284±0.057a	83.21±0.27b
	70	97.06±0.23a	0.210±0.007a	84.14±0.66ab
	80	97.45±0.16a	0.218±0.039a	84.27±1.33ab
	90	97.00±0.15a	0.222±0.005a	86.13±0.27a
Püskürtmeli	180-75	98.64±0.17a	0.235±0.006a	85.46±0.4ab

¹Sonuçlar iki tekerrürün ortalaması±standart sapma şeklinde verilmiştir.

²Aynı sütundaki farklı harfler ortalamalar arasında p<0.05 düzeyinde farklılığı ifade etmektedir.

Çizelge 4.2’de verilen varyans analiz sonuçlarına göre kurutma şartının su aktivitesi ve protein miktarı üzerinde önemli düzeyde bir etkisinin olmadığı (p>0.05) ancak kuru madde miktarı üzerinde önemli düzeyde (p<0.05) etkisinin olduğu saptanmıştır. Shen ve ark. (2021), yaptıkları çalışmada kurutulan kinoa proteini izolatlarının nem içeriklerinin kullanılan kurutma yöntemine göre önemli bir farklılık göstermediğini bildirmişlerdir. Mevcut çalışmadaki farklılığın, KPK yöntemi ile 60°C sıcaklıkta kurutulan örneğin ihtiva ettiği nemin diğer örneklerle göre etkin bir şekilde uzaklaştırılamamasından kaynaklı olduğu değerlendirilmiştir.

Preethi ve ark. (2021), yaptıkları çalışmada kurutulan maş fasulyesi ve siyah mercimek proteini tozlarının protein içeriklerinin kullanılan kurutma yöntemine göre önemli bir farklılık göstermediğini bildirmişlerdir. Mevcut çalışmada elde edilen sonuç bu çalışmayla uyumludur.

Çizelge 4. 2. Fındık proteini izolatlarının kuru madde miktarı, su aktivitesi ve protein içeriğine ait varyans analiz sonuçları

Varyasyon kaynağı	SD	Kuru madde miktarı		Su aktivitesi		Protein miktarı	
		KO	F	KO	F	KO	F
Kurutma şartları	4	3.8	8.01*	0.001	0.40öd	2.66	2.67öd
Hata	5	0.47		0.002		0.99	

öd: önemli değil, *: p<0.05, **: p<0.01

4.2. Renk

Farklı kurutma yöntemleriyle kurutulan örneklerin L*, a* ve b* değerleri Çizelge 4.3’te belirtilmiştir. KPK yöntemiyle kurutulan protein izolatlarının L* değeri 58.60-

64.13 arasında değişiklik gösterirken PK yöntemiyle kurutulan örneğin L^* değeri 80.57 olarak tespit edilmiştir (Çizelge 4.3). KPK yöntemiyle kurutulmuş olan örneklerin PK yöntemiyle kurutulan örneğe göre daha koyu olmalarının sebebi Tontul ve ark. (2018) tarafından da belirtilen kırımın pencereleli kurutma esnasında esmerleşme reaksiyonlarının ortaya çıkması ile açıklanabilir. KPK yöntemiyle 60 ve 70°C’de kurutulan örneklerin L^* değerleri arasında önemli bir farklılık olmadığı ve diğer örneklere göre düşük değerlere sahip olduğu gözlemlenmiştir. Bu durumun kurumanın yavaş ve uzun sürede gerçekleşmesi sonucu meydana gelen esmerleşme reaksiyonlarından kaynaklandığı düşünölmektedir. Sıcaklığın 80°C’den 90°C ye çıkmasıyla kuruma süresindeki azalmaya rağmen L^* değerinin düşmesi, esmerleşme reaksiyonlarının 90°C’de hızlı bir şekilde gerçekleşmesi ile açıklanabilir. Dolayısıyla findık proteini izolatlarının KPK yöntemiyle kurutulmasında L^* değeri açısından en uygun sıcaklık 80°C olarak belirlenmiştir. Tontul ve ark. (2018), kuruttukları nohut proteini izolatlarının L^* değerlerini KPK (90°C) ve dondurarak kurutma için sırasıyla 72.76 ve 74.37 olarak saptamışlardır. Shen ve ark. (2021), kuruttukları kinoa proteini izolatlarının L^* değerlerini dondurarak, püskürtmeli ve vakum kurutma yöntemleri için sırasıyla 52.44, 77.60 ve 48.86 olarak belirtmişlerdir. Preethi ve ark. (2021), KPK ve dondurarak kurutma yöntemleriyle kuruttukları maş fasulyesi proteini tozlarının L^* değerlerinin 64.02-67.77 aralığında, siyah mercimek proteini tozlarının L^* değerlerinin 59.24-60.41 aralığında değiştiğini tespit etmişlerdir.

KPK yöntemiyle kurutulan örneklerin a^* değeri 2.23-4.44 arasında iken PK yöntemiyle kurutulan örneğin a^* değeri -0.98 olarak tespit edilmiştir (Çizelge 4.3). Yeşillik/kırmızılık göstergesi olan a^* değeri tüm örnekler arasında en düşük PK yöntemiyle kurutulan örnekte görölmüştür. Negatif bir değere sahip olması sebebiyle PK yöntemiyle kurutulan örnek yeşilimsi bir renk özelliği sergilemiştir. KPK yöntemiyle 60 ve 70°C’de kurutulan örneklerin a^* değerleri diğer örneklere göre daha yüksek iken sıcaklığın artmasıyla a^* değeri yani kırmızılık azalmıştır. Tontul ve ark. (2018), kuruttukları nohut proteini izolatlarının a^* değerlerini KPK ve dondurarak kurutma için sırasıyla 0.45 ve -0.46 olarak saptamışlardır. Shen ve ark. (2021), kuruttukları kinoa proteini izolatlarının a^* değerlerini dondurarak, püskürtmeli ve vakum kurutma yöntemleri için sırasıyla 2.70, 0.93 ve 2.78 olarak belirtmişlerdir. Preethi ve ark. (2021), KPK ve dondurarak kurutma yöntemleriyle kuruttukları maş fasulyesi proteini tozlarının a^* değerlerinin 3.38-4.67 aralığında, siyah mercimek proteini tozlarının a^* değerlerinin 4.50-5.75 aralığında değiştiğini tespit etmişlerdir.

KPK yöntemiyle kurutulan örneklerin b^* değeri 20.92-22.91 arasında iken PK yöntemiyle kurutulan örneğin b^* değeri 18.07 olarak tespit edilmiştir (Çizelge 4.3). Mavilik/sarılık göstergesi olan b^* değeri KPK yöntemiyle kurutulan örneklerde Duncan Çoklu Karşılaştırma Testi sonuçlarına göre istatistiksel olarak benzer bulunmuştur. PK yöntemiyle kurutulan örnek diğer örneklerle göre en düşük b^* değerini göstermiş olup dolayısıyla daha açık sarımsı bir renk özelliği sergilemiştir. Tontul ve ark. (2018), kuruttukları nohut proteini izolatlarının b^* değerlerini KPK ve dondurarak kurutma için sırasıyla 24.08 ve 25.57 olarak saptamışlardır. Shen ve ark. (2021), kuruttukları kinoa proteini izolatlarının b^* değerlerini dondurarak, püskürtmeli ve vakum kurutma yöntemleri için sırasıyla 11.72, 8.41 ve 12.20 olarak belirtmişlerdir. Preethi ve ark. (2021), KPK ve dondurarak kurutma yöntemleriyle kuruttukları maş fasulyesi proteini tozlarının b^* değerlerinin 21.59-25.92 aralığında, siyah mercimek proteini tozlarının b^* değerlerinin 17.38-19.76 aralığında değiştiğini tespit etmişlerdir.

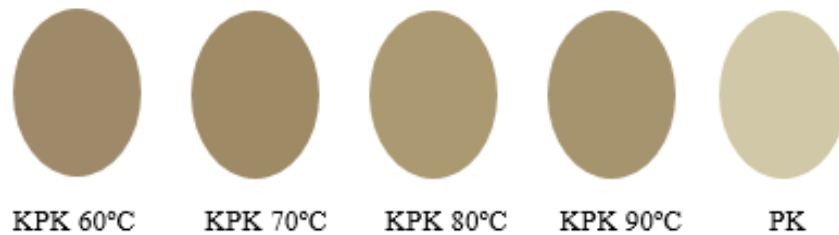
Çizelge 4. 3. Fındık proteini izolatlarının L^* , a^* ve b^* değerleri¹ ve bu değerlere ait Duncan Çoklu Karşılaştırma Testi sonuçları²

Kurutma yöntemi	Sıcaklık (°C)	L^*	a^*	b^*
Kırınım Pencereli	60	58.63±0.55c	4.18±0.19a	20.92±0.00a
	70	58.60±0.67c	4.44±0.29a	22.24±0.69a
	80	64.13±0.46b	2.23±0.29b	22.91±0.52a
	90	62.23±2.09bc	2.72±0.59b	22.31±0.17a
Püskürtmeli	180-75	80.57±1.61a	-0.98±0.51c	18.07±0.93b

¹Sonuçlar iki tekerrürün ortalaması±standart sapma şeklinde verilmiştir.

²Aynı sütundaki farklı harfler ortalamalar arasında $p<0.05$ düzeyinde farklılığı ifade etmektedir.

Protein tozlarına ait L^* , a^* , ve b^* değerleri kullanılarak Nix sensor adlı web sitesi vasıtasıyla (<https://www.nixsensor.com/free-color-converter/>) elde edilen renk çıktısı Şekil 4.1’de verilmiştir.



Şekil 4. 1. Fındık proteini izolatlarına ait renk çıktısı

Çizelge 4.4'te verilen varyans analiz sonuçlarına göre kurutma şartının L*, a* (p<0.01) ve b* (p<0.05) değerleri üzerinde önemli düzeyde etkisinin olduğu saptanmıştır. Joshi ve ark. (2011), yaptıkları çalışmada kurutulan mercimek proteini izolatlarının L*, a* ve b* değerlerinin kullanılan kurutma yöntemine göre önemli düzeyde farklılık gösterdiğini bildirmişlerdir. Mevcut çalışmada elde edilen sonuç bu çalışmayla paralellik göstermektedir.

Çizelge 4. 4. Fındık proteini izolatlarının L*, a* ve b* değerlerine ait varyans analiz sonuçları

Varyasyon kaynağı	SD	L*		a*		b*	
		KO	F	KO	F	KO	F
Kurutma şartları	4	166.2	52.16**	9.4	29.15**	7.5	11.45*
Hata	5	3.19		0.32		0.66	

öd: önemli değil, *: p<0.05, **: p<0.01

4.3. Çözünürlük

Kurutulan fındık proteini izolatlarının farklı pH değerlerinde (pH 1, 3, 5, 7 ve 9) sahip oldukları çözünürlük değerleri Çizelge 4.5'de verilmiştir. Her iki yöntemle de kurutulan fındık proteini izolatları beklenildiği gibi izoelektrik noktaya yakın olması sebebiyle pH 5'de minimum çözünürlük göstermiş ve pH izoelektrik noktadan uzaklaştığında çözünürlük artmıştır. Birçok literatür çalışması da bu bulguyu desteklemektedir (Zhao ve ark., 2013; Ghribi ve ark., 2015; Tontul ve ark., 2018; Shen ve ark., 2021).

Maksimum çözünürlük iki kurutma yönteminde de pH 1'de saptanmış olup KPK yöntemiyle kurutulan örnekler %66.58-98.30 aralığında çözünürken PK yöntemiyle kurutulan örnek ise %100 çözünme özelliği göstermiştir. Çözünürlüğün yüksek olması Ghribi ve ark. (2015), tarafından bildirilen düşük denatürasyonun bir sonucu olarak açıklanabilir. Her iki kurutma yönteminde de pH 1'in ardından en yüksek çözünürlük pH 9'da görülmüştür (KPK yöntemi için %51.50-59.72 aralığında, PK yöntemi için %83.87). Düşük ve yüksek pH'ta proteinlerin pozitif ya da negatif yükleri mevcuttur. Bu durum protein moleküllerini ayıran elektrostatik bir itme kuvvetine sebebiyet verir. Böylelikle çözünürlükte artış meydana gelir (Yulina ve ark., 2014; Eroğlu ve ark., 2020).

KPK yöntemiyle kurutulan örneklerin çözünürlükleri pH 1'de sıcaklık artışıyla giderek azalırken pH 3, 5, 7 ve 9'da sıcaklık artışının çözünürlüğü istatistiksel olarak önemli düzeyde etkilemediği görülmüştür (Çizelge 4.5).

Genel olarak PK yöntemiyle kurutulan protein izolatu, KPK yöntemiyle kurutulan örneklerden daha yüksek çözünürlük göstermiştir (pH 1,3 ve 9 için). KPK yöntemiyle kurutulan örneklerin daha düşük çözünürlük göstermesi daha yüksek denatürasyondan kaynaklanacağı gibi, kurutma esnasında dış kabuğun meydana gelmesiyle de alakalı olabilir (Ghribi ve ark., 2015; Tontul ve ark., 2018). Pirinç proteini izolatlarının püskürtülerek ve dondurularak kurutulduğu bir çalışmada örneklerin çözünürlüklerinin püskürtmeli kurutma yönteminde daha fazla olduğu bildirilmiştir (Zhao ve ark., 2013). Tontul ve ark. (2018), nohut proteini izolatlarının dondurarak kurutma yönteminde %94.2 ile pH 11’de, KPK yönteminde ise %74.5 ile pH 12’de maksimum değere ulaştığını tespit etmişlerdir. Eroğlu ve ark. (2020), dondurarak kuruttukları fındık proteini izolatının çözünürlüğünün en yüksek pH 2 ve 10’da görüldüğünü ve sırasıyla %79.12 ve %86.87 değerlerine ulaştığını belirlemiştir.

İncelenen literatür çalışmaları ile mevcut çalışmanın çözünürlüğünün değerlendirildiği pH aralıkları değişkenlik gösterebildiği için net bir karşılaştırma yapılamamaktadır. Proteinlerin çözünürlüğü üzerinde pH oldukça etkili bir faktör olmakla beraber çözünürlüğü belirlemek için yararlanılan farklı yöntemler ve işlem koşulları da farklı bulgulara sebebiyet verebilmektedir (Özdemir, 2021). Fındık proteini konsantresi (Öztop, 2014), kaju fıstığı proteini izolatu (Yulina ve ark., 2014), fındık proteini izolatu (Eroğlu ve ark., 2020), ve maş fasulyesi ve siyah mercimek proteini tozları (Preethi ve ark., 2021) üzerine yapılan çalışmalar mevcut çalışmayla benzer olarak düşük asidik ve yüksek alkali pH değerlerinde genel olarak daha yüksek çözünürlük göstermişlerdir.

Çizelge 4. 5. Fındık proteini izolatlarının farklı pH seviyelerindeki çözünürlük değerleri¹ ve bu değerlere ait Duncan Çoklu Karşılaştırma Testi sonuçları²

Kurutma yöntemi	Sıcaklık (°C)	Çözünürlük (%)				
		pH1	pH3	pH5	pH7	pH9
Kırınım Pencereli	60	98.30±1.7a	38.53±1.95b	0.15±0.15b	41.88±3.01a	59.72±4.31b
	70	96.39±0.6a	37.88±2.61b	0.50±0.1ab	38.63±1.15a	58.17±1.55b
	80	79.41±1.55b	38.18±3.01b	3.26±0.25a	35.72±2.56a	58.62±4.61b
	90	66.58±0.55c	41.13±2.35b	1.10±1.1ab	38.48±0.9a	51.50±0.2b
Püskürtmeli	180-75	100±0a	61.32±0.7a	1.25±1.25ab	34.42±9.27a	83.87±8.62a

¹Sonuçlar iki tekerrürün ortalaması±standart sapma şeklinde verilmiştir.

²Aynı sütundaki farklı harfler ortalamalar arasında p<0.05 düzeyinde farklılığı ifade etmektedir.

Çizelge 4.6’da verilen varyans analiz sonuçlarına göre kurutma şartının çözünürlük üzerinde pH 1, 3 ($p<0.01$) ve 9’da ($p<0.05$) önemli düzeyde etkisinin olduğu ancak pH 5 ve 7’de önemli düzeyde bir etkisinin olmadığı ($p>0.05$) saptanmıştır.



Çizelge 4. 6. Fındık proteini izolatlarının farklı pH seviyelerindeki çözünürlük değerlerine ait varyans analiz sonuçları

Varyasyon kaynağı	SD	Çözünürlük									
		PH1		PH3		PH5		PH7		PH9	
		KO	F	KO	F	KO	F	KO	F	KO	F
Kurutma şartları	4	426.4	178.31**	204	19.86**	2.9	2.53öd	16.8	0.40öd	309.5	6.64*
Hata	5	2.40		10.27		1.15		41.44		46.60	

öd: önemli değil, *: $p < 0.05$, **: $p < 0.01$

4.4. Parçacık Boyutu

KPK yöntemiyle kurutulan örneklerin parçacık boyutu değerleri 348.78-398.72 μm arasında değişiklik gösterirken PK yöntemiyle kurutulan örneğin parçacık boyutu değeri 24.46 μm olarak tespit edilmiştir (Çizelge 4.7). PK yöntemiyle kurutulan örnek, KPK yöntemiyle kurutulan örneklerle göre daha düşük parçacık boyutu göstermiştir. Bu durum, parçacık boyutunun KPK yöntemine kıyasla PK yönteminde daha ufak ebatlara indirgenmesinin bir sonucu olabilir. Zhao ve ark. (2013), dondurularak kurutulan pirinç proteini izolatının parçacık boyutunun püskürtülerek kurutulan örnekten daha büyük olduğunu saptamışlardır. Shen ve ark. (2021), püskürtülerek kurutulan kinoa proteini izolatlarının parçacık boyutunun (10.43 μm), dondurularak (44.24 μm) ve vakumla kurutulan örneklerden (38.25 μm) önemli düzeyde daha ince ve küçük olduğunu tespit etmişlerdir.

KPK yöntemiyle kurutulan örneklerin parçacık boyutu değerleri sıcaklığa bağlı olarak varyasyon göstermiştir (Çizelge 4.7). Ghribi ve ark. (2015), dondurarak kuruttukları nohut proteini konsantresinin parçacık boyutunun 40 ve 50°C’de konvektif kurutma yöntemiyle kurutulan örneklerden daha büyük olduğunu belirlemişlerdir (178.2 μm). Ayrıca konvektif kurutma yönteminde 40°C’de kurutulan örneğin (85.2 μm) 50°C’de kurutulana (68.8 μm) göre daha büyük parçacık boyutuna sahip olduğunu bildirmişlerdir.

Çizelge 4. 7. Fındık proteini izolatlarının hacim ağırlıklı ortalama parçacık boyutu değerleri¹ ve bu değerlere ait Duncan Çoklu Karşılaştırma Testi sonuçları²

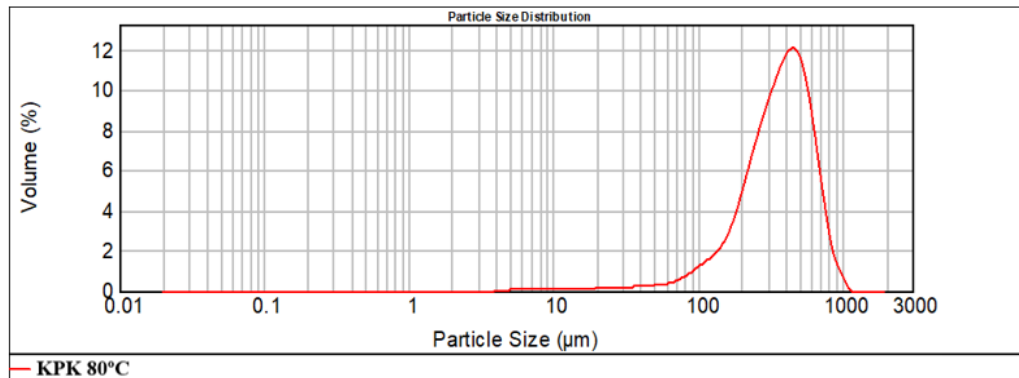
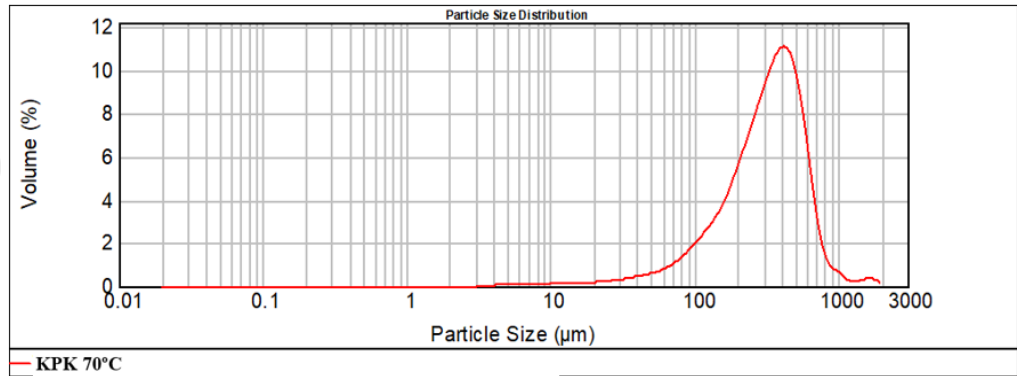
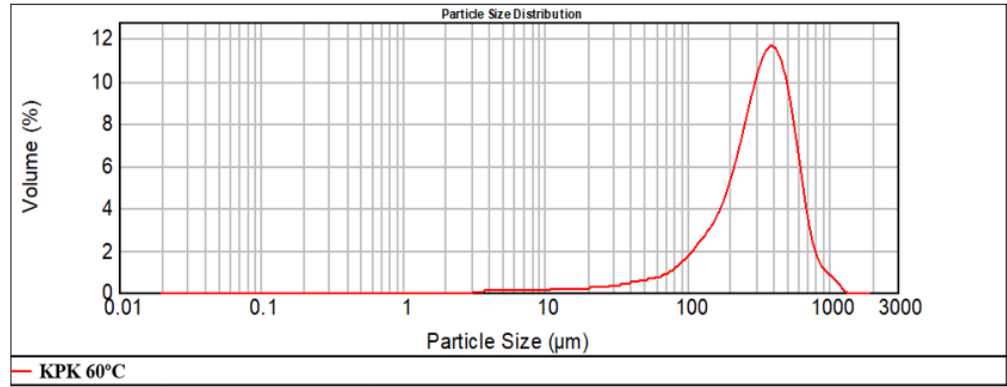
Kurutma yöntemi	Sıcaklık (°C)	Parçacık Boyutu (μm)
Kırınım Pencereli	60	393.02±21.32ab
	70	348.78±0.2b
	80	375.01±14.48ab
	90	398.72±11.21a
Püskürtmeli	180-75	24.46±8.4c

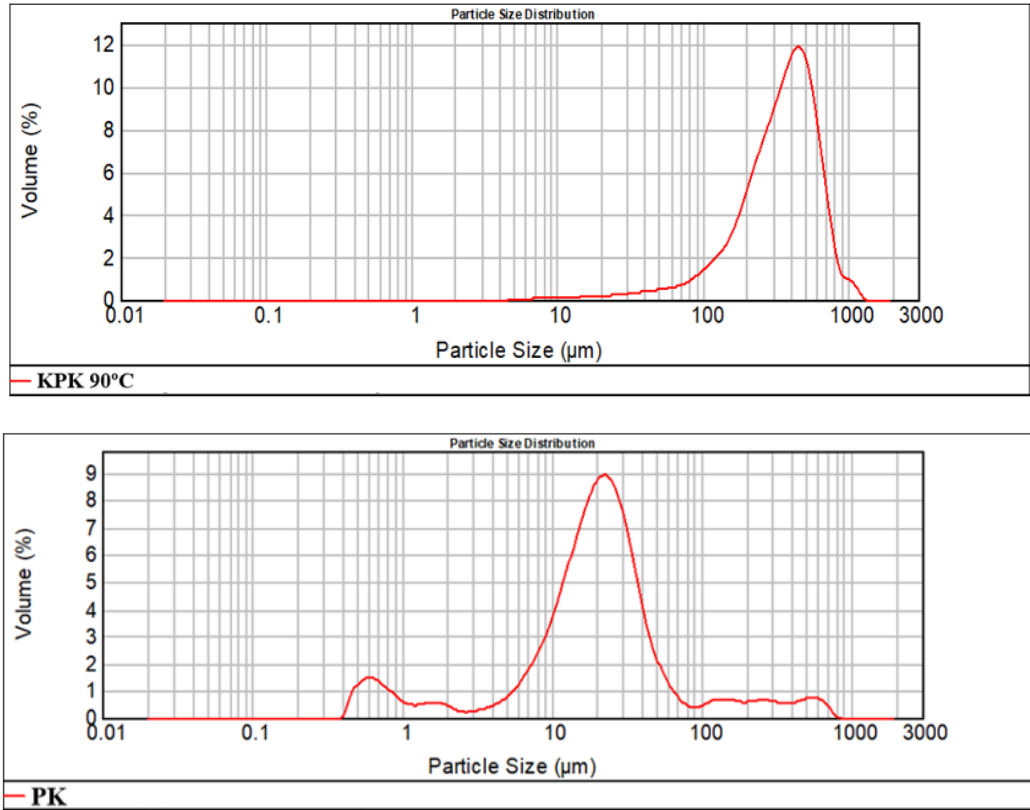
¹Sonuçlar iki tekerrürün ortalaması±standart sapma şeklinde verilmiştir.

²Aynı sütundaki farklı harfler ortalamalar arasında $p<0.05$ düzeyinde farklılığı ifade etmektedir.

Şekil 4.2’de kurutulan protein izolatlarının parçacık boyutu dağılım grafikleri verilmiştir. Genel olarak KPK yöntemiyle kurutulan örneklerde tek pik noktası, daha dar bir parçacık boyutu aralığı ve dolayısıyla daha homojen bir boyut dağılımı olduğu

saptanmıştır. Buna karşın PK yöntemiyle kurutulan örnekte birden fazla pik noktası meydana gelmiş olup daha fazla varyasyon görülmüş ve örnek daha geniş bir aralıkta dağılım sergilemiştir. PK yöntemiyle kurutulan protein tozunun gösterdiği boyut homojensizliği örnekte görülen yoğun topaklanmanın bir sebebi olarak açıklanabilir (Şekil 4.3)





Şekil 4. 2. Farklı kurutma yöntemleriyle kurutulan fındık proteini izolatlarının parçacık boyutu dağılım grafikleri



Şekil 4. 3. Kırınım pencere (a) ve püskürtmeli (b) kurutma yöntemleriyle kurutulan fındık proteini izolatlarının genel görünümü

Çizelge 4.8’de verilen varyans analiz sonuçlarına göre kurutma şartının parçacık boyutu üzerinde önemli düzeyde etkisinin olduğu ($p < 0.01$) saptanmıştır. Joshi ve ark. (2011), kuruttukları mercimek proteini izolatlarının parçacık boyutunun kullanılan

kurutma yöntemine göre önemli düzeyde farklılık gösterdiğini bildirmişlerdir. Mevcut çalışmada elde edilen sonuç bu çalışmayla uyumludur.

Çizelge 4. 8. Fındık proteini izolatlarının parçacık boyutu değerlerine ait varyans analiz sonuçları

Varyasyon kaynağı	SD	Parçacık Boyutu	
		KO	F
Kurutma şartları	4	51003.5	148.19**
Hata	5	344.17	

öd: önemli değil, *: $p < 0.05$, **: $p < 0.01$

4.5. Yoğunluk

Toz gıdaların yığın yoğunluğu, sıkıştırılmış yoğunluğu ve akışkanlığı yüksek oranda parçacık boyutu ve dağılımıyla ilişkilidir (Barbosa-Cánovas ve ark., 2005).

Düşük yığın yoğunluğuna sahip toz ürünler içerisinde daha fazla hava bulundurduğu için depolamayı olumsuz olarak etkileyen oksidasyon reaksiyonlarının oluşma ihtimali daha yüksektir. Ayrıca yığın yoğunluğu düştükçe ürünün gereksinim duyduğu paket hacmi de artmaktadır. Bu sebepler doğrultusunda yığın yoğunluğunun düşük olması tercih edilen bir özellik değildir (Koç ve ark., 2012).

KPK yöntemiyle kurutulan örneklerin yığın yoğunluğu değerleri $0.50-0.55 \text{ g/cm}^3$ arasında, sıkıştırılmış yoğunluk değerleri $0.59-0.67 \text{ g/cm}^3$ arasında değişiklik göstermiştir. PK yöntemiyle kurutulan örneğin yığın yoğunluğu 0.27 g/cm^3 olarak, sıkıştırılmış yoğunluğu 0.50 g/cm^3 olarak belirlenmiştir (Çizelge 4.9). PK yöntemiyle kurutulan örnek KPK yöntemiyle kurutulan örneklerle göre daha düşük yığın yoğunluğu ve daha yüksek oranda sıkıştırılma özelliği göstermiştir.

KPK yöntemiyle kurutulan örneklerin Hausner oranı 1.20-1.26 arasında, Carr indeksi 16.4-20.29 arasında değişiklik göstermiştir. PK yöntemiyle kurutulan örneğin Hausner oranı 1.84 olarak, Carr indeksi 45.55 olarak belirlenmiştir (Çizelge 4.9). KPK yöntemiyle kurutulan örnekler genel olarak orta düzeyde akış özelliğine sahipken, PK yöntemiyle kurutulan örnek çok kötü akış özelliği göstermiştir.

Kurutulan örneklerin toz özellikleri arasındaki farklılıklar Ermiş ve ark. (2018) tarafından belirtilen parçacık boyutunun artmasıyla, daha iyi akışkanlık özelliklerinin görülmesi, yığın yoğunluğunun artması ve sıkıştırılabilirliğin azalmasının bir sonucu olarak ifade edilebilir. Preethi ve ark. (2021), KPK yöntemiyle kuruttukları maş fasulyesi ve siyah mercimek proteini tozlarının yığın yoğunluğunun $0.51-0.58 \text{ g/cm}^3$ arasında,

sıkıştırılmış yoğunluğunun 0.53-0.62 g/cm³ arasında değişiklik gösterdiğini belirlemişlerdir. Örneklerin akışkanlığının ise mükemmel olup Hausner oranının 1.05-1.09 arasında, Carr indeksinin 5.00-8.33 arasında değişiklik gösterdiğini tespit etmişlerdir. Mevcut tez çalışmasında KPK yöntemiyle kurutulmuş örneklerin yığın yoğunluğu değerleri bu çalışma ile paralellik göstermiştir. Buna karşın akış özelliklerinin incelenen bu çalışmaya göre daha kötü olmasının sebebi; hammadde ya da uygulanan sıcaklık farklılıklarından kaynaklanmış olabilir. Ayrıca Couto ve ark. (2011), yığın yoğunluğu ve sıkıştırılmış yoğunluk arasındaki farkın, akış davranışını gösterdiğini ve farkın ne kadar az olursa toz ürünün akışkanlık özelliğinin de o kadar iyi olduğunu bildirmişlerdir. Mevcut çalışmada yığın yoğunluğu ve sıkıştırılmış yoğunluk değerleri arasındaki fark incelenen literatür çalışmasından daha fazladır. Bir başka çalışmada püskürtmeli kurutma yöntemiyle kurutulan susam kepeği protein tozunun yığın yoğunluğu ve sıkıştırılmış yoğunluğu sırasıyla 0.32 g/cm³ ve 0.52 g/cm³ olarak tespit edilip, akış özelliği de kötü olarak değerlendirilmiştir (Özdemir, 2021).

KPK yönteminde sıcaklık artışı sonucunda örneklerin yığın yoğunluğunda ve sıkıştırılabilirliğinde azalma meydana gelmiştir. Örnekler genel olarak orta düzeyde akış özelliğine sahip olsa da yığın yoğunluğu ve sıkıştırılmış yoğunluk arasındaki farkın en az olduğu 90°C’de kurutulan örneğin diğerlerine göre daha iyi akış özelliğine sahip olduğu söylenebilir (Çizelge 4.9).

Çizelge 4. 9. Fındık proteini izolatlarının yoğunluk ve akış özellikleri değerleri¹ ve bu değerlere ait Duncan Çoklu Karşılaştırma Testi sonuçları²

Kurutma yöntemi	Sıcaklık (°C)	Yığın Yoğunluğu (g/cm ³)	Sıkıştırılmış Yoğunluk (g/cm ³)	Hausner Oranı	Carr İndeksi
Kırınım Pencereli	60	0.55±0.02a	0.67±0.03a	1.22±0.02b	17.78±1.11b
	70	0.51±0ab	0.63±0.01ab	1.26±0.03b	20.29±1.95b
	80	0.50±0b	0.62±0ab	1.24±0b	19.46±0b
	90	0.50±0.02b	0.59±0.02b	1.20±0b	16.40±0.27b
Püskürtmeli	180-75	0.27±0.01c	0.50±0.01c	1.84±0.06a	45.55±1.66a

¹Sonuçlar iki tekerrürün ortalaması±standart sapma şeklinde verilmiştir.

²Aynı sütundaki farklı harfler ortalamalar arasında p<0.05 düzeyinde farklılığı ifade etmektedir.

Çizelge 4.10’da verilen varyans analiz sonuçlarına göre kurutma şartının yığın yoğunluğu, sıkıştırılmış yoğunluk, Hausner oranı ve Carr indeksi üzerinde önemli düzeyde etkisinin olduğu (p<0.01) saptanmıştır. Ghribi ve ark. (2015), kuruttukları nohut

proteini konsantrelerinin yığın yoğunluğunun kurutma yönteminden ve sıcaklıktan önemli düzeyde etkilendiğini bildirmişlerdir. Mevcut çalışmada elde edilen sonuç bu çalışmayla paralellik göstermektedir.

Çizelge 4. 10. Fındık proteini izolatlarının yığın yoğunluğu, sıkıştırılmış yoğunluk, Hausner oranı ve Carr indeksi değerlerine ait varyans analiz sonuçları

Varyasyon kaynağı	SD	Yığın Yoğunluğu		Sıkıştırılmış Yoğunluk		Hausner Oranı		Carr İndeksi	
		KO	F	KO	F	KO	F	KO	F
Kurutma şartları	4	0.02	65.72**	0.007	11.82**	0.15	86.12**	297.6	94.82**
Hata	5	0.00036		0.00066		0.0017		3.14	

öd: önemli değil, *: $p < 0.05$, **: $p < 0.01$

4.6. Su ve Yağ Tutma Kapasitesi ve Yüzey Hidrofobisitesi

KPK yöntemiyle kurutulan örneklerin su tutma kapasitesi 2.51-2.88 g su/g protein arasında değişiklik gösterirken PK yöntemiyle kurutulan örneğin su tutma kapasitesi 2.58 g su/g protein olarak tespit edilmiştir (Çizelge 4.11).

Duncan Çoklu Karşılaştırma Testi sonuçlarına göre istatistiksel olarak önemsiz olsa da (Çizelge 4.11) sıcaklık artışı KPK yöntemiyle kurutulan örneklerin su tutma kapasitesini arttırmıştır. Bu durum proteinlerin sahip olduğu kovalent olmayan bağların kurutma esnasındaki sıcaklık artışına bağlı olarak zayıf ve esnek bir hale gelmesi ile açıklanabilir (Preethi ve ark., 2021).

Örneklerin yağ tutma kapasitesi KPK yöntemiyle kurutulanlar için 2.96-3.22 g yağ/g protein arasında değişiklik gösterirken PK yöntemiyle kurutulan örneğin yağ tutma kapasitesi 3.01 g yağ/g protein olarak belirlenmiştir (Çizelge 4.11). Proteinin polar olmayan amino asit yan zincirlerinin, lipid hidrokarbon zincirleri ile oluşturdukları hidrofobik etkileşimler yağ tutma kapasitesini etkileyebilmektedir (Saetae ve ark., 2011).

KPK yöntemiyle kurutulan örneklerin yağ tutma kapasiteleri Duncan Çoklu Karşılaştırma Testi sonuçlarına göre istatistiksel olarak benzer bulunmuştur (Çizelge 4.11).

Yapılan bir çalışmada farklı yöntemlerle kurutulan protein izolatının yağ ve su tutma kapasitesinin çözünürlük ile doğrusal bir ilişkisinin olmadığı saptanmıştır (Zhao ve ark., 2013). Mevcut tez çalışması literatür çalışmasında çıkarılan bu sonuçla uyumludur.

Çizelge 4. 11. Fındık proteini izolatlarının su/yağ tutma kapasitesi ve yüzey hidrofobitesi değerleri¹ ve bu değerlere ait Duncan Çoklu Karşılaştırma Testi sonuçları²

Kurutma yöntemi	Sıcaklık (°C)	Su Tutma Kapasitesi (g su/g)	Yağ Tutma Kapasitesi (g yağ/g)	Yüzey Hidrofobitesi (%)
Kırınım Pencereli	60	2.51±0.03a	3.14±0.13a	27.34±2.6b
	70	2.61±0.07a	3.22±0.05a	29.05±3.49b
	80	2.64±0.06a	3.03±0.16a	29.53±0.65b
	90	2.88±0.07a	2.96±0.04a	29.35±0.59b
Püskürtmeli	180-75	2.58±0.3a	3.01±0.2a	82.72±0.83a

¹Sonuçlar iki tekerrürün ortalaması±standart sapma şeklinde verilmiştir.

²Aynı sütundaki farklı harfler ortalamalar arasında p<0.05 düzeyinde farklılığı ifade etmektedir.

İzoelektrik çöktürme yöntemiyle elde edilen ve farklı yöntemlerle kurutulan protein tozlarının su ve yağ tutma kapasitelerinin incelendiği bazı literatür verileri Çizelge 4.12’de verilmiştir. Buna göre farklı çalışmalar mevcut çalışmayla karşılaştırıldığında fındık izolatının (Eroğlu ve ark., 2020), Türk tombul fındığı konsantresinin (Tatar ve ark., 2015) ve mercimek izolatının (Joshi ve ark., 2011) su tutma kapasitesi değerleri daha düşük çıkarken, nohut izolatı (Tontul ve ark., 2018) ve *Jatropha curcas* L. izolatının (Saetae ve ark., 2011) su tutma kapasitesi değerleri daha yüksek çıkmıştır. Mevcut çalışmadaki örneklerin yağ tutma kapasitesi nohut izolatı (Tontul ve ark., 2018) ile benzer bulunup, diğer çalışmalardan daha yüksek bulunmuştur (Çizelge 4.12).

Her iki yöntemle de kurutulan fındık proteini izolatları suya nazaran yağı daha iyi absorplama yeteneğine sahiptirler (Çizelge 4.11). Bu sebeple örneklerin sos, süt ürünleri ve salata sosları gibi yağlı gıdalarda kullanımı uzun raf ömrü ve lezzet korunumu gibi avantajlar sağlama potansiyeline sahiptir (Zhao ve ark., 2013; Tontul ve ark., 2018).

Çizelge 4. 12. Farklı yöntemlerle kurutulan bitkisel kaynaklı protein tozlarının su ve yağ tutma kapasitesi

Ürün	Kurutma yöntemi	Su Tutma Kapasitesi	Yağ Tutma Kapasitesi	Referans
Fındık izolatu	Dondurarak	1.95 mL/g protein	2.1 g yağ/g protein	Eroglu ve ark. (2020)
Nohut izolatu	KPK/Dondurarak	4.26/3.17 g su/g protein	3.65/3.15 g yağ/g protein	Tontul ve ark. (2018)
Türk tombul fındığı konsantresi	Vakum	1.36 g su/g protein	1.86 mL yağ/g protein	Tatar ve ark. (2015)
<i>Jatropha curcas L.</i> izolatu	Vakum	3.22 g su/g protein	1.86 mL yağ/g protein	Saetae ve ark. (2011)
Mercimek izolatu	Dondurarak/Püskürtmeli /Vakum	0.48/0.43/0.47 g/g	-	Joshi ve ark. (2011)

KPK yöntemiyle kurutulan örneklerin yüzey hidrofobitesi %27.34-29.53 arasında değişiklik gösterirken PK yöntemiyle kurutulan örneğin yüzey hidrofobitesi %82.72 olarak tespit edilmiştir (Çizelge 4.11). PK yöntemiyle kurutulan örnek KPK yöntemiyle kurutulan örneklerden oldukça yüksek yüzey hidrofobitesine sahiptir. Yüksek yüzey hidrofobitesi protein izolatlarının sahip olduğu daha iyi yüzey aktif madde özelliklerini (Tontul ve ark., 2018) ve yüksek çözünürlüğü gösterir (Zhao ve ark., 2013). Öte yandan kurutma esnasında meydana gelen denatürasyon sebebiyle globüler proteinlerin içinde mevcut olan hidrofobik bölgelerin açığa çıkması da yüzey hidrofobitesini artırır (Hu ve ark., 2010; Gong ve ark., 2016; Mune ve Sogi, 2016; Tontul ve ark., 2018; Preethi ve ark., 2021).

KPK yöntemiyle kurutulan örneklerin yüzey hidrofobitesi değerleri Duncan Çoklu Karşılaştırma Testi sonuçlarına göre istatistiksel olarak benzer bulunmuştur (Çizelge 4.11).

Tontul ve ark. (2018), kuruttukları nohut proteini izolatlarının yüzey hidrofobitesini KPK ve DK yöntemleri için sırasıyla %38.70 ve %60.98 olarak belirlemişlerdir.

Çizelge 4.13’de verilen varyans analiz sonuçlarına göre kurutma şartının su ve yağ tutma kapasitesi üzerinde önemli düzeyde bir etkisinin olmadığı ($p>0.05$) ancak yüzey hidrofobitesi üzerinde önemli düzeyde ($p<0.01$) etkisinin olduğu saptanmıştır. Preethi ve ark. (2021), kuruttukları maş fasulyesi ve siyah mercimek proteini tozlarının su ve yağ tutma kapasitesinin kullanılan kurutma yöntemine göre (KPK ve dondurarak kurutma) önemli bir farklılık göstermediğini bildirmişlerdir. Gong ve ark. (2016),

kuruttukları fıstık proteini izolatlarının yüzey hidrofobitesinin kullanılan kurutma yöntemine göre önemli düzeyde farklılık gösterdiğini bildirmişlerdir. Mevcut çalışmada elde edilen sonuçlar bu çalışmalar ile paralellik göstermektedir.

Çizelge 4. 13. Fındık proteini izolatlarının su/yağ tutma kapasitesi ve yüzey hidrofobitesi değerlerine ait varyans analiz sonuçları

Varyasyon kaynağı	SD	Su Tutma Kapasitesi		Yağ Tutma Kapasitesi		Yüzey Hidrofobitesi	
		KO	F	KO	F	KO	F
Kurutma şartları	4	0.04	0.95öd	0.02	0.68öd	1164	142.44**
Hata	5	0.041		0.033		8.17	

öd: önemli değil, *: $p < 0.05$, **: $p < 0.01$

4.7. Emülsifiye Edici Özellikler

Proteinler genellikle emülgatör işlevi gören yüzey aktif moleküllerdir ve yağ yüzeylerinin elektrostatik itmeleri sonucunda emülsiyonlar meydana getirebilir ve stabilize edebilirler (McClements, 2004; Preethi ve ark., 2021).

Kurutulan fındık proteini izolatlarının farklı pH değerlerinde (pH 1, 7 ve 9) sahip oldukları emülsiyon aktivite indeksi (EAI) ve emülsiyon stabilite indeksi (ESI) Çizelge 4.14’de verilmiştir.

Örneklerin EAI değerleri $45.42-81.77 \text{ m}^2/\text{g}$ arasında değişiklik göstermiştir (Çizelge 4.14). PK yöntemiyle kurutulan örneğin EAI değeri KPK yöntemiyle kurutulan örneklerle göre pH 1’de daha yüksek iken, pH 7 ve 9’da genel olarak daha düşük değerler göstermiştir. En yüksek EAI değeri hem KPK yönteminde ($81.77 \text{ m}^2/\text{g}$) hem de PK yönteminde ($69.09 \text{ m}^2/\text{g}$) pH 9’da belirlenmiştir. Bu sonuca paralel olarak pirinç proteini izolatlarının püskürtülerek ve dondurularak kurutulduğu bir çalışmada örneklerin alkali pH’ta daha iyi emülgatör özellik gösterdiği saptanmıştır (Zhao ve ark., 2013).

Literatürde izoelektrik çöktürme yöntemiyle elde edilen ve çeşitli yöntemlerle kurutulan protein tozlarının EAI değerleri incelenen farklı pH seviyelerinde 5.7 ila 410.50 m^2/g arasında epey geniş bir aralıkta bildirilmiştir (Boye ve ark., 2010; Karaca ve ark., 2011; Ghribi ve ark., 2015; Tontul ve ark., 2018; Eroğlu ve ark., 2020; Preethi ve ark., 2021). Gong ve ark. (2016), farklı kurutma yöntemlerinin proteinlerde farklı moleküler yapılar neden olabileceğini ve bu durumun emülsifiye edici özellikleri etkileyebileceğini bildirmiştir.

Yapılan bir çalışmada dondurularak kurutulan fındık proteini izolatının EAI değeri pH 7’de 44 m²/g olarak belirtilmiştir (Eroğlu ve ark., 2020). Tontul ve ark. (2018), incelenen farklı pH seviyelerinde (pH 2-10) nohut proteini izolatlarının EAI değerlerini KPK yöntemiyle kurutulan örneklerde 16.69-38.16 m²/g aralığında, dondurularak kurutulan örneklerde ise 15.86-44.13 m²/g aralığında saptamışlardır. Çalışmada her iki kurutma yönteminde de en yüksek EAI değeri pH 10’da gözlemlenmiştir. Mevcut tez çalışmasında belirlenen EAI değerleri literatürde bildirilen bu çalışmalardan daha yüksektir. Ghribi ve ark. (2015), daha yüksek EAI değerinin, hidrofobik kısımların ortaya çıkmasına sebep olan ve bunun sonucunda yağ ve su arayüzünde yüzey aktivitesini ve adsorpsiyonu artıran globüler proteinlerin ayrışması ve kısmen açılmasından kaynaklı olabileceği bildirmişlerdir. McClements (2004), protein moleküllerinin genellikle bir arayüzeye adsorpsiyonundan kaynaklanan konformasyonel değişikliklerini yüzey denatürasyonu olarak tanımlamıştır.

KPK yöntemiyle kurutulan örneklerde en yüksek EAI değeri pH 1’de 60°C’de kurutulan örnekte, pH 7 ve 9’da ise 90°C’de kurutulan örnekte görülmüştür (Çizelge 4.14).

Örneklerin ESI değerleri 32.41-376.40 dk arasında değişiklik göstermiştir (Çizelge 4.14). PK yöntemiyle kurutulan örneğin ESI değeri KPK yöntemiyle kurutulan örneklerle göre pH 1’de daha yüksek iken, pH 7 ve 9’da genel olarak daha düşük değerler göstermiştir. En yüksek ESI değeri hem KPK yönteminde (376.40 dk) hem de PK yönteminde (230.85 dk) pH 7’de belirlenmiştir. Eroğlu ve ark. (2020), dondurarak kuruttukları fındık proteini izolatının ESI değerini pH 7’de 46 dk olarak saptamışlardır. Mevcut tez çalışmasında pH 7’de belirlenen ESI değerleri literatürde bildirilen bu çalışmadan oldukça yüksektir. Bunun sebebi Mune ve Sogi (2016), tarafından bildirilen protein moleküllerinin kısmi denatürasyonuna bağlı olarak moleküler esnekliğin artması ve bunun sonucunda yağ damlacıklarının etrafında meydana gelen elastik tabakanın emülsiyonun birleşmesini geciktirmesi olabilir. Tontul ve ark. (2018), incelenen farklı pH seviyelerinde (pH 2-10) nohut proteini izolatlarının ESI değerlerini KPK yöntemiyle kurutulan örneklerde 6.10-518.63 dk aralığında, dondurularak kurutulan örneklerde ise 5.28-40.61 dk aralığında belirlemişlerdir. KPK yöntemiyle kurutulmuş olan nohut proteini izolatlarının emülsiyon stabilitesinin (pH 10 değeri haricinde) dondurularak kurutulan örneklerle göre daha yüksek olduğu gözlemlenmiştir.

KPK yöntemiyle kurutulan örneklerde en yüksek ESI değeri pH 1 ve 9’da 60°C’de kurutulan örnekte, pH 7’de ise 90°C’de kurutulan örnekte görülmüştür (Çizelge 4.14).

KPK yönteminde EAI ve ESI değerlerinin daha yüksek olduğu sıcaklıklarda kısmi denatürasyon daha fazla gerçekleşmiş olabilir. Voutsinas ve ark. (1983), ısı ile meydana gelen denatürasyonun proteinlerin emülsifiye edici özelliklerinde her daim bir kayba neden olmayıp, aksine bazı durumlarda olumlu gelişmelere sebebiyet verdiğini bildirmişlerdir.

Çizelge 4. 14. Fındık proteini izolatlarının emülsiyon aktivite indeksi (EAI) ve emülsiyon stabilite indeksi (ESI) değerleri¹ ve bu değerlere ait Duncan Çoklu Karşılaştırma Testi sonuçları²

Kurutma Yöntemi	Sıcaklık (°C)	pH1		pH7		pH9	
		EAI (m ² /g)	ESI(dk)	EAI(m ² /g)	ESI(dk)	EAI(m ² /g)	ESI(dk)
Kırınım	60	59.31±5.55ab	44.13±3.2ab	45.42±1.68b	295.35±65.36a	48.27±7.19c	157.41±83.49a
	70	55.31±1.14b	41.48±4.34abc	64.30±2.87a	207.67±17.83a	70.69±2.3ab	137.30±10.74a
Pencereli	80	51.62±1.55b	32.41±0.29c	66.79±4.77a	294.37±41.94a	56.34±6.78bc	123.44±21.49a
	90	55.99±0.02b	35.05±1.6bc	70.01±1.44a	376.40±101.86a	81.77±2.25a	143.87±25a
Püskürtmeli	180-75	67.71±0.28a	46.46±3.07a	49.19±4.97b	230.85±131.26a	69.09±0.04ab	50.82±1.45a

¹Sonuçlar iki tekerrürün ortalaması±standart sapma şeklinde verilmiştir.

²Aynı sütundaki farklı harfler ortalamalar arasında p<0.05 düzeyinde farklılığı ifade etmektedir.

Çizelge 4.15’de verilen varyans analiz sonuçlarına göre kurutma şartının incelenen tüm pH seviyelerinde, EAI üzerinde önemli düzeyde etkisinin olduğu (p<0.05) ancak ESI üzerinde önemli düzeyde bir etkisinin olmadığı (p>0.05) saptanmıştır.

Çizelge 4. 15. Fındık proteini izolatlarının emülsiyon aktivite indeksi (EAI) ve emülsiyon stabilite indeksi (ESI) değerlerine ait varyans analiz sonuçları

Varyasyon kaynağı	SD	pH1				pH7				pH9			
		EAI		ESI		EAI		ESI		EAI		ESI	
		KO	F	KO	F	KO	F	KO	F	KO	F	KO	F
Kurutma şartları	4	74.0	5.35*	71.5	4.34 öd	245.3	10.11*	8689.1	0.64 öd	342.4	7.93*	3516.5	1.08 öd
Hata	5	13.81		16.47		24.26		13580.69		43.18		3270.14	

öd: önemli değil, *: $p < 0.05$, **: $p < 0.01$

4.8. Köpürme Özellikleri

Kurutulan fındık proteini izolatlarının farklı pH değerlerinde (pH 1, 7 ve 9) sahip oldukları köpük kapasitesi (KK) ve köpük stabilitesi (KS) değerleri Çizelge 4.16'da verilmiştir.

Örneklerin köpük kapasiteleri %5.25-109 arasında değişiklik göstermiştir (Çizelge 4.16). PK yöntemiyle kurutulan örneğin köpük kapasitesi incelenen tüm pH seviyelerinde KPK yöntemiyle kurutulan örneklerle göre daha yüksek değerler göstermiştir. Yapılan bir çalışmada püskürtülerek kurutulan pirinç proteini izolatının köpük kapasitesinin dondurularak kurutulan örneğin köpük kapasitesinden önemli ölçüde daha yüksek olduğunu belirlenmiştir. PK yöntemiyle kurutulan örnek daha küçük parçacık boyutuna sahip olduğu için çırpma ya da köpürtme esnasında daha hızlı adsorbe edilmiş ve dolayısıyla köpük kapasitesi de daha yüksek olmuştur (Zhao ve ark., 2013). Mevcut tez çalışması, literatür çalışmasında çıkarılan bu sonuçla uyumludur. En yüksek köpük kapasitesi hem KPK yönteminde (%94-105.75) hem de PK yönteminde (%109) pH 1'de belirlenmiştir. En düşük köpük kapasitesi ise hem KPK yönteminde (%5.25-5.50) hem de PK yönteminde (%20.75) pH 7'de belirlenmiştir. Tontul ve ark. (2018), KPK ve DK yöntemleriyle kuruttukları nohut proteini izolatlarının köpük kapasitesinin benzer olduğunu ve incelenen pH seviyelerinde (pH 2-10) %3.75-37 aralığında değerler gösterdiğini belirlemişlerdir. Tatar ve ark. (2015), vakumla kuruttukları *Corylus avellana* L. (Türk tombul fındığı) proteini konsantresinin köpürme kapasitesini pH 9.5 ve pH 5 için sırasıyla %8 ve %2 olarak tespit etmişlerdir.

Örneklerin köpük stabilitesi %3-80.50 arasında değişiklik göstermiştir (Çizelge 4.16). PK yöntemiyle kurutulan örneğin köpük stabilitesi pH 1 haricinde (istatistiksel olarak önemsiz) incelenen tüm pH seviyelerinde KPK yöntemiyle kurutulan örneklerle göre daha yüksek değerler göstermiştir. En yüksek köpük stabilitesi KPK yönteminde (%41-52) pH 1'de, PK yönteminde (%80.5) pH 9'da belirlenmiştir. En düşük köpük stabilitesi ise hem KPK yönteminde (%3) hem de PK yönteminde (%17) pH 7'de belirlenmiştir. Tontul ve ark. (2018), DK yöntemiyle kuruttukları nohut proteini izolatlarının köpük stabilitesinin KPK yöntemiyle kurutulan örneklerden daha yüksek olduğunu ve incelenen pH seviyelerinde (pH 2-10) %0-11.75 aralığında değerler gösterdiğini belirlemişlerdir. Tatar ve ark. (2015), vakumla kuruttukları *Corylus avellana* L. (Türk tombul fındığı) proteini konsantresinin köpürme stabilitesini pH 9.5 ve pH 5 için sırasıyla %6 ve %2 olarak tespit etmişlerdir.

PK yöntemiyle kurutulan örneğin KPK yöntemiyle kurutulan örneklerle göre daha iyi köpük oluşturma özellikleri, çözünürlüğünün genel olarak daha yüksek olması ile bağlantılı olabilir (Hu ve ark., 2010). Saetae ve ark. (2011), bir meyve türü olan *Jatropha curcas* L. proteini izolatının KK ve KS değerlerinin çözünürlük ile doğru orantıda arttığını bildirmişlerdir.

Moleküler esneklik de KK ve KS değerleri üzerinde etkili olabilmektedir (Hu ve ark., 2010). Esnek protein molekülleri yüzey gerilimini azalttıkları için köpürme kabiliyetleri oldukça iyidir. Buna karşın yüzey denatürasyonu daha zor olan globüler proteinlerin köpürme özellikleri daha düşüktür (Kaur ve Singh, 2007). PK yöntemiyle kurutulan örneğin KPK yöntemiyle kurutulan örneklerle göre köpürme özelliklerinin daha iyi olmasının sebebi protein yapısının daha esnek olması ve hava-su arayüzünde gösterdiği güçlü etkileşimler sonucunda daha stabil köpükler meydana getirmesi olabilir (Çiftçi, 2018).

KPK yöntemiyle kurutulan örneklerin köpük kapasiteleri ve stabiliteleri Duncan Çoklu Karşılaştırma Testi sonuçlarına göre istatistiksel olarak sıcaklık artışından etkilenmemiştir (Çizelge 4.16).

Çizelge 4. 16. Fındık proteini izolatlarının köpük kapasitesi ve köpük stabilitesi değerleri¹ ve bu değerlere ait Duncan Çoklu Karşılaştırma Testi sonuçları²

Kurutma Yöntemi	Sıcaklık (°C)	pH1		pH7		pH9	
		Köpük Kapasitesi (%)	Köpük Stabilitesi (%)	Köpük Kapasitesi (%)	Köpük Stabilitesi (%)	Köpük Kapasitesi (%)	Köpük Stabilitesi (%)
Kırınım Pencere	60	94.50±1.5a	41±11a	5.50±1.5b	3±1b	14±0b	8.50±0.5b
	70	94±0a	48.75±8.75a	5.25±1.25b	3±1.5b	11.75±0.25b	8.50±0.5b
	80	97.50±0a	52±1a	5.50±1.5b	3±0.5b	12±2b	8.25±2.25b
	90	105.75±0.25a	50.50±9.5a	5.50±0.5b	3±0b	11.50±0.5b	6.75±1.25b
Püskürtmeli	180-75	109±13a	42.50±15.5a	20.75±3.25a	17±3a	87.50±1.5a	80.50±0.5a

¹Sonuçlar iki tekerrürün ortalaması±standart sapma şeklinde verilmiştir.

²Aynı sütundaki farklı harfler ortalamalar arasında p<0.05 düzeyinde farklılığı ifade etmektedir.

Çizelge 4.17’de verilen varyans analiz sonuçlarına göre kurutma şartının KK ve KS değerleri üzerinde pH 1’de önemli düzeyde bir etkisinin olmadığı (p>0.05), ancak pH 7 ve pH 9’da önemli düzeyde etkisinin olduğu (p<0.01) saptanmıştır.

Çizelge 4. 17. Fındık proteini izolatlarının köpük kapasitesi (KK) ve köpük stabilitesi (KS) değerlerine ait varyans analiz sonuçları

Varyasyon kaynağı	SD	PH1				PH7				PH9			
		KK		KS		KK		KS		KK		KS	
		KO	F	KO	F	KO	F	KO	F	KO	F	KO	F
Kurutma şartları	4	93.2	1.36öd	48.3	0.23öd	93.8	13.90**	78.4	15.68**	2263.2	862.18**	2103.6	713.07**
Hata	5	68.6		211.63		6.75		5.00		2.63		2.95	

öd: önemli değil, *: $p < 0.05$, **: $p < 0.01$

5. SONUÇLAR VE ÖNERİLER

5.1. Sonuçlar

Mevcut tez çalışmasında zirai bir gıda atığı olan yağı alınmış fındık küspesinden protein izolatu eldesi gerçekleştirilmiş ve farklı kurutma yöntemlerinin örneklerin fizikokimyasal ve teknolojik özellikleri üzerindeki etkileri belirlenmiştir. Çalışma kapsamında ulaşılan bulgular maddeler halinde aşağıda verilmiştir.

- KPK yönteminde kurutma sıcaklığının yükselmesi örneklerin kuruma süresini kısaltmıştır.
- Kurutma şartlarının örneklerin su aktivitesi, protein içeriği, su tutma kapasitesi ve yağ tutma kapasitesi üzerine etkisi önemsiz olarak belirlenirken, kuru madde miktarı üzerine önemli etki gösterdiği saptanmıştır. Kuru madde miktarındaki farklılık, KPK yöntemiyle 60°C sıcaklıkta kurutulan örneğin içerdiği suyun diğer örneklerle kıyasla daha az uzaklaştırılması ile ilişkilendirilmiştir.
- KPK yöntemiyle kurutulan örneklerin PK yöntemiyle kurutulan örneğe göre daha koyu bir renge sahip olması esmerleşme reaksiyonlarının daha fazla meydana gelmesine bağlanmıştır. Yine esmerleşme reaksiyonları göz önüne alınarak KPK yönteminde renk özellikleri açısından en uygun kurutma sıcaklığı 80°C olarak belirlenmiştir.
- PK yöntemiyle kurutulan örneğin KPK yöntemiyle kurutulan örneklerle kıyasla yığın yoğunluğu daha düşük olarak saptanırken, sıkıştırılabilirliği ise daha yüksek olarak tespit edilmiştir. Bu değerler kullanılarak belirlenen Hausner ve Carr indekslerine göre KPK yöntemiyle kurutulan örnekler daha iyi akış özellikleri göstermiştir. Ayrıca KPK yönteminde sıcaklık artışı protein tozlarının akış özelliklerini etkilememiştir.
- Değişen pH seviyelerinde kullanılan kurutma yöntemine de bağlı olarak örneklerin çözünürlük, emülsifikasyon ve köpürme özelliklerinde farklılıklar görülmüştür.
- PK yöntemiyle kurutulan örneğin önemli düzeyde daha küçük parçacık boyutuna, genel olarak daha yüksek çözünürlüğe ve daha üstün köpürme özelliklerine sahip olduğu gözlemlenmiştir. KPK yönteminde sıcaklık

değişiminin örneklerin köpürme özelliklerine etkisi önemsizken; parçacık boyutu ve çözünürlük (yalnız pH 1 için) üzerine farklı etkileri olmuştur.

- Kurutma şartlarının protein izolatlarının emülsiyon stabilite indeksi üzerine etkisi önemsizken, emülsiyon aktivite indeksi üzerine önemli düzeyde etkisi olduğu belirlenmiştir. Bu bağlamda PK yönteminde pH 1’de, KPK yönteminde ise genel olarak pH 7 ve 9’da örneklerin emülsiyon aktivite indeksleri daha iyi olarak saptanmıştır.
- Uygulanan kurutma yöntemine göre örneklerin yüzey hidrofobisitesi farklılık göstermiştir. KPK yöntemiyle kurutulan örneklerin PK yöntemiyle kurutulan örneğe kıyasla yüzey hidrofobisitesi önemli düzeyde daha düşük olarak tespit edilmiştir. KPK yönteminde kurutma sıcaklığındaki değişim örneklerin yüzey hidrofobikliği üzerinde önemli düzeyde farklılık yaratmamıştır.
- Sonuç olarak kullanılan kurutma yöntemine göre fındık proteini izolatlarının fizikokimyasal ve teknolojik özelliklerinin farklılık gösterebildiği saptanmıştır. Bu bağlamda uygun kurutma yönteminin seçimiyle son üründe istenilen özelliklerin sağlanabileceği çıkarımına varılmıştır.

5.2. Öneriler

Her ne kadar besleyici değeri yüksek olsa da birtakım sebeplerden ötürü hayvansal kaynaklı proteinlerin yerine bitkisel kaynaklı proteinler giderek tercih edilen bir alternatif haline gelmişlerdir. Artan bu talepler doğrultusunda bitkisel protein kaynaklarının incelenmesine ve geliştirilmesine yönelik çalışmalar da önem kazanmıştır.

Mevcut tez çalışmasının etkinliğinin artırılması amacıyla bazı ek çalışmalar yapılabilir. Bu bağlamda çalışmada kullanılan izoelektrik çöktürme yöntemi ile özellikle ürünün fonksiyonel özellikleri üzerine olumlu etkileri bulunan ultrafiltrasyon yöntemi karşılaştırılabilir. Kurutma şartlarında bazı değişiklikler yapılabilir. Örneğin, yenilikçi bir kurutma metodu olan kırım pencere kurutma daha geniş bir kurutma sıcaklığı aralığında uygulanabilir. Bunlara ilave olarak sonraki çalışmalarda farklı depolama şartlarında ve farklı zaman aralıklarında protein izolatlarının fizikokimyasal ve fonksiyonel özellikleri üzerinde meydana gelebilecek değişiklikler incelenebilir.

6. KAYNAKLAR

- Akar, G., 2017, Farklı Kurutma Teknikleri ile Kurutulan Kivi Meyvesinin Bazı Kalite Özellikleri ile Askorbik Asit ve Renk Değişim Kinetiğinin Belirlenmesi, Yüksek Lisans Tezi, *Ordu Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, Gıda Mühendisliği Anabilim Dalı, Ordu.
- Akbulut, A., Arat, H., Arslan, O., 2019, Döner Tepsili Kabin Tipi Kurutucuda Kavunun Kuruma Karakteristiğinin İncelenmesi, *BŞEÜ Fen Bilimleri Dergisi*, 6 (2), 594-604.
- Akyüz, A. ve Ersus Bilek, S., 2018, Protein Çöktürme Yöntemlerinin Karşılaştırılması, *Çukurova Tarım Gıda Bilimleri Dergisi*, 33 (2), 83-92.
- Alasalvar, C., Amaral, J. S., Satır, G., Shahidi, F., 2009, Lipid characteristics and essential minerals of native Turkish hazelnut varieties (*Corylus avellana* L.), *Food Chemistry*, 113 (4), 919-925.
- Asgar, M. A., Fazilah, A., Huda, N., Bhat, R., Karim, A. A., 2010, Nonmeat protein alternatives as meat extenders and meat analogs, *Comprehensive Reviews in Food Science and Food Safety*, 9: 513-529.
- Baeghbali, V., Niakousari, M., 2018, A review on mechanism, quality preservation and energy efficiency in Refractance Window drying: a conductive hydro-drying technique, *Journal of Nutrition, Food Research and Technology*, 1 (2), 50-54.
- Balcı-Torun, F., Özdemir, F., 2021, Çilek aromasının depolama kararlılığı üzerine püskürterek kurutma yöntemiyle enkapsülasyon işleminin etkisi ve mikrokapsüllerin model gıdalarda etkinliğinin belirlenmesi, *GIDA*, 46 (3), 751-765.
- Barbosa-Cánovas, G. V. (ed.), Ortega-Rivas, E., Juliano, P., Yan, H., 2005, Food powders: Physical properties, processing, and functionality, Kluwer Academic/Plenum Publishers, New York.
- Başaran, E., 2015, Fındıkta Uygulanan Ultrases Ön İşleminin Fındık Yağı Verimine ve Kalitesine Etkisi, Yüksek Lisans Tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Gıda Mühendisliği Anabilim Dalı, İstanbul.
- Başıyigit, B. ve Çam, M., 2017, Püskürtmeli Kurutucu ile Nane (*Mentha piperita* ve *Mentha spicata*) Esansiyel Yağı Mikroenkapsülasyonu, *Harran Tarım ve Gıda Bilimleri Dergisi*, 21 (1), 24-34.
- Berghout, J. A. M., Boom, R. M., van der Goot, A. J., 2015, Understanding the differences in gelling properties between lupin protein isolate and soy protein isolate, *Food Hydrocolloids*, 43: 465-472.
- Beristain, C. I., García, H. S., Vernon-Carter, E. J., 2001, Spray-dried encapsulation of cardamom (*Elettaria cardamomum*) essential oil with mesquite (*Prosopis juliflora*) gum, *LWT-Food Science and Technology*, 34(6), 398-401.

- Bingöl, G., 2010, Gıda İşlemede Kurutma Teknolojilerinin Temel İlkeleri, Kısaltılmış Doktora Tezi, *İstanbul Teknik Üniversitesi*, Gıda Mühendisliği Bölümü, İstanbul.
- Bonner, P. L. R., 2007, Protein Purification, Taylor and Francis Group, Milton Park Abingdon, UK.
- Boye, J., Zare, F., Pletch, A., 2010, Pulse proteins: Processing, characterization, functional properties and applications in food and feed, *Food research international*, 43 (2), 414-431.
- Couto, R. O., Araújo, R. R., Tacon, L. A., Conceição, E. C., Bara, M. T. F., Paula, J. R., Freitas, L. A. P., 2011, Development of a phytopharmaceutical intermediate product via spray drying, *Drying Technology*, 29 (6), 709–718.
- Çetiner, M. ve Ersus Bilek, S., 2018, Bitkisel Protein Kaynakları, *Çukurova Tarım ve Gıda Bilimleri Dergisi*, 33 (2), 111-126.
- Çiftçi, H. S., 2018, Fındık Ve Susam Posalarından Üretilen Protein Konsantrelerinin Gıda Ürünlerinde Değerlendirilmesi, Yüksek Lisans Tezi, *Namık Kemal Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, Tarımsal Biyoteknoloji Anabilim Dalı, Tekirdağ.
- Elsahaimy, S. A., Refaay, T. M., Zaytoun, M. A. M., 2015, Physicochemical and functional properties of quinoa protein isolate, *Annals of Agricultural Sciences*, 60 (2): 297–305.
- Erbay, B., Küçüköner, E., 2008, Gıda Endüstrisinde Kullanılan Farklı Kurutma Sistemleri, *Türkiye 10. Gıda Kongresi*, Erzurum, 1045-1048.
- Ermiş, E., Güneş, R., Zent, İ., 2018, Bazı Model Toz Gıdaların Akışkanlığına ve Sıkıştırılabilirliğine Partikül Boyutunun Etkisinin PFT Toz Akışı Test Cihazı Kullanılarak Belirlenmesi, *Türk Tarım – Gıda Bilim ve Teknoloji Dergisi*, 6 (1), 55-60.
- Eroğlu, E. Ç., Öztop, K., Aksay, S., 2020, Physicochemical Properties And Ace Inhibitory Capacity Of Hazelnut Protein Isolate And Hydrolysates, *Journal of Microbiology, Biotechnology and Food Sciences*, 10 (1), 78-82.
- Evans, D. R., Romero, J. K., Westoby, M., 2009, Concentration of proteins and removal of solutes, *Methods in Enzymology*, 463: 97-120.
- Fernández-Quintela, A., Macarulla, M. T., del Barrio, A. S., Martínez, J. A., 1997, Composition and functional properties of protein isolates obtained from commercial legumes grown in northern Spain, *Plant Foods for Human Nutrition*, 51: 331–341.
- Ge, J., Sun, C. X., Corke, H., Gul, K., Gan, R. Y., Fang, Y., 2020, The health benefits, functional properties, modifications, and applications of pea (*Pisum sativum* L.) protein: Current status, challenges, and perspectives, *Comprehensive Reviews in Food Science and Food Safety*, 19: 1835-1876.

- Ghribi, A. M., Gafsi, I. M., Blecker, C., Danthine, S., Attia, H., Besbes, S., 2015, Effect of drying methods on physico-chemical and functional properties of chickpea protein concentrates, *Journal of Food Engineering*, 165: 179-188.
- Gong, K. J., Shi, A. M., Liu, H. Z., Liu, L., Hu, H., Adhikari, B., Wang, Q., 2016, Emulsifying properties and structure changes of spray and freeze-dried peanut protein isolate, *Journal of Food Engineering*, 170: 33-40.
- Gültekin-Özgüven, M., Beyde, B. ve Özçelik, B., 2020, Atıkların Değerlendirmesi: Fındık (*Corylus avellana* L.) ve Antep Fıstığı (*Pistacia vera* L.) İç Zarlarından Elde Edilen Fenolikçe Zengin Ekstraktlara Lipozomal Taşıma Sistemlerinin Uygulanabilirliği, *Avrupa Bilim ve Teknoloji Dergisi*, (19), 241-246.
- Gürel, A. E., Ceylan, İ., Aktaş, M., 2016, Meyve ve Sebzelerin Kurutma Parametrelerinin İncelenmesi, *Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Dergisi Part C: Tasarım ve Teknoloji*, 4 (4), 267-273.
- Harrison, R. G., Todd, P. W., Rudge, S. R., Petrides, D. P., 2015, *Bioseparations science and engineering* (2. bs.), Oxford University Press.
- Hu, X. Z., Cheng, Y. Q., Fan, J. F., Lu, Z. H., Yamaki, K., Li, L. T., 2010, Effects Of Drying Method On Physicochemical And Functional Properties Of Soy Protein Isolates, *Journal of Food Processing and Preservation*, 34 (3), 520-540.
- Jena, S., Das, H., 2007, Modelling for vacuum drying characteristics of coconut presscake, *Journal of Food Engineering*, 79 (1), 92-99.
- Joshi, M., Adhikari, B., Aldred, P., Panozzo, J. K., Kasapis, S., 2011, Physicochemical and functional properties of lentil protein isolates prepared by different drying methods, *Food Chemistry*, 129 (4), 1513-1522.
- Karaca, A. C., Low, N., Nickerson, M., 2011, Emulsifying properties of chickpea, faba bean, lentil and pea proteins produced by isoelectric precipitation and salt extraction, *Food Research International*, 44 (9), 2742-2750.
- Karadeniz, T., Bostan, S. Z., Tuncer, C., Tarakçıoğlu, C., 2009, Fındık Yetiştiriciliği, Ordu Ziraat Odası Başkanlığı Bilimsel Yayınlar Serisi Yayın No: 1.
- Karaosmanoğlu, H., Üstün, N. Ş., 2017, Organik ve Konvansiyonel Fındıkların (*Corylus avellana* L.) Bazı Fiziksel Özellikleri, *Akademik Gıda*, 15 (4), 377-385.
- Kaur, M., Singh, N., 2007, Characterization of protein isolates from different Indian chickpea (*Cicer arietinum* L.) cultivars, *Food Chemistry*, 102 (1), 366-374.
- Kaya, Z. G., 2019, Ultrases Ön İşlemiyle Sıcak Hava ve Mikrodalga Sistemlerinde Kurutulan Elma Dilimlerinin Kalite Özelliklerinin Belirlenmesi, Yüksek Lisans Tezi, *Süleyman Demirel Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, Gıda Mühendisliği Anabilim Dalı, Isparta.

- Kinsella, J. E., 1982, Relationship between structure and functional properties of food proteins, In: *Food proteins*, (eds P.F. Fox and J.J. Condon), Applied Science, New York, 1: 51-103.
- Kiosseoglou, V., Paraskevopoulou, A., Poojary, M. M., 2021, Functional and physicochemical properties of pulse proteins, In B. K. Tiwari, A. Gowen, & B. McKenna (Eds.), *Pulse Foods: Processing, Quality and Nutraceutical Applications* (2. ed.), Academic Press, 113-146.
- Kırca, L., Bak, T., Kırca, S., Karadeniz, T., 2018, Fındığın Kullanım Alanları ve İnsan Sağlığına Etkileri, *BAHÇE, Özel Sayı* (2), 292–299.
- Klupšaitė, D. and Juodeikienė, G., 2015, Legume: composition, protein extraction and functional properties. A review, *Cheminė Technologija*, 1 (66), 1392 – 1231.
- Koç, B., Sakin-Yılmaz, M., Kaymak-Ertekin, F., Balkır, P., 2014, Physical properties of yoghurt powder produced by spray drying, *Journal of Food Science and Technology*, 51 (7), 1377-1383.
- Köksal, A. İ., Artik, N., Şimsek, A., Güneş, N., 2006, Nutrient composition of hazelnut (*Corylus avellana* L.) varieties cultivated in Turkey, *Food Chemistry*, 99 (3), 509-515.
- Kumar, P. ve Sharma, S. M., 2015, An overview of purification methods for proteins, *International Journal of Applied Research*, 1 (12), 450-459.
- Kurtça, M., 2021, Bartın İlinde Yetiştirilen Fındığın (*Corylus avellana* L.) Zurufunun (Yeşil Yapraklı Kabuk) Antioksidan Özelliklerinin İncelenmesi, *Ziraat Mühendisliği*, (372), 25-33.
- Magoon, R. E., 1986, Method and Apparatus for Drying Fruit Pulp and the Like, US Vegetable Waste Patent, 4.
- McClements, D. J., 2004, Protein-stabilized emulsions, *Current Opinion in Colloid & Interface Science*, 9 (5), 305-313.
- Moses, J. A., Norton, T., Alagusundaram, K. ve Tiwari, B. K., 2014, Novel Drying Techniques for the Food Industry, *Food Engineering Reviews*, 6: 43–55.
- Moure, A., Sineiro, J., Domínguez, H., Parajó, J. C., 2006, Functionality of oilseed protein products: a review, *Food research international*, 39 (9), 945-963.
- Mune, M. A., Sogi, D. S., 2015, Functional Properties of Protein Concentrates of Cowpea and Bambara Bean Involving Different Drying Techniques, *Journal of Food Processing and Preservation*, 39 (6), 2304-2313.
- Mune, M. A. M., Sogi, D. S., 2016, Emulsifying and foaming properties of protein concentrates prepared from cowpea and bambara bean using different drying methods, *International Journal of Food Properties*, 19 (2), 371-384.

- Nindo, C. I., Tang, J., 2007, Refractance Window™ dehydration technology: a novel contact drying method, *Drying Technology*, 25: 37-48.
- Novák, P., Havlíček, V., 2016, Protein Extraction and Precipitation, *Proteomic Profiling and Analytical Chemistry*, 51–62.
- Ogunwolu, S. O., Henshaw, F. O., Mock, H. P., Santos, A., Awonorin, S. O., 2009, Functional properties of protein concentrates and isolates produced from cashew (*Anacardium occidentale* L.) nut, *Food Chemistry*, 115 (3), 852-858.
- Ortiz-Jerez, M. J., Gulati, T., Datta, A. K., Ochoa-Martínez, C. I., 2015, Quantitative understanding of refractance window™ drying, *Food and Bioprocess Technology*, 95: 237-253.
- Özdemir, E. E., 2021, Püskürtmeli Kurutma Ve Dondurarak Kurutma Yöntemleri Kullanılarak Susam İşleme Atığından Bitkisel Protein Tozu Üretimi Ve Toz Ürün Karakterizasyonu, Yüksek Lisans Tezi, *Aydın Adnan Menderes Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, Gıda Mühendisliği Anabilim Dalı, Aydın.
- Özdemir, E. E., Görgüç, A., Gençdağ, E., Yılmaz, F. M., 2021, Püskürtmeli Kurutma ve Dondurarak Kurutma Yöntemlerinin Temelleri ve Bu Yöntemler ile Gıda Atıklarından Toz Ürünlerin Üretimi, *Gıda*, 46 (3), 583-607.
- Özdemir, F., Akıncı, İ., 2004, Physical and nutritional properties of four major commercial Turkish hazelnut varieties, *Journal of Food Engineering*, 63 (3), 341-347.
- Öztop, K., 2014, Fındık Proteini Konsantresinin Fonksiyonel Özelliklerinin İncelenmesi, Yüksek Lisans Tezi, *Mersin Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, Gıda Mühendisliği Anabilim Dalı, Mersin.
- Peters, J. P., Vergeldt, F. J., Boom, R. M., van der Goot, A. J., 2017, Water-binding capacity of protein-rich particles and their pellets, *Food Hydrocolloids*, 65: 144-156.
- Preethi, R., Moses, J. A., Anandharamakrishnan, C., 2021, Effect of conductive hydro-drying on physiochemical and functional properties of two pulse protein extracts: Green gram (*Vigna radiata*) and black gram (*Vigna mungo*), *Food Chemistry*, 343: 128551.
- Raghavi, L. M., Moses, J. A., Anandharamakrishnan, C., 2018, Refractance window drying of foods: A review, *Journal of Food Engineering*, 222: 267-275.
- Rodrigues, I. M., Coelho, J. F. J., Carvalho, G. V. S., 2012, Isolation and valorisation of vegetable proteins from oilseed plants: Methods, limitations and potential, *Journal of Food Engineering*, 109 (3), 337– 346.
- Sari, Y. W., Bruins, M. E., Sanders, J. P. M., 2013, Enzyme assisted protein extraction from rapeseed, soybean, and microalgae meals, *Industrial Crops and Products*, 43: 78-83.

- Saetae, D., Kleekayai, T., Jayasena, V., Suntornsuk, W., 2011, Functional Properties of Protein Isolate Obtained from Physic Nut (*Jatropha curcas* L.) Seed Cake, *Food Science and Biotechnology*, 20 (1), 29-37.
- Seyhan, F., Ozay, G., Saklar, S., Ertas, E., Satir, G., Alasalvar, C., 2007, Chemical changes of three native Turkish hazelnut varieties (*Corylus avellana* L.) during fruit development, *Food Chemistry*, 105 (2), 590-596.
- Sharma, G. M., Su, M., Joshi, A. U., Roux, K. H., Sathe, S. K., 2010, Functional properties of select edible oilseed proteins, *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 58(9), 5457–5464.
- Shen, Y., Tang, X., Li, Y., 2021, Drying methods affect physicochemical and functional properties of quinoa protein isolate, *Food Chemistry*, 339: 127823.
- Soysal, Y., Ayhan, Z., Eştürk, O., 2009, Mikrodalga ile Meyve ve Sebze Kurutmada Enerji Kullanım Verimliliği ve Ürün Kalitesinin Arttırılmasında İleri Kurutma Tekniklerinin Uygulanması Üzerine Araştırmalar, TÜBİTAK Proje No:105 O 547, 136 sayfa, Antakya/Hatay.
- Söderberg, J., 2013, Functional properties of legume proteins compared to egg proteins and their potential as egg replacers in vegan food, Second cycle, A2E. Uppsala: SLU, Dept. of Food Science, Available from: <https://stud.epsilon.slu.se>
- Şimsek, A. ve Aslantaş, R., 1999, Fındığın bileşimi ve insan beslenmesi açısından önemi, *Gıda*, 24 (3), 209-216.
- Tan, E. S., Ngoh, Y. Y., Gan, C. Y., 2014, A comparative study of physicochemical characteristics and functionalities of pinto bean protein isolate (PBPI) against the soybean protein isolate (SPI) after the extraction optimisation, *Food Chemistry*, 152: 447-455.
- Tatar, F., Tunç, M. T., Kahyaoglu, T., 2015, Turkish Tombul hazelnut (*Corylus avellana* L.) protein concentrates: functional and rheological properties, *Journal of Food Science and Technology*, 52(2), 1024-31.
- Tontul, İ., Eroğlu, E. ve Topuz, A., 2019, Kırınım Pencereli Kurutma ve Sıcak Hava Akımında Kurutma İşlem Şartlarının Kuşburnu Tozlarının Fizikokimyasal Özellikleri Üzerine Etkisi, *Gıda*, 44 (1), 1-9.
- Tontul, İ., Kasimoglu, Z., Asik, S., Atbakan, T., Topuz, A., 2018, Functional properties of chickpea protein isolates dried by refractance window drying, *International Journal of Biological Macromolecules*, 109: 1253-1259.
- Ünlüsayın, M., Erdilal, R., Çağatay, T., 2009, Balık Proteinlerinin Saflaştırılmasında Kullanılan Son Yöntemler, *Journal of Fisheries Sciences*, 3 (4), 298-309.
- Vega-Mercado, H., Góngora-Nieto, M. M, Barbosa-Cánovas, G. V., 2001, Advances in dehydration of foods, *Journal of Food Engineering*, 49 (4), 271-289.

- Voutsinas, L. P., Cheung, E., Nakai, S., 1983, Relationships of Hydrophobicity to Emulsifying Properties of Heat Denatured Proteins, *Journal of Food Science*, 48 (1), 26–32
- Walsh, G., 2007, *Pharmaceutical Biotechnology: Concepts and Applications*, John Wiley & Sons Ltd., ISBN 978 0 470 01244 4 (HB) 978 0 470 01245 1 (PB).
- Wang, M., Hettiarachchy, N. S., Qi, M., Burks, W., Siebenmorgen, T., 1999, Preparation and Functional Properties of Rice Bran Protein Isolate, *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 47 (2), 411-416.
- Wang, N., Maximiuk, L., Fenn, D., Nickerson, M. T., Hou, A., 2020, Development of a method for determining oil absorption capacity in pulse flours and protein materials, *Cereal Chemistry*, 97 (6), 1111-1117.
- Yavuz, M., ve Özçelik, B., 2016, Bitkisel Protein İzolatlarının Fonksiyonel Özellikleri, *Akademik Gıda*, 14 (4), 424-430.
- Yıldız, T., 2020, Türkiye’de Fındık Tarımında Hasat-Harman Mekanizasyonu, *Tarım Makinaları Bilimi Dergisi*, 16 (1): 12-22.
- Yoshie-Stark, Y., Wada, Y., Wäsche, A., 2008, Chemical composition, functional properties, and bioactivities of rapeseed protein isolates, *Food Chemistry*, 107 (1), 32- 39.
- Yulina, M., Truong, C. T., Huynh, L. H., Ho, Q. P., Ju, Y. H., 2014, Isolation and characterization of protein isolated from defatted cashew nut shell: Influence of pH and NaCl on solubility and functional properties, *LWT-Food Science and Technology*, 55 (2), 621-626.
- Zhang, T., Jiang, B., Mu, W., Wang, Z., 2009, Emulsifying properties of chickpea protein isolates: Influence of pH and NaCl, *Food Hydrocolloids*, 23 (1), 146-152.
- Zhao, Q., Xiong, H., Selomulya, C., Chen, X. D., Huang, S., Ruan, X., Zhou, Q., Sun, W., 2013, Effects of Spray Drying and Freeze Drying on the Properties of Protein Isolate from Rice Dreg Protein, *Food and Bioprocess Technology*, 6 (7), 1759-1769.