



T.C.
NECMETTİN ERBAKAN
ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ



**KIRINIM PENCERELİ KURUTMA ŞARTLARININ YUMURTA
TOZLARININ FİZİKSEL VE KİMYASAL ÖZELLİKLERİ
ÜZERİNE ETKİLERİNİN ARAŞTIRILMASI**

Ayşe GÜNIŞIK

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Gıda Mühendisliği Anabilim Dalı

OCAK-2022

KONYA

Her Hakkı Saklıdır

TEZ KABUL VE ONAYI

Ayşe GÜNIŞİK tarafından hazırlanan “Kırınım Pencerele Kurutma Şartlarının Yumurta Tozlarının Fiziksel ve Kimyasal Özellikleri Üzerine Etkilerinin Araştırılması” adlı tez çalışması 20/01/2022 tarihinde aşağıdaki jüri tarafından oy birliği ile Necmettin Erbakan Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Gıda Mühendisliği Anabilim Dalında YÜKSEK LİSANS TEZİ olarak kabul edilmiştir.

Jüri Üyeleri

İmza

Başkan

Doç. Dr. Nilgün ERTAŞ

.....

Danışman

Doç. Dr. İsmail TONTUL

.....

Üye

Dr. Öğr. Üyesi Zehra GÜNEL

.....

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

Prof. Dr. İbrahim KALAYCI

FBE Müdürü

Bu tez çalışması TÜBİTAK tarafından 2190373 nolu proje ile desteklenmiştir.

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.

Ayşe GÜNIŞIK

2022

ÖZET

YÜKSEK LİSANS TEZİ

KIRINIM PENCERELİ KURUTMA ŞARTLARININ YUMURTA TOZLARININ FİZİKSEL VE KİMYASAL ÖZELLİKLERİ ÜZERİNE ETKİLERİNİN ARAŞTIRILMASI

Ayşe GÜNiŞİK

NECMETTİN ERBAKAN ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ
GIDA MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI

Danışman: Doç. Dr. İsmail TONTUL

2022, 95 Sayfa

Jüri

Doç. Dr. İsmail TONTUL

Doç. Dr. Nilgün ERTAŞ

Dr. Öğr. Üyesi Zehra GÜNEL

Bu çalışmada akışkan ürünlerin kurutulmasında hızlı, etkin ve ekonomik bir kurutma yöntemi olan kırınım pencereleli kurutma yönteminin yumurta tozu üretiminde uygulanabilirliği araştırılmıştır. Bu amaçla 3 farklı yumurta fraksiyonunun (yumurta akı, bütünü ve sarısı) kırınım pencereleli kurutma ile toz forma dönüştürülmesi için uygulanan kurutma formu ve sıcaklığı belirlenmiştir. Örnekler iki farklı form (doğal ve köpük/çırpılmış) ve altı farklı sıcaklıkta (50, 60, 70, 80, 90 ve 100°C) istenen nem içeriğine kadar (<5 g/100g) kurutulmuştur. Elde edilen toz ürünlerin kuru madde miktarı, su aktivitesi, renk, yığın ve parçacık yoğunluğu, higroskopisite, protein miktarı, çözünürlük tayini, protein denatürasyon entalpisi, yüzey hidrofobisitesi ve teknolojik özellikleri analiz edilmiştir. Bu çalışmalar sonucunda en uygun kurutma şartları yumurta akı için köpük formda 80°C, yumurta bütünü için köpük formda 90°C ve yumurta sarısı için ise köpük formda 80°C olarak belirlenmiştir. Optimum şartlarda kurutma süresi yumurta akı, bütünü ve sarısı için sırasıyla 10, 5 ve 8 dk olarak belirlenmiştir.

Sonuç olarak çalışma kapsamında kırınım pencereleli kurutmanın yumurta tozu üretiminde hızlı, kaliteli ve etkili bir alternatif kurutma yöntemi olduğu belirlenmiştir.

Anahtar Kelimeler: Kırınım pencereleli kurutma, köpük kurutma, yumurta tozu, teknolojik özellikler

ABSTRACT

MS THESIS

INVESTIGATION OF THE EFFECT OF REFRACTANCE WINDOW DRYING CONDITIONS ON THE PHYSICAL AND CHEMICAL PROPERTIES OF EGG POWDERS

Ayşe GÜNIŞİK

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

Advisor: Assoc. Prof. Dr. İsmail TONTUL

2022, 95 Pages

Jury

Assoc. Prof. Dr. İsmail TONTUL

Assoc. Prof. Dr. Nilgün ERTAŞ

Assist. Prof. Dr. Zehra GÜNEL

In this study, the applicability of the refractance window drying method, which is a fast, effective and economical drying method for drying fluid products, was investigated in egg powder production. For this purpose, the drying form and temperature applied for converting 3 different egg fractions (egg white, whole and yolk) into powder form by refractance window drying were determined. The samples were dried in two different forms (natural and foamed/whipped) and at six different temperatures (50, 60, 70, 80, 90 and 100°C) to the desired moisture content (<5 g/100g). Dry matter content, water activity, color, bulk and particle density, hygroscopicity, protein amount, solubility determination, protein denaturation enthalpy, surface hydrophobicity and technological properties of the obtained powder products were analyzed. As a result of these studies, the most suitable drying conditions were determined as 80°C in foam form for egg white, 90°C in foam form for egg whole and 80°C in foam form for egg yolk. The drying time under optimum conditions was determined as 10, 5 and 8 minutes for egg white, whole and yolk, respectively.

As a result, within the scope of the study, it was determined that refractance window drying is a fast, high quality and effective alternative drying method in egg powder production.

Keywords: Refractance window drying, foam mat drying, egg powder, technological properties

ÖNSÖZ

Bu çalışmanın gerçekleştirilmesinde ve hazırlanma sürecinin her aşamasında değerli bilgi, birikim ve tecrübelerini benimle paylaşan, kıymetli zamanını ayırıp her fırsatta çalışmamla yakından ilgilenen, eğitimim süresince danışmanım olmasından onur duyduğum Sayın Doç. Dr. İsmail TONTUL hocama,

Sorun yaşadığım noktalarda benden yardımlarını ve bilgilerini esirgemeyen Merve AYDIN'a, laboratuvar çalışmalarım süresince her zaman yardımına koşan Mine ASLAN'a,

Çalışmaya 2190373 nolu proje kapsamında finansal destek sağlayan TÜBİTAK yetkili ve çalışanlarına, materyal temininde destekleri için Anako Yumurta ve Ürünleri AŞ (Konya)'ye,

Çalışmalarım boyunca maddi manevi destekleriyle beni hiçbir zaman yalnız bırakmayan sevgili aileme teşekkürlerimi sunarım.

Ayşe GÜNiŞİK
KONYA-2022

İÇİNDEKİLER

ÖZET	iv
ABSTRACT.....	v
ÖNSÖZ	vi
İÇİNDEKİLER	vii
SİMGELER VE KISALTMALAR	ix
1. GİRİŞ.....	1
2. KAYNAK ARAŞTIRMASI	3
2.1. Yumurta	3
2.1.1. Yumurtanın bileşimi	3
2.1.2. Yumurtanın fonksiyonel ve ticari özellikleri	5
2.2. Kurutma Yöntemleri	6
2.2.1. Püskürterek kurutma	6
2.2.2. Dondurarak kurutma	7
2.2.3. Mikrodalga kurutma	7
2.2.4. Kırınım pencereci kurutma sistemi	8
2.2.5. Köpük kurutma sistemi	15
2.3. Yumurta Tozu Üzerine Çalışmalar	17
3. MATERYAL VE YÖNTEM.....	20
3.1. Materyal	20
3.2. Deneme Deseni	20
3.3. Köpük Kurutma.....	21
3.4. Analizler	22
3.4.1. Kuru madde miktarı ve su aktivitesi	22
3.4.2. Renk	22
3.4.3. Yığın yoğunluğu ve parçacık yoğunluğu tayini.....	23
3.4.4. Higroskopisite	24
3.4.5. Protein miktarı	24
3.4.6. Çözünürlük tayini	25
3.4.7. Protein denatürasyonu tayini	25
3.4.8. Yüzey hidrofobisitesi tayini.....	25
3.4.9. Emülsifikasyon özelliklerinin belirlenmesi	26
3.4.10. Köpürme özelliklerinin belirlenmesi	26
3.4.11. Jelleşme özelliklerinin belirlenmesi.....	26
3.4.12. İstatistiksel analizler	27
4. ARAŞTIRMA SONUÇLARI VE TARTIŞMA.....	28
4.1. Yumurta Akı Kurutma Sonuçları	28
4.1.1. Kuru madde miktarı ve su aktivitesi	28
4.1.2. Renk özellikleri	30

4.1.3. Yoğunluk, akış özellikleri ve porozite	35
4.1.4. Protein oranı, denatürasyon entalpisi, higroskopisite ve yüzey hidrofobisitesi	40
4.1.5. Çözünürlük, emülsiyon stabilitesi ve jelleşme	43
4.1.6. Köpürme özellikleri	45
4.1.7. Genel değerlendirme	47
4.2. Yumurta Bütünü Kurutma Sonuçları	48
4.2.1. Kuru madde miktarı ve su aktivitesi	48
4.2.2. Renk özellikleri	51
4.2.3. Yoğunluk, akış özellikleri ve porozite	55
4.2.4. Protein oranı, denatürasyon entalpisi, higroskopisite ve yüzey hidrofobisitesi	60
4.2.5. Çözünürlük ve emülsiyon stabilitesi	63
4.2.6. Genel değerlendirme	65
4.3. Yumurta Sarısı Kurutma Sonuçları	66
4.3.1. Kuru madde miktarı ve su aktivitesi	66
4.3.2. Renk özellikleri	68
4.3.3. Yoğunluk, akış özellikleri ve porozite	72
4.4.4. Protein oranı, denatürasyon entalpisi, higroskopisite ve yüzey hidrofobisitesi	75
4.4.5. Çözünürlük ve emülsiyon stabilitesi	78
4.3.6. Genel değerlendirme	80
5. SONUÇLAR VE ÖNERİLER	81
5. 1. Öneriler	82
6. KAYNAKLAR	83
EKLER	95

SİMGELER VE KISALTMALAR

Simgeler

μL	: Mikrolitre
a^*	: (a+) kırmızı ve (a-) yeşil renk değeri
a_w	: Su aktivitesi
b^*	: (b+) sarı ve (b-) mavi renk değeri
cm	: Santimetre
Da	: Dalton
d/dk	: Devir/dakika
dk	: Dakika
g	: Gram, yerçekimi kuvveti
GHz	: Gigahertz
J/g	: Joule/gram
kg	: Kilogram
kW	: Kilowatt
kWh	: Kilowatt saat
L	: Litre
L^*	: (0-100) Parlaklık renk değeri
m	: Metre
mg	: Miligram
MHz	: Megahertz
mL	: Mililitre
mm	: Milimetre
mM	: Milimolar
mS/cm	: Milisiemens/santimetre
nm	: Nanometre
$^{\circ}\text{C}$: Santigrad derece
pH	: Potansiyel hidrojen
rpm	: Revolutionsper minute (dakikadaki devir sayısı)
s	: Saniye
Std	: Standart sapma
α	: Alfa
%	: Yüzde
π	: Pi sayısı
ρ	: Yoğunluk

Kısaltmalar

ABD	: Amerika Birleşik Devletleri
AL/PE	: Alüminyum folyo/polietilen
BPB	: Bromfenol mavisi
CI	: Carr Index (Carr İndeksi)
DSC	: Diferansiyel taramalı kalorimetri
F	: F değeri
HPLC	: Yüksek performanslı sıvı kromatografisi
HR	: Hausner Ratio (Hausner Oranı)
KO	: Kareler ortalaması
log	Logaritma
NaCl	: Sodyum klorür
ORAC	: Serbest Radikalleri Bağlama Yeteneği
SEM	: Scanning Electron Microscope (Taramalı Elektron Mikroskobu)
UIACHD	: Ultrason ve Kızılötesi Destekli İletken Hidro-Kurutucu

ŞEKİLLER DİZİNİ

Şekil 2. 1. Yumurta kabuğu, kabuk altı zarı, yumurta akı ve yumurta sarısının yapısal bileşimi (USDA, 2000)	3
Şekil 2. 2. Pilot ölçekli kırımım pencereleli kurutma teknolojisi α = ayarlanabilir ürün uygulama açısı; T = sıcaklık monitörü (Nindo ve ark., 2003; Moses ve ark., 2014)	9
Şekil 2. 3. Kırımım pencereleli kurutmada ısı transfer mekanizması (Ortiz Jerez ve ark., 2015)	10
Şekil 2. 4. Gıdalarda kırımım pencereleli kurutmanın başlıca avantajları (Waghmare, 2021)	11
Şekil 3. 1. Yumurta akında kurutma öncesi (a) ve sonrası (b) görüntüleri	21
Şekil 3. 2. Yumurta bütününde kurutma öncesi (a) ve sonrası (b) görüntüleri	22
Şekil 3. 3. Yumurta sarısında kurutma öncesi (a) ve sonrası (b) görüntüleri	22
Şekil 4. 1. Kırımım pencereleli kurutma ile farklı formlarda kurutulmuş toz yumurta akı örneklerine ait renk çıktısı	34
Şekil 4. 2. Kırımım pencereleli kurutma ile farklı sıcaklıklarda kurutulmuş toz yumurta akı örneklerine ait renk çıktısı	35
Şekil 4. 3. Kırımım pencereleli kurutma ile farklı formlarda kurutulmuş toz yumurta bütünü örneklerine ait renk çıktısı	55
Şekil 4. 4. Kırımım pencereleli kurutma ile farklı sıcaklıklarda kurutulmuş toz yumurta bütünü örneklerine ait renk çıktısı	55
Şekil 4. 5. Kırımım pencereleli kurutma ile farklı formlarda kurutulmuş toz yumurta sarısı örneklerine ait renk çıktısı	71
Şekil 4. 6. Kırımım pencereleli kurutma ile farklı sıcaklıklarda kurutulmuş toz yumurta sarısı örneklerine ait renk çıktısı	72

ÇİZELGELER DİZİNİ

Çizelge 2. 1. Yumurtanın kimyasal bileşimi (USDA, 2019).....	5
Çizelge 2. 2. Farklı gıdalarda uygulanan kırınım pencereli kurutma parametreleri.....	11
Çizelge 2. 3. Kırınım pencereli kurutmanın enerji tüketiminin diğer kurutma teknikleri ile karşılaştırılması (Nindo ve Tang, 2007)	15
Çizelge 2. 4. Püskürterek kurutma, dondurarak kurutma ve kırınım pencereli kurutmanın genel enerji verimliliği (Baeghbali ve ark., 2016).....	15
Çizelge 2. 5. Farklı gıdalarda uygulanan köpük kurutma parametreleri	16
Çizelge 3. 1. Kırınım pencereli kurutma ile yumurta örneklerinin kuruma süresi (dk) .	20
Çizelge 3. 2. Carr indeksine (CI) dayalı toz akışkanlığının sınıflandırılması	24
Çizelge 4. 1. Kırınım pencereli kurutma ile farklı şartlarda kurutulmuş yumurta akı tozlarının kuru madde miktarı (g/100g) ve su aktivitesi değerleri ¹	28
Çizelge 4. 2. Yumurta akı tozlarının nem miktarı ve su aktivitesi değerlerine ait varyans analiz tablosu	29
Çizelge 4. 3. Kırınım pencereli kurutma ile farklı şartlarda kurutulmuş yumurta akı tozlarının nem miktarı ve su aktivitesine ait Duncan çoklu karşılaştırma testi sonuçları ¹	29
Çizelge 4. 4. Kırınım pencereli kurutma ile farklı şartlarda kurutulmuş yumurta akı tozlarının renk özellikleri ¹	30
Çizelge 4. 5. Yumurta akı tozlarının renk değerlerine ait varyans analiz tablosu	32
Çizelge 4. 6. Kırınım pencereli kurutma ile farklı şartlarda kurutulmuş yumurta akı tozlarının renk özelliklerine ait Duncan çoklu karşılaştırma testi sonuçları ¹	33
Çizelge 4. 7. Kırınım pencereli kurutma ile farklı şartlarda kurutulmuş yumurta akı tozlarının yoğunlukları, akış özellikleri ve porozitesi ¹	36
Çizelge 4. 8. Yumurta akı tozlarının yığın, sıkıştırılmış, parçacık, carr, hausner, porozite değerlerine ait varyans analiz tablosu	38
Çizelge 4. 9. Kırınım pencereli kurutma ile farklı şartlarda kurutulmuş yumurta akı tozlarının yoğunluk, akış özellikleri ve porozitesine ait Duncan çoklu karşılaştırma Testi sonuçları ¹	40
Çizelge 4. 10. Kırınım pencereli kurutma ile farklı şartlarda kurutulmuş yumurta akı tozlarının protein oranı, denatürasyon entalpisi, higroskopisitesi ve yüzey hidrofobisitesi ¹	40
Çizelge 4. 11. Kırınım pencereli kurutma ile farklı şartlarda kurutulmuş yumurta akı tozlarının protein oranı denatürasyon entalpisi, higroskopisite ve yüzey hidrofobisitesine ait varyans analiz tablosu	41
Çizelge 4. 12. Kırınım pencereli kurutma ile farklı şartlarda kurutulmuş yumurta akı tozlarının protein oranı denatürasyon entalpisi, higroskopisite ve yüzey hidrofobisitesine ait Duncan Çoklu Karşılaştırma Testi sonuçları ¹	42
Çizelge 4. 13. Kırınım pencereli kurutma ile farklı şartlarda kurutulmuş yumurta akı tozlarının çözünürlük, emülsiyon stabilitesi ve jel sertliği ¹	43
Çizelge 4. 14. Kırınım pencereli kurutma ile farklı şartlarda kurutulmuş yumurta akı tozlarının çözünürlük, emülsiyon stabilitesi ve jel sertliğine ait varyans analiz tablosu	44
Çizelge 4. 15. Kırınım pencereli kurutma ile farklı şartlarda kurutulmuş yumurta akı tozlarının çözünürlük, emülsiyon stabilitesi ve jel sertliğine ait Duncan çoklu karşılaştırma testi sonuçları ¹	45
Çizelge 4. 16. Kırınım pencereli kurutma ile farklı şartlarda kurutulmuş yumurta akı tozlarının köpürme özellikleri ¹	46
Çizelge 4. 17. Kırınım pencereli kurutma ile farklı şartlarda kurutulmuş yumurta akı tozlarının köpürme özelliklerine ait varyans analiz tablosu	46

Çizelge 4. 18. Kırınım pencereli kurutma ile farklı şartlarda kurutulmuş yumurta akı tozlarının köpürme özelliklerine ait Duncan çoklu karşılaştırma testi sonuçları ¹	47
Çizelge 4. 19. Kırınım pencereli kurutma ile farklı şartlarda kurutulmuş yumurta bütünü tozlarının kuru madde miktarı ve su aktivitesi ¹	49
Çizelge 4. 20. Yumurta bütünü tozlarının kuru madde miktarı ve su aktivitesi değerlerine ait varyans analiz tablosu	50
Çizelge 4. 21. Kırınım pencereli kurutma ile farklı şartlarda kurutulmuş yumurta bütünü tozlarının kuru madde miktarı ve su aktivitesine ait Duncan çoklu karşılaştırma testi sonuçları ¹	50
Çizelge 4. 22. Kırınım pencereli kurutma ile farklı şartlarda kurutulmuş yumurta bütünü tozlarının renk özellikleri ¹	51
Çizelge 4. 23. Yumurta bütünü tozlarının renk değerlerine ait varyans analiz tablosu..	53
Çizelge 4. 24. Kırınım pencereli kurutma ile farklı şartlarda kurutulmuş yumurta bütünü tozlarının renk özelliklerine ait Duncan çoklu karşılaştırma testi sonuçları ¹	54
Çizelge 4. 25. Kırınım pencereli kurutma ile farklı şartlarda kurutulmuş yumurta bütünü tozlarının yoğunlukları, akış özellikleri ve porozitesi ¹	56
Çizelge 4. 26. Yumurta bütünü tozlarının yığın yoğunluğu, sıkıştırılmış yoğunluk, parçacık yoğunluğu, Carr indeksi, Hausner oranı ve porozite değerlerine ait varyans analiz tablosu	58
Çizelge 4. 27. Kırınım pencereli kurutma ile farklı şartlarda kurutulmuş yumurta bütünü tozlarının yoğunluk, akış özellikleri ve porozitesine ait Duncan çoklu karşılaştırma testi sonuçları ¹	59
Çizelge 4. 28. Kırınım pencereli kurutma ile farklı şartlarda kurutulmuş yumurta bütünü tozlarının protein oranı, denatürasyon entalpisi, higroskopisitesi ve yüzey hidrofobisitesi ¹	60
Çizelge 4. 29. Yumurta bütünü tozlarının protein, entalpi, higroskopisite ve yüzey hidrofobisitesi değerlerine ait varyans analiz tablosu	61
Çizelge 4. 30. Kırınım pencereli kurutma ile farklı şartlarda kurutulmuş yumurta bütünü tozlarının protein oranı denatürasyon entalpisi, higroskopisite ve yüzey hidrofobisitesine ait Duncan çoklu karşılaştırma testi sonuçları ¹	62
Çizelge 4. 31. Kırınım pencereli kurutma ile farklı şartlarda kurutulmuş yumurta bütünü tozlarının çözünürlüğü ve emülsiyon stabilitesi ¹	64
Çizelge 4. 32. Yumurta bütünü tozlarının çözünürlük ve emülsiyon stabilitesi değerlerine ait varyans analiz tablosu	65
Çizelge 4. 33. Kırınım pencereli kurutma ile farklı şartlarda kurutulmuş yumurta bütünü tozlarının çözünürlük ve emülsiyon stabilitesine ait Duncan çoklu karşılaştırma testi sonuçları ¹	65
Çizelge 4. 34. Kırınım pencereli kurutma ile farklı şartlarda kurutulmuş yumurta sarısı tozlarının kuru madde miktarı ve su aktivitesi ¹	67
Çizelge 4. 35. Yumurta sarısı tozlarının nem miktarı ve su aktivitesi değerlerine ait varyans analiz tablosu	67
Çizelge 4. 36. Kırınım pencereli kurutma ile farklı şartlarda kurutulmuş yumurta sarısı tozlarının kuru madde miktarı ve su aktivitesine ait Duncan çoklu karşılaştırma testi sonuçları ¹	68
Çizelge 4. 37. Kırınım pencereli kurutma ile farklı şartlarda kurutulmuş yumurta sarısı tozlarının renk özellikleri ¹	69
Çizelge 4. 38. Yumurta sarısı tozlarının renk değerlerine ait varyans analiz tablosu	70
Çizelge 4. 39. Kırınım pencereli kurutma ile farklı şartlarda kurutulmuş yumurta sarısı tozlarının renk özelliklerine ait Duncan çoklu karşılaştırma testi sonuçları ¹	71

Çizelge 4. 40. Kırınım pencereli kurutma ile farklı şartlarda kurutulmuş yumurta sarısı tozlarının yoğunlukları, akış özellikleri ve porozitesi ¹	72
Çizelge 4. 41. Yumurta sarısı tozlarının yığın yoğunluğu, sıkıştırılmış yoğunluk, parçacık yoğunluğu, Carr indeksi, Hausner oranı ve porozite değerlerine ait varyans analiz tablosu	74
Çizelge 4. 42. Kırınım pencereli kurutma ile farklı şartlarda kurutulmuş yumurta sarısı tozlarının yoğunluk, akış özellikleri ve porozitesine ait Duncan çoklu karşılaştırma testi sonuçları ¹	75
Çizelge 4. 43. Kırınım pencereli kurutma ile farklı şartlarda kurutulmuş yumurta sarısı tozlarının protein oranı, denatürasyon entalpisi, higroskopisitesi ve yüzey hidrofobisitesi ¹	76
Çizelge 4. 44. Yumurta sarısı tozlarının protein oranı, denatürasyon entalpisi ve yüzey hidrofobisitesi değerlerine ait varyans analiz tablosu	77
Çizelge 4. 45. Kırınım pencereli kurutma ile farklı şartlarda kurutulmuş yumurta sarısı tozlarının protein oranı denatürasyon entalpisi, higroskopisite ve yüzey hidrofobisitesine ait Duncan çoklu karşılaştırma testi sonuçları ¹	78
Çizelge 4. 46. Kırınım pencereli kurutma ile farklı şartlarda kurutulmuş yumurta sarısı tozlarının çözünürlüğü ve emülsiyon stabilitesi ¹	79
Çizelge 4. 47. Yumurta sarısı tozlarının çözünürlük ve emülsiyon değerlerine ait varyans analiz tablosu	79
Çizelge 4. 48. Kırınım pencereli kurutma ile farklı şartlarda kurutulmuş yumurta sarısı tozlarının çözünürlük ve emülsiyon stabilitesine ait Duncan çoklu karşılaştırma testi sonuçları ¹	80

1. GİRİŞ

Kurutma, gıdaların muhafaza teknolojileri arasında önemli bir yere sahiptir. Kurutmanın temel amacı, gıdanın nem içeriğini ve su aktivitesini azaltarak raf ömrünü uzatmak ve kütle azalmasıyla da birlikte paketleme, depolama ve taşıma maliyetlerini en aza indirmektir (Wilson ve ark., 2010). Günümüzde tüketiciler tarafından hem hazır ve kolay tüketilebilir hem de sağlığa yararlı olan gıdalara talep artmıştır. Tüketicilerin talebi dikkate alındığında gıda sanayisi son birkaç yıl içerisinde toz hazır gıda ürünleri üzerinde yenilikçi çalışmalar ve atılımlar gerçekleştirmiştir. Hızlı yaşam koşullarının değişmesiyle beraber tüketiciler, tek bir üründen ihtiyacı olan bütün gereksinimlerini karşılamayı hedeflenmiştir. Üreticiler piyasaya sürdüğü ürünlerinin uzun süre bozulmadan depolanmasını ve nakliyat giderlerinin azalmasını istemektedir. Bu durum gıda üretici ve tüketicilerini toz karışımlara yöneltmiştir (Koç ve Ertekin, 2016).

Dünyada gıda endüstrisindeki teknolojik gelişime bağlı olarak günümüzde raf ömrü uzun, depolama ve taşıma maliyeti düşük, oda sıcaklığında muhafaza edilebilir ve hijyenik olması nedeniyle toz ürünler popülerlik kazanmıştır. Bu tür ürünlerden birisi de farklı kurutma teknikleri ile elde edilen ve gıda endüstrisi için büyük önem taşıyan toz yumurtadır (Van der Plancken ve ark., 2007; Koç ve ark., 2011a).

Yumurta kanatlılardan elde edilen ve insan beslenmesinde önemli bir yere sahip olan hayvansal orijinli besin maddelerinden biridir. Türk Standartları Enstitüsü (TS 1068) ve Türk Gıda Kodeksi Yumurta ve Yumurta Ürünleri Tebliği'ne göre yumurta "*Gallus gallus var. domesticus* (evcil tavuk)'tan elde edilen ve doğrudan insan tüketimine sunulan veya yumurtalı gıdaların hazırlanmasına uygun olan yumurta" olarak tanımlanmaktadır. Yumurta, yeterli ve dengeli beslenme için gereksinim duyulan tüm esansiyel amino asitleri içermektedir (Surai ve Sparks, 2001; Yüceer ve ark., 2019). Yumurta sahip olduğu 93,7 biyolojik değeri ile tüm gıda grupları arasındaki en yüksek referans değere sahiptir. Yumurta yağda çözünen A, D, E, K ve suda çözünen B vitaminlerince zengin bir besin maddesidir. Ayrıca demir, fosfor ve iz mineraller açısından özellikle gelişme çağındaki bireyler için önem taşır (Açıkgöz ve Önenç, 2006; Yüceer ve Caner, 2019).

Gıda bileşeni olarak kullanılan tozlar için renk, aroma ve tat önemli kalite parametreleridir. Ayrıca, çözünürlüğü iyi ve besin değeri kaybı olmayan bir kurutulmuş toz ürün elde etmek oldukça arzu edilir. Toz ürünlerin üretilmesinde kurutma işlemi farklı yöntemler ile gerçekleştirilebilmekte ve son zamanlarda kırınım pencereci kurutma yöntemi bu açılarından sağlamış olduğu avantajlardan dolayı öne çıkmaktadır.

Birkaç araştırmacı, kırımım pencereleli kurutma teknolojisini, taze gıda ürünlerinin orijinal rengini ve aromasını mümkün olduğunca koruyabilen nazik bir kurutma olarak tanımlamıştır. Kırımım pencereleli kurutma sistemi, gıda ürününün biyoaktif bileşik içeriğini yüksek düzeyde koruyan bir kurutma tekniği olarak bilinir. Ayrıca kırımım pencereleli kurutma, sprey kurutma ile karşılaştırılabilir ve dondurarak kurutmada da önemli ölçüde daha yüksek bir enerji verimliliğine sahip bir kurutma sistemidir (Bernaert ve ark., 2019).

Kırımım pencereleli kurutma, kurutulacak malzemenin özel niteliklere sahip bir plastik film üzerine yerleştirildiği ve plastik filmin altından akan sıcak su ile ısıtma sağlanan yeni bir kurutma tekniğidir (Ortiz Jerez ve ark., 2015).

Bu çalışmada, farklı yumurta ürünlerinin kırımım pencereleli kurutma tekniği ile ilk defa toz forma dönüştürülmesi amaçlanmıştır. Yumurtanın kurutulması aşamasında uygulanan işlem parametreleri ve elde edilen ürün özellikleri araştırılarak kırımım pencereleli kurutma tekniğinin yumurta tozu üretiminde kullanılabilirliği belirlenmiştir.

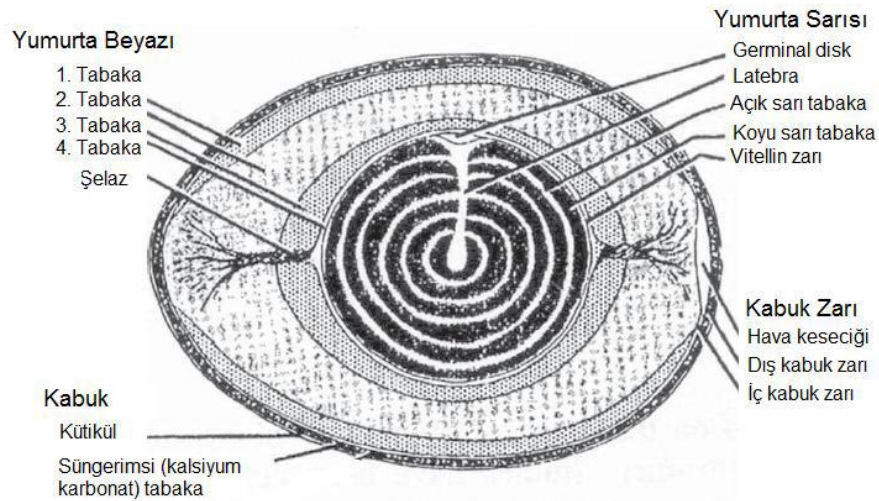
2. KAYNAK ARAŞTIRMASI

2.1. Yumurta

Yumurta, günlük diyetimizin önemli bir parçası olan, eklendiği ürünün fonksiyonel değerini arttıran, protein açısından zengin ve kolay ulaşılabilen önemli bir gıda maddesidir (Bashir ve ark., 2015).

2.1.1. Yumurtanın bileşimi

Yumurta, embriyonun gelişimi için gerekli olan tüm besin maddelerini yapısında bulduran bir gıda maddesidir. Yumurta üç ana kısımdan oluşmaktadır. Bunlar kabuk altı zarı ile birlikte yumurta kabuğu, yumurta akı ve yumurta sarısıdır (USDA, 2000) (Şekil 2.1). Yumurtanın %9.5'i kabuk, %63'ü yumurta akı ve %27.5'i de yumurta sarısından oluşmaktadır. Yumurta kabuğu mineral, yumurta akı protein ve yumurta sarısı ise yağ açısından önemli ve fonksiyonel biyoaktif bileşenlerin kaynağıdır (Yüceer ve ark., 2012).



Şekil 2. 1. Yumurta kabuğu, kabuk altı zarı, yumurta akı ve yumurta sarısının yapısal bileşimi (USDA, 2000)

Yumurta, yumurta akı ve yumurta sarısı dahil olmak üzere iki kısma ayrılabilir. Yumurta akı, yaklaşık %87.8 su, %9.7-10.6 protein ve %0.5-0.6 karbonhidrat içeriğine sahiptir. Yumurta akı fonksiyonel bileşen olarak ovalbumin, ovotransferrin, ovastatin, ovomusin, ovoinhibitör, sistatin, lizozim ve avidin içermektedir. Yapısındaki proteinlerin

yarısını ovalbumin oluşturur, geri kalanlarını ise konalbumin, lizozim, ovomukoid ve diğer globulinler oluşturur. Ayrıca avidin adlı protein ısı ile denatüre olmakta ve pişmemiş yumurtada bulunan biotin vitaminini bağlamaktadır. Yapılan çalışmalarda yumurta akının yapısında 40 farklı çeşit protein bulunduğunu bildirmiştir. Bunlar içerisinde fonksiyonel olarak en değerli olanları ovalbumin, ovotransferrin, ovomukoid ve lizozimdir. Yumurta akındaki oranları sırasıyla %51, 12, 11 ve 3.5 olarak belirlenmiştir (Tanabe ve ark., 2000; Yüceer ve ark., 2012). Bu proteinler arasından ovalbümin yumurta akının fonksiyonel özelliklerinden jel, köpük oluşturma ve emülsiyon kapasitesinden sorumludur (Mine, 2002; Yüceer ve ark., 2019). Yumurta akının büyük bir bölümünü oluşturan ovalbüminde; glutamik asit, lösin, alanin ve aspartik asit gibi amino asitler yer almaktadır (Stadelman ve Cotterill, 1995). Ayrıca ovalbumin yumurta akının ana alerjen bileşenidir (Fujita ve ark., 1995; Yüceer ve ark., 2012).

Yumurta sarısı, %80'i suda çözünür plazma fraksiyonu ve %20'si de çözünmeyen granüller içermektedir (Belitz ve ark., 2009; Strixner ve ark., 2014). Yumurta sarısının kimyasal bileşimi %51.1 su, %30.6 yağ ve %16 proteinden oluşur. Yumurtada bulunan yağların tamamı yumurta sarısında bulunur ve bu özelliği ile yumurta sarısı yağ, protein ve kül yönünden oldukça zengindir. 100 g yenilebilir bütün yumurtanın içerdiği bileşenler Çizelge 2.1'de verilmiştir.

Çizelge 2. 1. Yumurtanın kimyasal bileşimi (USDA, 2019)

Bileşen	Ortalama Değer (100 g yumurta için)	Birim
Nem	76.2	g
Protein	12.6	g
Yağ	9.51	g
Kül	1.06	g
Karbonhidrat	0.72	g
Mineraller		
Kalsiyum	56	mg
Demir	1.75	mg
Magnezyum	12	mg
Fosfor	198	mg
Potasyum	138	mg
Sodyum	142	mg
Çinko	1.29	mg
Bakır	0.072	mg
Mangan	0.028	mg
Selenyum	30.7	µg
Flor	1.1	µg
Vitaminler		
Tiamin	0.04	mg
Riboflavin	0.457	mg
Niasin	0.075	mg
Pantotenik Asit	1.53	mg
B6 Vitamini	0.17	mg
Folat	47	µg
Kolin	294	mg
Betain	0.3	mg
B 12 Vitamini	0.89	µg
A Vitamini	160	µg
Retinol	160	µg
E Vitamini	1.05	mg
D3 Vitamini	2	µg

2.1.2. Yumurtanın fonksiyonel ve ticari özellikleri

Yumurta koagüle olma, köpürme, jelleşme, emülsiyon oluşturma ve beslenmeyi destekleme gibi temel fonksiyonel özelliklere sahiptir. Ayrıca yumurta renk ve lezzet bileşeni olarak da tercih edilir. Bu özelliklerinin yanı sıra yumurta bazı ürünlerde şeker kristallerinin büyümesini kontrol etmek amacıyla da kullanılır (Stadelman ve Cotterill, 1995; Koç ve ark., 2011a). Ayrıca antibakteriyel, antiviral, anti-kanser ve hastalıklara karşı koruyuculuk gibi sağlık üzerine faydalı etkiler de göstermektedir (Yüceer ve ark., 2012).

Yumurta tozunun, gıda endüstrisinde (fırıncılık ürünleri, mayonez, dondurma, makarna gibi) bazı teknolojik özelliklerinden dolayı hammadde olarak kullanımı yaygındır. Gıdalarda doğrudan veya sulandırılarak kullanılabilir (Stadelman ve Cotterill, 1995).

Yumurta tozunun, gıda ürününde kullanılabilmesi için bazı teknolojik özelliklerine ihtiyaç duyulmaktadır. Yumurta akı, jelleşme ve köpürme özellikleri açısından tercih edilir. Yumurta akının jelleşme özelliği, keklerin piştikten sonraki sıklığına katkıda bulunur. Yumurta akı tozları şekerleme ürünlerinde, kristalleşmeyi önleyici ve köpürme özelliklerinden dolayı kullanılır. Nuga gibi belirli havalandırılmış şekerlemelerde kurutulmuş yumurta akı tozları kullanılmaktadır. Bütün yumurta, emülsifiye edici ve bağlayıcı özellikleri nedeniyle et ve balık ürünlerinde kullanılır. Bütün yumurta, köpürme, jelleşme, bağlama ve renklendirme özellikleri nedeniyle fırıncılık uygulamalarında da tercih edilmektedir. Yumurta sarısı ise emülsifiye edici ve renklendirici bir bileşen olarak kullanılır. Yumurta sarısı, soğuk (mayonez, salata sosları vb.) ve ılık (bearnez sosu vb.) emülsiyonların ana bileşenidir. Su ile yağ damlacıkları arasındaki ara yüzey gerilimini azaltarak emülsiyonların oluşumuna ve stabilitesine katkıda bulunur (Lechevalier ve ark., 2013).

2.2. Kurutma Yöntemleri

2.2.1. Püskürterek kurutma

Püskürterek kurutma, sıvıları toz haline dönüştürmek için en fazla kullanılan yöntemlerdendir. Bu işlemde atomize damlacıklar yüksek sıcaklıklar kullanılarak kurutulur. Yüksek sıcaklıklara rağmen damlacıkların yüzeyindeki yoğun nem buharlaşması ile kuruma süreci çok hızlıdır. Bu durum damlacıklar kuru forma ulaşana kadar görece olarak düşük sıcaklıklarda kalmasını sağlar (Fang ve Bhandari, 2012). Püskürterek kurutma, ısıya duyarlı gıda bileşenlerinin kapsüllenmesinde de yaygın kullanılan bir tekniktir (Gharsallaoui ve ark., 2007).

Yumurta ürünlerinin, higroskopik bileşikler içermemelerinden dolayı püskürterek kurutma ile kurutulması nispeten kolaydır. Farklı teknolojiler olmasına rağmen, yumurta ürünlerinin kurutulmasında kullanılan en yaygın yöntem püskürterek kurutmadır. Yumurta tozlarının püskürterek kurutulmasındaki en önemli sorun ise ürünlerin termal hassasiyetleridir. Özellikle bütün yumurta ve yumurta sarısı tozları, kurutucunun sıcak bölümünde çok uzun süre tutulduklarında önemli düzeyde ağarmakta ve fonksiyonel özelliklerinde azalma meydana gelmektedir. Kurutma odası tasarımının, bu termal hassasiyet üzerinde etkisi vardır (Lechevalier ve ark., 2013). Püskürterek kurutulan yumurta akı tozlarındaki diğer bir sorun ise çözünürlüğünün oldukça düşük

olmasıdır. Nitekim püskürterek kurutulmuş yumurta akı tozları su ile karıştırıldığında topaklanma eğilimi göstermektedir (Bergquist ve ark., 1978).

Koç ve ark. (2011b), püskürterek kurutma ile mikrokapsülledikleri yumurta tozunun fiziksel karakterizasyonunu ve oksidatif stabilitesini incelemiştir. Duvar materyali (jelatin, laktoz, pullulan ve bunların karışımları) ve sıvı yumurta karışımları 22.000 rpm' de 60 s homojenize edilerek hazırlanmıştır. Jelatinin duvar malzemesi olarak kullanılmasının, depolama sırasında yumurta tozunun nem içeriğinde ve su aktivitesinde önemli bir artışa neden olduğu ve akışkanlığı iyileştirdiği belirlenmiştir. Duvar malzemesi olarak ise pullulan içeren yumurta tozlarının lifli bir yapı gösterdiği ve en düşük kütle yoğunluğuna sahip olduğu tespit edilmiştir.

2.2.2. Dondurarak kurutma

Dondurarak kurutma (liyofilizasyon) pahalı olmasına karşın son ürün kalitesi açısından en iyi kurutma yöntemidir. Bu yöntem hammaddenin besinsel değerini, ilk görünüşünü, tadını, lezzetini, rengini ve yapısını koruması açısından diğerlerine kıyasla büyük avantaj oluşturur. Ayrıca dondurularak kurutulmuş ürün, ilk şekli ve boyutları koruduğundan ve son yapının gözenekli olmasından dolayı iyi rehidrasyon özelliği gösterir (Datta ve George, 2002). Rehidrasyon oranı genellikle konvektif kurutulanlardan 4-6 kat daha yüksek olduğundan dolayı hazır yemek ve çorba gibi ürünlerde kullanımı oldukça uygundur (Ratti, 2001). Dondurarak kurutma, özellikle aromatik ve ısıya duyarlı bileşenler içeren ürünlere karşı hassas bir teknolojidir. Bununla birlikte, son zamanlarda, soğutulmuş sıvı yumurta sarısına eşdeğer teknolojik ve organoleptik özelliklere sahip yumurta sarısı tozu için dondurarak kurutma işlemi geliştirilmiştir (Jaekel ve ark., 2008). Bu teknik ile yumurta akının da kurutulması gerçekleştirilebilir ve denatürasyonu önlenir. Bu yaklaşım zaman alıcı ve pahalı olmasından dolayı yumurta fraksiyonlarının endüstriyel düzeyde kurutulmasını sınırlıdır (Preethi ve ark., 2020).

2.2.3. Mikrodalga kurutma

Mikrodalgalar, 300 MHz ila 300 GHz (dalga boyları 1.0 mm ila 1.0 m) arasında değişen frekanslara sahip elektromanyetik dalgalardır (Feng ve ark., 2012). Mikrodalga, nem bulunan malzemeye nüfuz etmekte ve malzemeyi hacimsel olarak ısıtmaktadır. Böylece malzemenin içinden nemi uzaklaştırmak için daha yüksek difüzyon hızı ve

basınç gradyanı sağlamaktadır (Turner ve Jolly, 1991). Mikrodalga ısıtmanın, dipolar yönlendirme ve iyonik iletim olarak iki ana mekanizması vardır. Su molekülleri çift kutuplu olup, yüksek frekansta değişen elektrik alanını takip etmeye çalışırlar. Yaygın olarak kullanılan 2450 MHz mikrodalga frekansı için elektrik alanı saniyede 2.45 milyar kez yön değiştirerek dipolar maddeleri de hareket ettirir (Kumar, 2015). Moleküllerin bu şekilde hareketi sürtünmeye neden olarak gıda malzemesinin ısınmasını sağlar (Zhang ve ark., 2010). Gıda maddeleri, özellikle meyve ve sebzeler, yaklaşık %80 oranında su içerir. Bu nedenle, mikrodalgalar ile önemli düzeyde hacimsel ısı üretebilir. İkinci ana mekanizma iyonik iletimde ise iyonlar, özellikle tuzlu gıdalarda, elektrik alanının etkisi altında göç ederek ısı üretir (Kumar ve Karim, 2019).

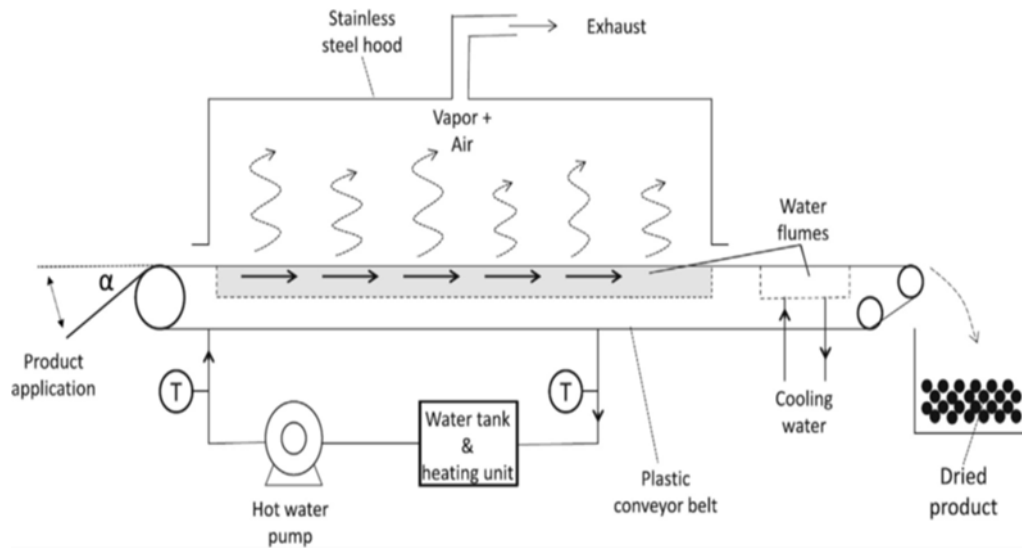
Mikrodalga ile kurutmada, ortam ısıtılmadığı ve ısı sadece materyale aktarıldığı için enerji kullanımını bakımından geleneksel kurutma yöntemlerine göre daha ekonomiktir. Geleneksel kurutma sistemlerine göre işletme içerisinde daha az yer kaplar. Ancak ilk yatırım masrafları yüksektir. İnsan sağlığı açısından radyasyon sızıntısının önlenmesi gerektiğinden tamamen kapalı bir sistem olması zorunludur (Kalender, 2013).

Li ve ark. (2020), yumurta akı proteininin mikrodalga işlemiyle fosforilasyon modifikasyonundan sonra, yumurta akı proteininin elektronegatifliğinin arttığını ve yüzey hidrofobikliğin azaldığını tespit etmiştir. Mikrodalga ısıtma ile muamele, yumurta akı tozunun rehidrasyonu üzerinde olumsuz bir etki gösterirken, fosforilasyon modifikasyonunun bu etkiyi bir dereceye kadar engellediğini belirlemiştir. Ayrıca mikrodalga ile tek başına işlem görmüş yumurta akı protein tozu ile karşılaştırıldığında, fosforile edilmiş yumurta akı tozunun, alkali koşullar altında ve 20-40°C'de artan ıslanabilirlik, dağılıbilirlik ve çözünürlük gösterdiğini gözlemiştir.

2.2.4. Kırınım pencereci kurutma sistemi

Kırınım pencereci kurutma, kurutulacak gıda ürününün özel niteliklere sahip bir plastik film üzerine yerleştirildiği ve plastik filmin altından akan sıcak su ile ısıtma sağlanan yeni bir kurutma tekniğidir (Ortiz Jerez ve ark., 2015). Kırınım pencereci kurutma, Magoon (1986) tarafından patentlenmiş ve MCD Technologies (Tacoma, Washington, ABD) tarafından geliştirilmiştir. Şekil 2.2' de gösterildiği gibi ısı, sıcak sudan bant üzerine kondüksiyonla aktarılmaktadır. Ancak plastik filmin üzerine nemli bir ürün bulunduğunda film, bir pencere gibi açılarak ısının radyasyon ile transferine imkan

verir (Caparino ve ark., 2012). Kırınım pencereleli kurutma ünitesinde dehidrasyon ısısını sağlamak için atmosferik sıcak su kaynağı kullanılır (Clarke, 2004). Ürün buharlaşma yoluyla nemini kaybettiğçe pencere yavaşça kapanır ve kurutma işleminin son aşamalarında kondüksiyon, hakim olan ısı transfer mekanizmasını oluşturur. Bahsedilen bu mekanizmalar etkisi ile ısı transferinin etkin bir şekilde sağlanması nedeniyle ürün kalitesinde minimum düzeyde değişim meydana gelmektedir (Topuz ve ark., 2009). Kırınım pencereleli kurutma tekniği ile yapılan ilk çalışmalarda ısı transferinin, sıcak sudan gelen termal radyasyonun ana ısı transfer mekanizması olduğu ileri sürülmüştür. Ancak son yıllarda gerçekleştirilen ısı ve kütle transfer model çalışmaları termal enerjinin büyük bir bölümünün iletim yoluyla aktarıldığını göstermiştir (Ortiz-Jerez ve ark., 2015). Bu yüzden bazı araştırmacılar bu tekniği “iletken hidro-kurutma” olarak da adlandırmıştır (Ortiz-Jerez ve Ochoa-Martinez, 2015).



Şekil 2. 2. Pilot ölçekli kırınım pencereleli kurutma teknolojisi α = ayarlanabilir ürün uygulama açısı; T = sıcaklık monitörü (Nindo ve ark., 2003; Moses ve ark., 2014)

Son zamanlarda akışkan ve yarı akışkan formdaki meyve suları ve pürelerin kurutulması için geliştirilmiş bir kurutma yöntemi olan kırınım pencereleli kurutma hem kurutma süresinin kısa olması hem de biyoaktif bileşen kayıplarının az olması nedeniyle öne çıkmaktadır. Kırınım pencereleli kurutma ile meyve, sebze ve baharat gibi birçok ürün oldukça kısa süre içerisinde kurutulabilmektedir (Tontul ve ark., 2019).

Bu yeni teknikle ilgili temel avantajlar arasında; ısı transfer ortamının ürünün kendisi ile doğrudan temas etmemesinden kaynaklı çapraz kontaminasyon riskinin düşük olması, düşük yatırım ve kurutma maliyetleri, atmosferik basınç altında çalışma, nispeten düşük

sıcaklık kullanılması ve gerçek eşzamanlı evaporatif soğutma ile biyoaktif bileşenlerde kaybın düşük olması sayılabilmektedir (Clarke, 2004; Nindo ve Tang, 2007; Moses ve ark., 2014). Kırınım pencereleli kurutma yeni bir teknoloji olarak hem düşük maliyet sunması hem de üstün renk, lezzet ve besin değerleri sağlaması yönünden avantajlıdır. Kırınım pencereleli kurutma, sıcak hava kurutma yöntemleri ile karşılaştırıldığında, nazik kurutma koşullarının bir sonucu olarak daha az karotenoid degradasyonu ve/veya daha az istenmeyen pigment oluşumu gerçekleşmektedir (Topuz ve ark., 2009). Dezavantajı ise özellikle yüksek şekerli tozların işlenmesindeki yapışma sorunu olarak söylenebilir (Moses ve ark., 2014). Laboratuvar ölçekli bir kırınım pencereleli kurutma sistemi Şekil 2.3'te gösterilen ısı transfer mekanizması bölümleri içermektedir.



Şekil 2. 3. Kırınım pencereleli kurutmada ısı transfer mekanizması (Ortiz Jerez ve ark., 2015)

Birçok araştırmacı kırınım pencereleli kurutma ile gıdaların kurutulmasına yönelik ön işlemler, teknikler, ekipman ve kalite dahil olmak üzere çalışmalar yapmıştır. Bu çalışmalarda başta çeşitli meyve ve sebze ürünleri (Abonyi ve ark., 2002; Topuz ve ark., 2009; Caparino ve ark., 2012; Baeghbali ve ark., 2016; Hernandez-Santos ve ark., 2016; Jafari ve ark., 2016; Azizi ve ark., 2017; Tontul ve ark., 2019) olmak üzere, et ürünleri (Rostami ve ark., 2018), protein izolatları (Tontul ve ark., 2018a), tıbbi ve aromatik bitkiler (Nindo ve ark., 2010; Minjares-Fuentes ve ark., 2016; Aghaei ve ark., 2018), ile yumurta akı (Preethi ve ark., 2020) gibi gıda maddelerinin kırınım pencereleli kurutma ile kuruma koşulları incelenmiştir.

Kırınım pencereleli kurutma sadece gıda endüstrilerinde değil, aynı zamanda farmasötik, nutrasötik, kozmetik ve pigment işleme endüstrilerinde de kullanılabilir

(Raghavi ve ark., 2018). Şekil 2.4' te gıdalarda kırım pencere kurutmanın başlıca avantajları verilmiştir (Waghmare, 2021).



Şekil 2. 4. Gıdalarda kırım pencere kurutmanın başlıca avantajları (Waghmare, 2021)

Gıda endüstrisinde kırım pencere kurutma sistemi ile yapılan bazı çalışmalar Çizelge 2.2'de verilmiştir.

Çizelge 2. 2. Farklı gıdalarda uygulanan kırım pencere kurutma parametreleri

Gıda ürünü	Dilim kalınlığı (mm)	Kurutma sıcaklığı (°C)	Kurutma süresi (dk)	Kaynak
Çilek ve havuç	1	95	3-5	Abonyi ve ark., 2002
Açai suyu	-	94	1.25-1.65	Pavan ve ark., 2012
Kırmızı biber	-	95-97	3	Topuz 2009
Kivi	0.8-1.6-2.4	80-90-100	-	Jafari ve ark., 2015
Havuç	0.2-0.4	74-94	-	Hernandez-Santos ve ark., 2016
Haskap	0.2	95	9.5	Giovana ve ark., 2016

Kırım pencere kurutma, verimli bir kurutma sağlar ve aynı zamanda ürünün kalitesini de korur. Ayrıca dondurarak ve püskürterek kurutmaya kıyasla daha düşük maliyetlidir (Nindo ve ark., 2003; Baeghbali ve ark., 2016). Kaspar ve ark. (2012), çalışmalarında kırım pencere kurutma tekniğini, biyoaktif bileşiklerin korunmasını en üst düzeye çıkarmak için en uygun maliyetli işleme yöntemi olarak bildirmiştir.

Abonyi ve ark. (2002), çilek ve havuç pürelerinin kalite özelliklerini, kırım pencere, dondurarak, tambur ve püskürterek kurutma yöntemlerine göre değerlendirmişlerdir. Kırım pencere kurutma sistemi ile kurutulmuş çilek püresinde askorbik asit korunumunun, dondurularak kurutulmuş ürünlerle karşılaştırılabilir nitelikte olduğu bildirilmiştir. Kurutulmuş numunelerdeki renk değişiklikleri hem kurutma yöntemine hem de ürüne bağlı bulunmuştur. Kırım pencere kurutmadan sonra havuç

pürelerinde toplam α ve β -karoten korunumu, dondurularak kurutulmuş numunelerle karşılaştırılabilir ve tambur kurutulmuş ürünlere kıyasla çok daha yüksek gerçekleşmiştir. Kırınım pencereless kurutma sistemi ile kurutulmuş çileğin renk değerleri dondurularak kurutulmuşlara benzer bulunmuştur.

Pavan, (2010) çalışmasında kırınım pencereless kurutma sistemi ile kurutulmuş açai tozunun, dondurularak kurutulmuş numunelere benzer bir antosiyanin içeriğine ve sıcak hava ile kurutulmuş tozlarınkinden daha yüksek bir antioksidan kapasiteye (ORAC) sahip olduğunu belirlemiştir. Celli ve ark. (2016) tarafından yapılan bir çalışmada kırınım pencereless kurutma yöntemi ile kurutulmuş haskap meyvelerinde HPLC ve spektrofotometrik analiz ile belirlenen antosiyaninlerin %90'ından fazlasının korunduğunu bildirmiştir.

Yapılan benzer bir çalışmada kırınım pencereless kurutma yönteminin üretilen domates tozunun konvektif kurutma yöntemine kıyasla kalite özellikleri üzerindeki etkisi incelenmiştir. Elde edilen sonuçlar, kırınım pencereless kurutmanın daha düşük kurutma süresine ve daha yüksek ortalama kurutma verimliliği değerlerine sahip olduğunu göstermiştir. Ayrıca, üç farklı koşulda kırınım pencereless kurutma ile üretilen ürünlerin, konvektif kurutma ile üretilen domates tozuna göre daha yüksek yığın yoğunluğu, çözünürlük (%), rehidrasyon oranı ve higroskopisite değerlerine sahip olmasını sağlamıştır. Genel olarak, kırınım pencereless kurutma yöntemi, L-askorbik asit, toplam flavonoidler ve likopen içeriği gibi biyoaktif bileşiklerin yüksek oranda korunmasını sağlamıştır (Abul-Fadl ve Ghanem, 2011).

Baeghbalı ve ark. (2016), nar suyunun kırınım pencereless kurutma, dondurarak ve püskürterek kurutma gibi farklı kurutma yöntemlerini kullanarak kurutulmasını incelemiştir. Kırınım pencereless kurutmanın toplam fenolik içeriği, püskürterek kurutma ile üretilmiş ürünlere göre önemli ölçüde daha yüksek olarak belirlenmiştir. Ancak dondurarak kurutma, kırınım pencereless kurutmaya kıyasla daha yüksek toplam fenolik içeriği sağlamıştır. Araştırmacılar bu sonucu, kırınım pencereless kurutma ve püskürterek kurutmada meydana gelen termal degradasyon ile açıklamıştır. Ayrıca kırınım pencereless kurutmanın diğer yöntemlere göre yüksek enerji verimliliği sağladığı ve bu yöntemle elde edilen ürünün daha az renk değişikliği gösterdiği belirlenmiştir.

Hernandez-Santos ve ark. (2016) tarafından yapılan çalışmada kırınım pencereless kurutma sistemi ile kurutulmuş havuçların fiziksel ve kimyasal özellikleri değerlendirilmiştir. Aynı sıcaklık ve dilim kalınlığı koşulları altında, kırınım pencereless kurutma tekniği kullanılarak yapılan havuç kurutma, konvektif sıcak hava kurutmaya

kıyasla kurutma süresini ortalama %50 azaltmıştır. Ayrıca, sonuçlar kırınım pencereleli kurutma teknolojisinin sert etli sebzelerin kurutulmasında önemli bir potansiyele sahip olduğunu ortaya koymuştur. Bu yöntemin hammaddenin fiziksel ve fonksiyonel özelliklerini koruduğu belirlenmiştir.

Zotarelli ve ark. (2017) yaptıkları çalışmada örnek kalınlığının ayarlanmasının kırınım pencereleli kurutma sisteminin çalışmasını ve kurutma oranını önemli ölçüde etkilediğini gözlemlemiştir.

Çeşitli çalışmalar, kırınım pencereleli kurutma yönteminin, konvektif kurutma yöntemlerine kıyasla ısıya duyarlı vitaminleri korumak için etkili bir şekilde kullanılabileceğini göstermiştir. Tontul ve Topuz (2017a) tarafından yürütülen bir çalışmada pestil üretiminde ilk kez kullandıkları kırınım pencereleli kurutma sisteminin, ürünün daha yüksek askorbik asit ve antosiyanin içeriği ve daha düşük 5-hidroksimetilfurfural içeriği göstermesine neden olduğunu belirlemiştir. Bu yöntemin yüksek miktarda biyoaktif bileşik içeren yüksek kaliteli pestil üretimi için en umut verici işleme yöntemi olduğunu ortaya koymuşlardır. Tontul ve ark. (2018c) kızılıcak tozlarının, kırınım pencereleli kurutmada konvektif kurutmaya göre daha yüksek toplam monomerik antosiyanin ve askorbik asit içeriğinin olduğunu tespit etmişlerdir. Konvektif kurutmada uygulanan sıcaklık ve hava hızının askorbik asit içeriğini etkilediği de gözlemişlerdir. Ayrıca, kırınım pencereleli kurutma tekniğinin, çok kısa kuruma süresinde konvektif kurutmadan daha iyi fizikokimyasal özellikler sağladığını belirlemiştir.

Nemzer ve ark. (2018) sıcak hava ile kurutma, dondurarak kurutma ve kırınım pencereleli kurutma ile kurutulan yaban mersini, kiraz, çilek ve kızılıcakların kalite parametrelerinin korunması üzerine kapsamlı bir çalışma yapmıştır. Dondurularak kurutulmuş yaban mersini, kiraz ve çilek diğer kurutma işlemlerinden önemli ölçüde daha fazla antosiyanin içeriğine sahip olmuştur. Öte yandan, kızılıcak kurutmada dondurarak kurutma ve kırınım pencereleli kurutma benzer antosiyanin içeriği sağlamıştır.

Nohut protein izolatı tozu üretiminde, kırınım pencereleli kurutma ile dondurarak kurutma yöntemlerinin karşılaştırıldığı bir çalışmada çözünürlük, yağ tutma kapasitesi ve köpük stabilitesi açısından dondurarak kurutma ile kurutulmuş örnekler, su tutma kapasitesi ve emülsiyon stabilitesi açısından ise kırınım pencereleli kurutma ile kurutulmuş örnekler daha iyi sonuçlar vermiştir (Tontul ve ark., 2018a).

Tontul ve ark. (2018b), dondurarak ve kırınım pencereleli kurutmanın yoğurt tozunun bazı fiziksel ve mikrobiyolojik özellikleri üzerindeki etkisini karşılaştırmıştır. Kırınım pencereleli kurutma ile elde edilen yoğurt tozlarının fiziksel özelliklerinin (renk

hariç) dondurarak kurutma ile elde edilen yoğurt tozlarından daha iyi olduğu tespit edilmiştir. Probiyotikler ile ilgili yapılan bir çalışmada ise kırımım pencereli kurutma tekniğinin, dondurarak kurutma tekniğinden daha iyi fiziksel özellikler gösterdiği rapor edilmiştir (Yoha ve ark., 2019). Yayınlanan başka bir araştırma ise balık silajının kırımım pencereli sistem ile ürün kalitesi korunurken, düşük sıcaklıkta (55°C), hızlı kurutma yapabileceğini göstermiştir (Landa ve Raesb, 2019).

Qiua ve ark. (2019) dört farklı kurutma tekniğini kullanarak domates püresi kurutulması üzerine çalışmışlardır. Kırımım pencereli kurutma tekniğinin domates püresinin kurutulması için nispeten yavaş bir işlem olduğunu ve bu nedenle kapasite, ölçek büyütme ile ilgili sınırlamaları olduğunu bildirmişlerdir. Çalışmalarında vakumlu tamburlu kurutucudan sonra kırımım pencereli kurutma işleminin, yüksek düzeyde uçucu bileşiklere sahip tozlar üretme konusunda en iyi potansiyele sahip olduğunu belirtmişlerdir.

Shende ve Datta (2020), mango püresi üzerinde yaptıkları çalışmada, kırımım pencereli kurutma işleminde sıcaklık artışının toplam fenolik içeriğinde önemli bir artış olduğunu gözlemişlerdir. Yapılan başka bir çalışmada, kırımım pencereli kurutma işlemine tabi tutulmuş altın çilek posasının toplam fenolik içeriğinde önemli bir değişiklik gözlenmemiştir (Puente ve ark., 2020).

Tontul ve ark. (2021) yaptıkları çalışmada kırımım pencereli kurutma ve dondurarak kurutma ile üretilen kefir tozlarının 4°C' de 90 gün depolama süresince fiziksel ve mikrobiyolojik özelliklerini karşılaştırmıştır. Yüksek kuruma sıcaklıkları ve ince serme kalınlıkları numunelerde daha fazla renk değişimine neden olmuştur. Kefirin kırımım pencereli kurutma ile kurutulması iyi akış ve düşük kohezyona sahip bir ürün eldesine yardımcı olmuştur. Ayrıca, kırımım pencereli kurutma sistemi, dondurarak kurutmaya kıyasla çok daha iyi ıslanabilirlik, higroskopiklik ve çözünürlük sağlamıştır.

Baeghbalı ve Niakousari (2018), kırımım pencereli kurutmanın enerji tüketimi ve enerji verimliliği konusundaki yaptıkları çalışmalarda, farklı geleneksel kurutma yöntemlerine kıyasla kırımım pencereli kurutmanın çok verimli bir seçim olduğu sonucuna varmıştır. Kırımım pencereli kurutma tekniğinin enerji tüketiminin seçilen diğer kurutucularla karşılaştırılması Çizelge 2.3 ve Çizelge 2.4'de verilmiştir.

Çizelge 2. 3. Kırınım pencereleli kurutmanın enerji tüketiminin diğer kurutma teknikleri ile karşılaştırılması (Nindo ve Tang, 2007)

Kurutma yöntemi	Tipik ürün sıcaklığı	Termal etkinlik (%)
Dönel kurutma	Yaklaşık 175	50-25
Püskürterek kurutma	80-120	51-20
Tambur kurutma	120-130	78-35
Kırınım pencereleli kurutma	60-70	77-52

Çizelge 2. 4. Püskürterek kurutma, dondurarak kurutma ve kırınım pencereleli kurutmanın genel enerji verimliliği (Baeghbali ve ark., 2016)

Kurutma yöntemi	1 kg gıdanın kurutulması için gerekli enerji (kWh)	1 kg ürün elde edilmesi için gerekli enerji (kWh)	Enerji etkinliği
Dondurarak kurutma	1.46	130.65	1.12
Kırınım pencereleli kurutma	1.36	4.31	31.56
Püskürterek kurutma	1.42	11.01	12.92

2.2.5. Köpük kurutma sistemi

Köpük kurutma yöntemi kurutulması istenen ürünün sıvı formdan, köpük forma dönüştürülmesi ve farklı kurutucularla kurutulması şeklinde tanımlanabilir. Bu işlemde köpük yapısının oluşumu için proteinler, gamlar, çeşitli emülsifiye edici maddeler (yumurta akı, gliserol monosakkarit, propilen gliserol monosakkarit, karboksimetil selüloz, triklorofosfat) köpürtme ajanları ve/veya stabilizörler kullanılır (Varhan ve Koç, 2017). Köpük kurutma tekniği hazır toz gıda üretilmesine giderek artan bir önem kazandırmıştır. Köpük kurutma tekniği, kuruma süresini kısaltarak kurutulmuş gıda kalitesini koruma, hemen hemen tüm gıdalara uygulanabilme, rekonstitüsyon özelliği yüksek kaliteli toz gıdalar üretebilme ve daha düşük maliyet gibi avantajlara sahiptir.

Kurutma işlemi öncesi köpük yapısına dönüştürülen ürünün mevcut toplam yüzey alanının artması kurutulmasında da avantaj sağlar ve dolayısıyla kurutma işleminin etkinliği gelişir (Muthukumaran ve ark., 2008a). Kurutulmak istenen ürünün köpük formuna getirilmesinin esas nedeni, köpüğün yapısı itibariyle hava kurutucuya maruz kalan yüzey alanının genişletilerek nem giderme işleminin hızlandırılmasıdır (Sharada, 2013; Varhan ve Koç, 2017). Kuruma süresini kısaltan ve kuruma hızını arttıran bu durumun dezavantajı ise geniş köpük yayılma alanının kurutma ünitesinin kapasitesini düşürmesidir.

Köpük kurutma işleminde stabilizatör gerektirmeyen durumlarda bir sıvı konsantrenin dehidre edilmesi işlemi gerçekleştirilir (Thirupathi ve ark., 2008). Ovalbümin iyi bir köpürtücü ajan olduğundan dolayı, yumurtanın köpük kurutulmasında ilave köpük stabilizatörüne gerek yoktur (Kudra ve Ratti, 2006). Püskürterek kurutma ile karşılaştırıldığında, köpük kurutma daha az zaman, daha az enerji, daha az üretim maliyeti ve konsantrasyon gerektiren bir kurutma işlemidir (Thirupathi ve ark., 2008). Literatüre göre farklı gıdaların köpük kurutma çalışmalarında uygulanan şartlar Çizelge 2.5'te özetlenmiştir.

Çizelge 2. 5. Farklı gıdalarda uygulanan köpük kurutma parametreleri

Gıda Ürünü	Köpürtme ajanı / stabilizatörü	Köpürtme işlemi ve koşulları	Kurutma işlemi ve koşulları	Kaynak
Elma suyu	Metil selüloz, yumurta akı	-	Dondurarak kurutma	Raharitsifa ve Ratti, 2010
Yaban mersini Suyu	Peynir altı suyu proteini izolatu, maltodekstrin	5 dk çırpma	5 dakika çırpma ve -30°C' de 30 dk dondurulma, -55°C' de kurutulma, 0.04 mbar 24 saat 60°C	Darniadi ve ark., 2018
Elma	Jelatin	3-9 dk, 2300 rpm	Hava kurutma 20°C	Valenzuela ve Aguilera, 2013
Elma	Yumurta akı, metilselüloz	3-7 dk çırpma	Dondurarak kurutma	Raharitsifa ve ark. (2006)
Elma püresi	Metilselüloz, yumurta akı	-	Köpük kurutma	Jakubczyk ve ark., 2011
Muz	Yumurta akı	-	Hava kurutma, 80°C	Prakotmak, Soponronnarit ve Prachayawarakorn 2010
Yumurta akı	Ksantan gam, glikol aljinat, metilselüloz	-	4000 rpm köpük kurutma, dondurarak kurutma, 20 °C	Muthukumaran ve ark., 2008b
Yacon meyvesi	Yumurta albümin	Mikserle yüksek hızda 20 dk çırpma	50, 60 ve 70°C'de kurutma	Franco ve ark., 2015
Hurma tozu	Maltodekstrin, arap zımkı	-	Dondurarak kurutma	Seerangurayar ve ark., 2018
Atemoya püresi	Emustab, Süper Liga Neutra	20 dk çırpma	60,70 ve 80°C'ta farklı köpük kalınlıklarında kurutma	Galdino ve ark., 2016

Thirupathi ve ark. (2008) çalışmasında, bütün yumurtaya köpük kurutma işlemi uygulamıştır. Yumurta köpüğü 1, 3 ve 5 mm'lik farklı kalınlıklarda serilerek 60, 65 ve 70°C 'de köpük kurutma işlemi ile kurutulmuştur. Bütün yumurta sıvısı için köpük genişmesi %243,5 olarak bulunmuştur. Köpük kurutulmuş bütün yumurta tozlarından, 1 mm köpük kalınlığında 60°C'de kurutulan örneklerin, sırasıyla 3 ve 5 mm kalınlığında 65 ve 70°C'de kurutulmuş örneklerden daha iyi besin içeriği gösterdiği belirlenmiştir. Ayrıca rehidrasyon oranı, rehidrate bütün yumurtanın köpürebilirliği ve köpüğün çözünürlüğü sırasıyla %3.70, %236 ve %93.5 olarak gözlenmiştir.

Kandasamy ve ark. (2012) tarafından papaya pulpunun köpürtülmesinde metilselüloz, gliserol monostearat ve yumurta akı kullanılmış ve elde edilen köpük farklı kalınlıklarda (2, 4, 6, 8 ve 10 mm) serilerek 60, 65 ve 70°C köpük kurutma işlemi ile kurutulmuştur. Bu çalışma sonucunda yüksek sıcaklık ve köpük kalınlığında kurutulan papaya askorbik asit ve şeker miktarında bir düşüş olduğu tespit edilmiştir. Optimum kurutma koşulu olarak da %3 gliserol monostearat içeren papaya pulpu için 20 dk çırpma süresi, 60°C kurutma sıcaklığı ve 4 mm serme kalınlığı belirlenmiştir.

Salahi ve ark. (2014) çalışmasında, kavun köpüğünü geleneksel kurutucu kullanarak 40, 55 ve 70°C' de ve farklı kalınlıklarda (3 ve 5 mm) sererek kurutmuştur. Kavunu köpürtmek amacıyla ağırlıkça %33.3 yumurta akı tozu ve köpük stabilizatörü olarak da ağırlıkça %0.05-0.2 ksantan zank kullanmış ve 2-10 dk çırpma sonunda oluşan köpük kurutulmuştur. Çalışmanın sonucunda, kurutma işleminin azalan kuruma periyodunda gerçekleştiği ve sıcaklık ve köpük kalınlığının artmasıyla nem ve yayılmada da artış olduğu gözlenmiştir.

Darniadi ve ark. (2018), yaban mersini suyunun farklı özellikleri üzerine köpük kurutma, dondurarak kurutma ve püskürterek kurutmanın etkisini incelemiştir. Meyve suyuna farklı oranlarda maltodekstrin ve peyniraltı suyu proteini izolatu ilave edilmiştir. Köpük kurutma ve dondurarak kurutma ile elde edilen toz koyu mor iken püskürterek kurutulmuş toz parlak mor ve daha az kırmızı (orijinal ile daha az benzer) bulunmuştur. Köpük kurutma ve dondurarak kurutmada verim daha iyiyken, püskürterek kurutmada partikül morfolojisi ve rehidrasyon özellikleri daha üstündür.

2.3. Yumurta Tozu Üzerine Çalışmalar

Muthukumaran ve ark. (2008b), yaptıkları çalışmada farklı konsantrasyonlarda stabilize edici bileşen (ksantan zankı, glikol aljinat ve metilselüloz) eklenen yumurta

albüminin dondurarak kurutulması üzerine köpürtmenin etkisini incelemişlerdir. Çalışma sonunda, ksantan zankı ilavesinin toplam kuruma süresini azalttığı ve üstün kalitede yumurta albümin tozu eldesine imkan verdiği belirlenmiştir.

Zhou ve ark. (2014), ördek yumurta akı proteinlerinin kurutulması için mikrodalga destekli dondurarak kurutma teknolojisini uygulamış ve sonuçları dondurularak kurutulmuş numunelerle karşılaştırmıştır. Mikrodalga destekli dondurarak kurutmanın, kuruma süresini azalttığını, daha iyi renk özelliklerine ve daha düşük görünür yoğunluğa sahip protein tozları üretimine imkan verdiği tespit edilmiştir. Ayrıca mikrodalga destekli dondurarak kurutma ile kurutulmuş örneklerin köpürme kapasitesi ve emülsifiye edici özellikleri, dondurarak kurutulmuş örneklere benzer bulunmuştur.

Koç ve ark. (2011a), pastörize sıvı bütün yumurtanın püskürterek kurutulması işleminde giriş (165–195°C) ve çıkış sıcaklıkları (60–80°C) ile atomizasyon basıncı (196–392 kPa) değişkenlerini araştırmıştır. Toz bütün yumurta tozu eldesinde püskürterek kurutma koşullarının (çıkış havası sıcaklığı ve atomizasyon basıncı) tozun fonksiyonel, fiziksel ve kimyasal özelliklerini etkilediği bildirilmiştir. Çıkış sıcaklığı, köpürme stabilitesi dışında analiz edilen tüm özellikler üzerinde en belirgin etkiye sahipken, sadece emülsiyon stabilitesi giriş sıcaklığından etkilenmiştir. Ayrıca atomizasyon basıncının su aktivitesi ve peroksit değeri üzerinde önemli bir etkisi bulunmamıştır. Optimizasyon çalışmasında, unlu mamullerde bileşen olarak kullanılacak bütün yumurta tozu için optimum püskürtmeli kurutucu koşulları, 171.9°C giriş hava sıcaklığı, 72.5°C çıkış hava sıcaklığı ve 392 kPa atomizasyon basıncı olarak belirlenmiştir.

Koç ve ark. (2012), püskürterek kurutulmuş toz yumurtanın camsı geçiş sıcaklığı, akış özellikleri, rengi ve morfolojisi üzerine nemin etkisini araştırmıştır. Toz yumurta, 25°C'de farklı bağıl neme sahip ortamlarda depolanmış ve nem sorpsiyon izotermi belirlenmiştir. Toz haline getirilmiş yumurtanın camsı geçiş sıcaklığının artan su aktivitesi ile azaldığı belirlenmiştir. Düşük su aktivitesi değerlerinde, tozun akışkanlığı zayıf ve yapışkanlığı yüksek bulunmuş ve bu akış özellikleri, taramalı elektron mikroskobu (SEM) görüntüleri ile de desteklenmiştir.

Asgar ve Abbas (2015) çalışmasında, unlu mamullerde taze yumurta yerine bütün püskürterek kurutulmuş yumurta tozu kullanımının etkisini gözlemlemiştir. Çiğ yumurta içeren kekin nem içeriği %32.94 iken %100 toz yumurta içeren kekin nem içeriği ise %25.52 olarak tespit edilmiştir. Benzer olarak kontrol, yüksek protein ve yağ içeriği gösterirken, kek içindeki yumurta tozu miktarı arttıkça protein ve yağ içeriğinde de

azalma rapor edilmiştir. Sonuç olarak püskürterek kurutmanın, bütün yumurta sıvısını tam yumurta tozuna dönüştürmede yumurtanın bileşenlerini korumak için mükemmel bir teknik olduğu sonucuna varılmıştır.

Grassi ve Ponsano (2015) tarafından gerçekleştirilen bir çalışmada 90, 120 ve 150°C’ de farklı sıcaklıklarda püskürterek kurutulmuş yumurta sarısı tozları elde edilmiştir. Püskürterek kurutma sıcaklığının toz yumurta sarısının protein, lipid ve kül seviyelerini, mikrobiyolojik özelliklerini ve son ürünün acılığını etkilemediğini ancak nem içeriğini etkilediğini bildirmiştir. Daha yüksek kurutma sıcaklıklarının daha yüksek ürün verimi sağladığını, fakat 150°C’ de yumurta sarısı tozunun renginde koyulaşma ve sarılığında azalma olduğunu ortaya koymuştur.

Orishagbemi ve ark. (2017), köpürtülmüş yerel ve kümes tavuk yumurtalarını tepsi kurutucuda kurularak (60°C) toz yumurta elde etmiştir. Yerel ve kümes tavukları sıvı yumurtalarının köpürme kapasitelerinin %20.1–20.5, bunlardan elde edilen yumurta tozlarının köpürme kapasitesilerinin ise %17–18.2 arasında değiştiği belirlenmiştir. Yerel tavuk yumurta tozunun yığın yoğunluğu diğerine göre daha yüksek bulunmuştur.

Preethi ve ark. (2020), kırınım pencereless kurutma ile üç farklı sıcaklıkta (40, 45 ve 50°C) kurutulan yumurta akının fiziksel ve fonksiyonel özelliklerini, püskürterek kurutulmuş ve dondurularak kurutulmuş yumurta akı tozları ile karşılaştırmıştır. Kırınım pencereless kurutma ile kurutulmuş tozların nem içeriği (%3-4) ve su aktivitesi (0.22-0.54) diğer tekniklere göre daha az bulunmuştur. Ayrıca bu yöntem ile elde edilen toz, üstün akışkanlık, çözünürlük (%78-84) ve jel oluşumu sağlamıştır. Yumurta tozunun SEM analizi sonunca, kırınım pencereless kurutmanın pulcuklu bir yapı, püskürterek ve dondurularak kurutulmuş tozlarda ise küresel ve gözenekli bir yapı gözlenmiştir. Kırınım pencereless kurutma ve dondurularak kurutmanın yumurta akı tozlarında, püskürterek kurutmaya göre daha iyi stabilite ve köpük oluşumu sağlayan olumlu etkiler gösterdiği bulunmuştur. Ayrıca kırınım pencereless kurutma işlemi, yumurta akını kurutmak için daha kısa kurutma süresi gerektirdiği ve kurutucu tasarımının basitliği açısından ek kolaylık sağladığı tespit edilmiştir. Genel olarak, sonuçlar kırınım pencereless kurutma yönteminin yumurta akını kurutmak için etkili bir alternatif yöntem olduğunu doğrulamıştır.

3. MATERYAL VE YÖNTEM

3.1. Materyal

Çalışma kapsamında sıvı pastörize yumurta kullanılmıştır. Pastörize sıvı yumurta örnekleri (yumurta akı, yumurta bütünü, yumurta sarısı) 1 L'lik tetrapak ambalajlarda Konya'da faaliyet gösteren Anako Yumurta ve Ürünleri A.Ş.'den temin edilmiştir. Üretim günü taze olarak temin edilen hammaddelerin raf ömrü +4°C'de 40 gün olduğu için hemen dondurulmuş ve kurutma denemelerinden önce +4°C buzdolabına alınarak bir gece çözünmesi sağlanmıştır.

Analizlerde kullanılan tüm kimyasallar analitik saflıkta olup Merck (Almanya) firmasından tedarik edilmiştir.

3.2. Deneme Deseni

Çalışma faktöriyel deneme desenine göre yürütülmüştür. Pastörize sıvı yumurta örnekleri (yumurta akı, yumurta bütünü ve yumurta sarısı) ayrı ayrı kurutulmuştur. 3 farklı pastörize sıvı yumurta örnekleri (yumurta akı, yumurta bütünü ve yumurta sarısı) kırınım pencereless kurutma yöntemi ile 2 farklı formda (doğal ve köpük/çırpılmış) ve altı farklı sıcaklıkta (50, 60, 70, 80, 90 ve 100°C) kurutularak 2 tekerrürlü olarak elde edilen 72 örnekte analizler gerçekleştirilmiştir. Çalışmada yumurta akı, bütünü ve sarısının farklı form ve sıcaklıklarda kurutulması için gereken süre Çizelge 3.1'de verilmiştir.

Çizelge 3. 1. Kırınım pencereless kurutma ile yumurta örneklerinin kuruma süresi (dk)

Kurutma Formu	Sıcaklık (°C)	Ak	Bütün	Sarı
Doğal	50	55±7.1	55±0	40±0
	60	40.5±6.4	40±0	25±0
	70	25±7.1	20±0	18±0
	80	20±0	15±0	15±0
	90	15±0	15±0	15±0
	100	5±0	12±0	10±0
Köpük	50	23±0	20±0	23±0
	60	15±0	16±0	18±0
	70	13±0	10±0	13±0
	80	10±0	7±0	8±0
	90	6±0	5±0	5±0
	100	4±0	3±0	3±0

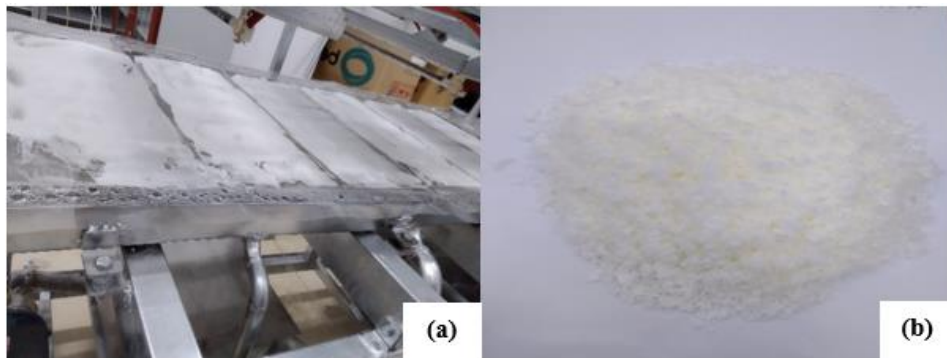
Serme işlemi ayarlanabilir film uygulayıcı ile 2 mm kalınlıkta kurutma filminin üzerine serilerek gerçekleştirilmiştir. Doğal formda serme işleminde hammadde film üzerine serildikten sonra kurutma işlemi tamamlanmıştır. Köpük formda mekanik bir çırpıcı tel vasıtasıyla (Hobart N50, Almanya) 5 dk çırpma işlemi gerçekleştirildikten sonra serme işlemi yapılmıştır.

Kurutma işlemi tamamlandıktan sonra yumurta tozu örnekleri kazınmış ve bir öğütücü (Siemens MK880FQ1, Almanya) vasıtasıyla öğütüldükten sonra AL/PE katlı ambalajların içerisinde hava almayacak şekilde kapatılmıştır. Elde edilen yumurta tozlarının fizikokimyasal özellikleri belirlenmek üzere oda sıcaklığında depolanmıştır.

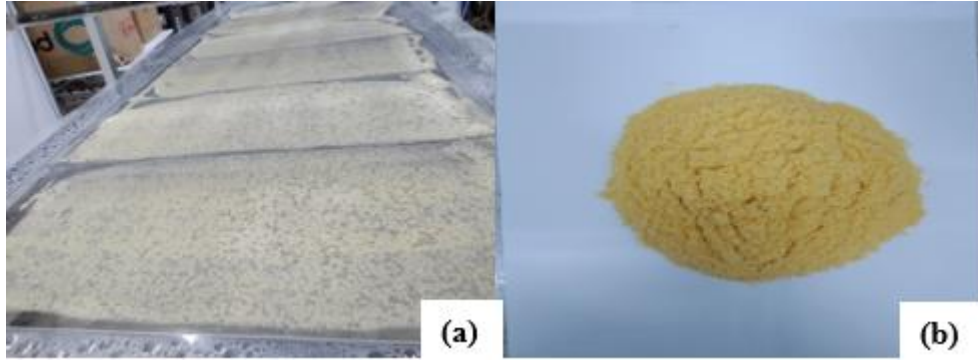
3.3. Köpük Kurutma

Köpük formda kurutma işleminde çırpma aparatı takılmış Hobart (N50, Almanya) mikserin yüksek devirinde 5 dk karıştırılarak köpük forma (Bu uygulamada yumurta bütünü ve yumurta sarısı örnekleri tam olarak köpürmemiş çırpılmıştır) dönüştürülmüştür. Köpük/çırpılmış formdaki ürünler ayarlanabilir film uygulayıcı ile 2 mm kalınlıkta kurutma filminin üzerine serilmiştir. Örneklerdeki değişim ve nem düzeyi izlenerek kurutma izlenmiş ve istenen nem düzeyine (<math><5\%</math>) ulaşıldığında kurutma sonlandırılmıştır. Çalışma kapsamında yumurta akı (Şekil 3.1), yumurta bütünü (Şekil 3.2) ve yumurta sarısının (Şekil 3.3) kurutma öncesi ve kurutma sonrası görüntüleri verilmiştir.

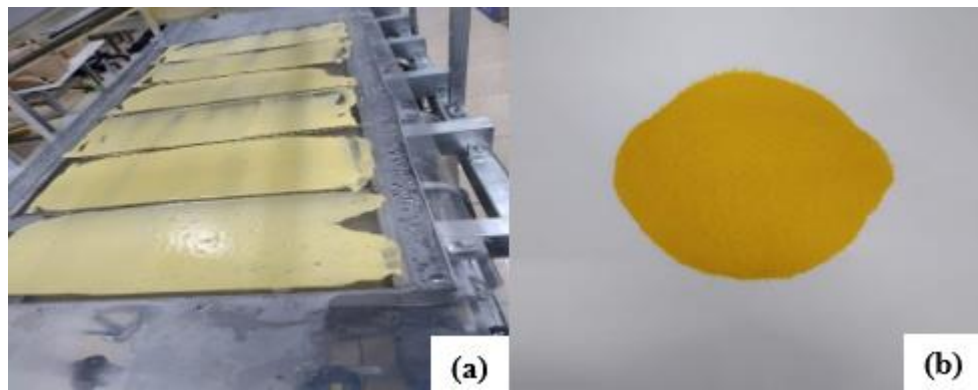
Kurutulan örnekler bir kahve öğütücü vasıtasıyla öğütüldükten sonra AL/PE katlı ambalajların içerisinde hava almayacak şekilde kapatılmıştır.



Şekil 3. 1. Yumurta akında kurutma öncesi (a) ve sonrası (b) görüntüleri



Şekil 3. 2. Yumurta bütününde kurutma öncesi (a) ve sonrası (b) görüntüleri



Şekil 3. 3. Yumurta sarısında kurutma öncesi (a) ve sonrası (b) görüntüleri

3.4. Analizler

3.4.1. Kuru madde miktarı ve su aktivitesi

Yumurta tozlarının kuru madde miktarı gravimetrik olarak 70°C’de sabit tartıma kadar kurutmaya belirlenmiştir (Tontul ve ark. 2018b). Kurutulmuş yumurta tozu örneklerinin su aktivitesi ise Novasina (Labtouch, İsviçre) su aktivitesi ölçer kullanılarak 25°C’de belirlenmiştir.

3.4.2. Renk

Yumurta tozlarının renk değerleri Konica-Minolta (CR-400, Japonya) renk ölçer ile ölçülmüştür. Örneklerin 10 farklı noktasından ölçüm alınmıştır. Renk ölçerde okunan L*, a* ve b* değerleri kullanılarak ton açısı (Eşitlik 3.1) ve doygunluk (Eşitlik 3.2) değerleri aşağıdaki eşitliklerle hesaplanmıştır.

$$Ton\ açısı = \frac{180}{\pi} \times \arctan \frac{b}{a} \quad (\text{Eşitlik 3.1})$$

$$Doygunluk = \sqrt{a^2 + b^2} \quad (\text{Eşitlik 3.2})$$

3.4.3. Yığın yoğunluğu ve parçacık yoğunluğu tayini

Yumurta tozlarının yığın yoğunluğu Beristain ve ark. (2001)'e göre belirlenmiştir. Bu amaçla kurutulmuş 2 g örnek ölçülü silindire tartılarak hacmi kaydedilmiştir. Bu ağırlık ve hacim kullanılarak yığın yoğunluğu hesaplanmıştır. Daha sonra bu silindir 30 mm mesafeden 100 kez serbest düşmeye bırakılarak örneğin son hacmi kaydedilmiştir. Örnek ağırlığının kaydedilen hacme bölünmesiyle sıkıştırılmış yığın yoğunluğu kg/m^3 cinsinden belirlenmiştir.

Yumurta tozu örneklerinin parçacık yoğunluğu Jinapong ve ark. (2008)'ne göre analiz edilmiştir. 1 g yumurta tozu 10 mL' lik kapaklı bir mezüre aktararak üzerine 5 mL petrol eteri eklenmiştir. Çözelti tamamen karışıp tüm parçacıklar ıslanana kadar mezür çalkalanmıştır. Son olarak mezürün cidarlarındaki parçacıkları da yıkamak için yaklaşık 1 mL petrol eteri daha eklenip ve elde edilen toplam hacim okunarak parçacık yoğunluğu aşağıdaki eşitlik (Eşitlik 3.3) ile hesaplanmıştır.

$$\rho_{\text{parçacık}} = \frac{\text{Toz ağırlığı (g)}}{\text{Petrol eteri ve tozun toplam hacmi (ml)} - 6} \quad (\text{Eşitlik 3.3})$$

Bu iki değer kullanılarak akışkanlık özelliklerini ve porozitesini belirlemek amacıyla Hausner oranı (Eşitlik 3.4), Carr indeksi (Eşitlik 3.5) ve porozitesi (Eşitlik 3.6) hesaplanmıştır.

$$\text{Hausner Oranı} = \frac{\rho_{\text{sıkıştırılmış}}}{\rho_{\text{yığın}}} \quad (\text{Eşitlik 3.4})$$

$$\text{Carr indeksi} = \frac{\rho_{\text{sıkıştırılmış}} - \rho_{\text{yığın}}}{\rho_{\text{sıkıştırılmış}}} \quad (\text{Eşitlik 3.5})$$

$$Porozite = \frac{\rho_{parçacık} - \rho_{sıkıştırılmış}}{\rho_{parçacık}} \quad (\text{Eşitlik 3.6})$$

Tozun akışkanlığı ve yapışkanlığı sırasıyla Çizelge 3.2' de verilen Carr indeksi (CI) ve Hausner oranı (HR) açısından değerlendirilmiştir (Başyigit ve Çam, 2017).

Çizelge 3. 2. Carr indeksine (CI) dayalı toz akışkanlığının sınıflandırılması

CI (%)	Akışkanlık	Hausner Oranı
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
>37	Çok kötü	HR >1.59

3.4.4. Higroskopisite

Yaklaşık 1 g yumurta tozu cam beherlere tartılarak ortam bağıl neminin %79.5 olmasını sağlayacak potasyum nitratın doymuş tuz çözeltisi bulunan desikatörde oda sıcaklığında (25°C) 1 hafta bekletilmiştir. 1 hafta sonra örnekler tartılmış ve yumurta tozunun higroskopisitesi aşağıda belirtilen eşitlik (Eşitlik 3.7) kullanılarak hesaplanmıştır.

$$Higroskopisite (\%) = \frac{\frac{x}{a_h} + W_i}{1 + \frac{x}{a_h}} \times 100 \quad (\text{Eşitlik 3.7})$$

Bu eşitlikte x bekletme sürecinde gerçekleşen ağırlık artışını, a_h yumurta tozunun miktarını, W_i ise yumurta tozunun başlangıçtaki nem miktarını göstermektedir (Syamaladevi ve ark. 2012).

3.4.5. Protein miktarı

Yumurta tozlarının protein miktarı Dumas prensibi ile çalışan Leco 828 (ABD) protein analiz cihazı ile belirlenmiştir (Bozdoğan ve ark., 2019). Bu amaçla 0.1 g yumurta örneği alüminyum örnek kabına tartılmış ve cihaza yerleştirilmiştir. Cihaz içerisinde

900°C üstündeki sıcaklıkta buharlaştırılan örnek dumanının içindeki azot miktarı tayin edilerek protein miktarı hesaplanmıştır.

3.4.6. Çözünürlük tayini

Yumurta tozlarının çözünürlüğü refraktif indeks ölçümü yapan dijital bir refraktometre (Hanna HI96800, Almanya) kullanılarak Rannou ve ark. (2015) tarafından bildirilen yöntemle göre belirlenmiştir. Bu amaçla 1 g yumurta tozu üzerine 5 mL NaCl çözeltisi (%5) ilave edildikten sonra 3000 g'de 15 dk santrifüjlenmiştir. Sıvı fazın refraktif indeksi ve NaCl çözeltisinin de refraktif indeksi belirlenerek aşağıdaki eşitlikler yardımı ile Haenni değeri (Eşitlik 3.8) ve çözünürlük (Eşitlik 3.9) hesaplanmıştır (Gonzalez, 2017).

$$Haenni\ değeri = (RI_f - RI_{NaCl}) \times 1000 \quad (Eşitlik\ 3.8)$$

$$\log (Haenni\ değeri) = 0.445 + 0.01 \times \text{Çözünürlük} \quad (Eşitlik\ 3.9)$$

3.4.7. Protein denatürasyonu tayini

Protein tozlarının protein denatürasyon entalpisi Diferansiyel Taramalı Kalorimetresi (DSC25, TA Instruments, ABD) ile belirlenmiştir. Bu amaçla su ile hammadde kuru madde düzeyine ayarlanmış yumurta tozları alüminyum panlara aktarılarak ve 5°C/dk hızla 20°C'den 105°C'ye ısıtılmıştır. Elde edilen termogramdan denatürasyon entalpisi hesaplanmıştır (Ma ve ark., 2013).

3.4.8. Yüzey hidrofobisitesi tayini

Yumurta tozlarının yüzey hidrofobisitesi Tontul ve ark. (2018a) tarafından bildirilen bromfenol mavisi (BPB) bağlama metodu ile spektrofotometrik olarak belirlenmiştir. Bu amaçla fosfat tamponu (pH 7, 20 mM) içerisinde 5 mg/mL konsantrasyonda yumurta tozu çözeltisi hazırlanmış ve bu çözeltilerden 1 ml alınarak 200 µL BPB çözeltisi (1 mg/mL) ile karıştırılmıştır. Protein içermeyen tampon ile BPB karıştırılarak kontrol örneği de hazırlanmıştır. 10 dk oda sıcaklığında bekletildikten sonra 2000 g'de 15 dk santrifüjlenmiştir. Her iki örneğin absorbansı fosfat tamponuna karşı 595

nm'de kaydedilmiştir. Örneklerin yüzey hidrofobisitesi bağlı BPB miktarından hesaplanmıştır.

3.4.9. Emülsifikasyon özelliklerinin belirlenmesi

Yumurta tozlarının emülsifiye edici özellikleri Ertekin ve ark. (2011) tarafından rapor edilen yöntemle göre gerçekleştirilmiştir. %1 yumurta tozu içeren süspansiyon (50 mL, 0,5 M NaCl içeren pH 7 su içerisinde), 30 mL mısır yağı karıştırıldıktan sonra ultraturrax yardımı ile 22000 d/dk hızda 1 dakika boyunca homojenize edilmiştir. Daha sonra elde edilen emülsiyonun elektriksel iletkenliği 1 saat süresince izlenmiştir. Emülsiyon stabilitesi aşağıdaki formüller (Eşitlik 3.10 ve 3.11) yardımı ile belirlenmiştir.

$$f = 1 - [(m_w/m_0)(1 - c_e/c_0)] \quad \text{Eşitlik (3.10)}$$

$$\text{Emülsiyon stabilitesi} = 1 - f \quad \text{Eşitlik (3.11)}$$

Bu formülde m_w , su ağırlığını, m_0 yağ ağırlığını; c_e , 1 saat sonundaki elektriksel iletkenlik değerini (mS/cm); c_0 , saf suyun elektriksel iletkenlik değerini (mS/cm) göstermektedir.

3.4.10. Köpürme özelliklerinin belirlenmesi

%20 konsantrasyonda saf su ile sulandırılan yumurta akı tozları çırpma aparatı takılmış Hobart (N50, Almanya) mikserin yüksek devirinde 10 dk çırpılmıştır. Çırpma işlemi sonunda elde edilen köpük ve sıvı kısmın hacimlerinden köpük kapasitesi hesaplanmıştır. Köpük stabilitesi ise 60 dk beklemeden sonraki köpük hacminden belirlenmiştir (Ertekin ve ark., 2011).

3.4.11. Jelleşme özelliklerinin belirlenmesi

%20 yumurta akı tozu içeren süspansiyon (50 mL, 0,5 M NaCl içeren pH 7 su içerisinde) standart kaplara doldurularak ve kapakları kapatıldıktan sonra ısıtma işlemi (90°C, 15 dk) tabii tutulmuştur. Süre sonunda buzlu su içerisinde soğutulduktan sonra jelleşmenin tamamlanması amacıyla buzdolabında bir gece bekletilmiştir. Oluşan jelin

sertliği tekstür analiz cihazı (TA.XT2, Plus, Stable Microsystems, İngiltere) ile analiz edilmiştir.

3.4.12. İstatistiksel analizler

Kurutma denemeleri faktöriyel deneme desenine göre yürütülmüştür. Bu amaçla 3 farklı örnek * 2 farklı form * 6 farklı sıcaklık *2 tekerrür içeren 72 kurutma içeren deneme deseni hazırlanmıştır. Tüm kurutma denemeleri 2 tekerrürlü olarak gerçekleştirilmiştir. Analizler paralelli olarak yürütülmüştür. Elde edilen veri varyans analizine tabi tutulmuş, önemli farklılıklar Duncan çoklu karşılaştırma testi ile belirlenmiştir.

4. ARAŞTIRMA SONUÇLARI VE TARTIŞMA

4.1. Yumurta Akı Kurutma Sonuçları

4.1.1. Kuru madde miktarı ve su aktivitesi

Kuru madde miktarı ve su aktivitesi, gıda ürünlerinin depolama stabilitesini belirleyen kritik faktörlerdir. Tontul ve Topuz (2017b), 0.3'ten daha düşük su aktivitesine sahip gıda tozlarının mikrobiyolojik ve kimyasal olarak daha güvenli olduğunu belirtmişlerdir. Kırınım pencereleli kurutma işleminin sonunda elde edilen yumurta akı tozlarının nem ve su aktivitesi değerleri Çizelge 4.1'de belirtilmiştir. Yumurta akı tozu örneklerinin kuru madde içeriği 95.0-97.0 g/100 g arasında, su aktivitesi ise 0.139-0.225 arasında değişim göstermiştir. Örnekler kurutulurken mümkün olduğunca benzer nem içeriğine kadar kurutulmaya çalışılmıştır. Buna rağmen, su aktiviteleri arasında daha geniş bir farklılık görülmüştür. Nitekim doğal formda 100°C'de kurutulmuş, köpük formda ise 50°C'de kurutulmuş örneklerin su aktivitesi diğer sıcaklıklara göre daha yüksek olarak belirlenmiştir. Ndife ve ark. (2010) yaptıkları çalışmada, etüvde kurutulan yumurta akının nem içeriğini, %4.32 olarak belirlemiştir. Bu nedenle sonuçlar literatür ile uyumludur.

Çizelge 4. 1. Kırınım pencereleli kurutma ile farklı şartlarda kurutulmuş yumurta akı tozlarının kuru madde miktarı (g/100g) ve su aktivitesi değerleri¹

Kurutma formu	Sıcaklık (°C)	Kuru madde miktarı (g/100g)	Su aktivitesi
Doğal	50	95.0±0.3	0.167±0.000
	60	95.4±0.4	0.162±0.007
	70	95.4±0.4	0.169±0.011
	80	95.6±0.1	0.184±0.017
	90	95.8±0.8	0.185±0.023
	100	95.0±1.8	0.223±0.076
Köpük	50	95.1±0.0	0.225±0.000
	60	95.7±0.3	0.161±0.028
	70	95.7±0.2	0.158±0.016
	80	97.0±0.9	0.139±0.006
	90	96.1±0.8	0.169±0.021
	100	96.1±0.2	0.142±0.004

¹ortalama±standart sapma

Çizelge 4.2'te görüldüğü üzere kurutma formu ve sıcaklık faktörlerinin yumurta akı tozlarının kuru madde ve su aktivitesi değerleri üzerinde istatistiksel olarak önemli bir etkisinin olmadığı gözlenmiştir (P>0.05).

Çizelge 4. 2. Yumurta akı tozlarının nem miktarı ve su aktivitesi değerlerine ait varyans analiz tablosu

Varyasyon kaynakları	SD	Kuru Madde miktarı		Su aktivitesi	
		KO	F	KO	F
		Kurutma formu (F)	1	2.22	4.32öd
Sıcaklık (S)	5	0.69	1.34öd	0.0008	1.13öd
F×S	5	0.31	0.60öd	0.0021	3.08öd
Hata	12	0.51		0.0007	

öd: önemli değil

Farklı sıcaklıkta kurutularak elde edilen yumurta akı tozların kuru madde miktarı ve su aktivitesi değerlerine ait Duncan çoklu karşılaştırma testi sonuçları Çizelge 4.3'de verilmiştir. Mevcut çalışmanın aksine, Preeti ve ark. (2020) kırınım pencereli kurutma, dondurarak kurutma ve püskürterek kurutma ile üretilen yumurta tozlarının su aktivitesinin önemli düzeyde farklılık gösterdiğini bildirmiştir. Ayrıca kırınım pencereli kurutma sıcaklığının artışı su aktivitesinde önemli azalışa neden olmuştur. Benzer şekilde, Koç ve ark. (2011a) püskürterek kurutma ile yumurta bütünü tozu üretiminde örneklerin nem içeriği ve su aktivitesinin çıkış sıcaklığına bağlı olarak önemli değişim gösterdiğini bildirmiştir. Çalışmalar arasındaki farklılığın kurutma yöntemi ve şartlarındaki değişimler ile kurutma süresinden kaynaklandığı değerlendirilmiştir.

Çizelge 4. 3. Kırınım pencereli kurutma ile farklı şartlarda kurutulmuş yumurta akı tozlarının nem miktarı ve su aktivitesine ait Duncan çoklu karşılaştırma testi sonuçları¹

Varyasyon Kaynakları		Kuru madde miktarı (g/100g)	Su aktivitesi
Kurutma formu	Doğal	95.4±0.2a	0.182±0.009a
	Köpük	95.9±0.2a	0.166±0.009a
Sıcaklık (°C)	50°C	95.1±0.1a	0.196±0.017a
	60°C	95.5±0.2a	0.161±0.008a
	70°C	95.5±0.2a	0.164±0.006a
	80°C	96.3±0.5a	0.161±0.014a
	90°C	96.0±0.3a	0.177±0.010a
	100°C	95.6±0.6a	0.183±0.032a

¹Farklı harfle işaretlenmiş aynı sütundaki aynı varyasyon kaynağına ait ortalamalar istatistiksel olarak birbirinden farklıdır (p<0.05)

4.1.2. Renk özellikleri

Renk, tüketici kabulünü doğrudan etkilediği için kaliteli gıdanın temel özelliklerinden birisidir (Tontul ve ark., 2018c). Gıda tozlarının, renk özellikleri genellikle Hunter L*, a*, b* veya doygunluk ve ton açısı gibi farklı ifadeler ile değerlendirilmektedir. Bir gıda ürününün kurutma sırasındaki renk değişimi, kurutma koşullarının ne kadar şiddetli olduğunun bir göstergesi olup, pigment bileşimi ve konsantrasyonuyla ilişkilidir. Kırınım pencereci kurutma, daha nazik bir kurutma yöntemi olarak bildirilmekte ve bu nedenle esmerleşmeye ve renk parametrelerinde değişime daha az neden olmaktadır (Topuz ve ark., 2009).

Çalışma kapsamında elde edilen yumurta akı tozlarının L* değeri, a* değeri, b* değeri, ton açısı ve doygunluk değerleri Çizelge 4.4'te belirtilmiştir. Yumurta akı tozlarının L* değeri 88.9 ile 96.7 arasında değişim göstermiştir. Çizelge 4.4'te görüldüğü üzere doğal formda kurutulmuş yumurta akı tozlarının L* değeri köpük formda kurutulmuşlara göre düşük olarak belirlenmiştir. Bu sonucun köpük formda kurutmada, kuruma süresinin kısalmasına bağlı olarak enzimatik olmayan esmerleşme reaksiyonlarının daha düşük düzeyde gerçekleşmesinden kaynaklandığı düşünülmüştür. Sıcaklığa bağlı olarak L* değerinin değişimi değerlendirildiğinde, özellikle doğal formda kurutmada L* değerinin sıcaklığa bağlı olarak önemli değişim gösterdiği belirlenmiştir.

Çizelge 4. 4. Kırınım pencereci kurutma ile farklı şartlarda kurutulmuş yumurta akı tozlarının renk özellikleri¹

Kurutma formu	Sıcaklık (°C)	L*	a*	b*	Ton açısı	Doygunluk
Doğal	50	91.3±0.4	-4.6±0.1	29.7±3.3	98.9±0.8	30.1±3.2
	60	92.2±0.2	-5.0±0.0	30.7±0.0	99.2±0.0	31.1±0.0
	70	91.7±0.8	-5.4±0.3	30.1±0.6	100.3±0.8	30.6±0.5
	80	93.5±0.0	-6.0±0.1	26.5±0.2	102.7±0.2	27.2±0.2
	90	92.9±0.1	-5.7±0.3	26.2±0.6	102.4±0.3	26.9±0.7
	100	88.9±1.0	-4.9±0.3	27.7±0.6	100.0±0.7	28.2±0.5
Köpük	50	95.8±1.3	-2.7±0.1	15.6±0.3	99.9±0.7	15.8±0.3
	60	96.3±0.2	-3.0±0.2	15.4±0.3	101.0±0.7	15.6±0.4
	70	96.7±0.5	-2.7±0.2	13.6±0.4	101.1±0.4	13.9±0.4
	80	96.6±0.1	-2.9±0.2	13.3±0.2	102.2±0.5	13.6±0.3
	90	95.5±0.3	-3.5±0.1	14.5±0.4	103.6±0.6	14.9±0.4
	100	96.7±0.2	-3.5±0.1	14.6±0.6	103.5±0.4	15.0±0.6

¹ortalama±standart sapma

Yumurta akı örneklerine ait a* değeri -6.0 ile -2.7 aralığında değişim göstermiştir (Çizelge 4.4). Doğal formda kurutulan yumurta tozlarının a* değeri, köpük formda kurutulanlara göre daha düşük tespit edilmiştir. Bir çalışmada, dondurularak kurutulan

ördek yumurta akı proteinin a* değeri -3.26 olarak tespit edilmiştir (Zhou ve ark., 2014). Bu nedenle sonuçların benzer olduğu söylenebilir.

Doğal formda kurutulmuş yumurta akı tozlarının b* değeri 26.2-30.7, köpük formda kurutulmuş örneklerin değeri ise 13.3-15.6 aralığında tespit edilmiştir (Çizelge 4.4). Ortalama olarak doğal formda kurutulmuş örneklerin b* değeri, köpük formda kurutulmuşlara göre 2 kat daha yüksek olarak belirlenmiştir. Bu durum doğal formda kurutulmuş yumurta akı tozlarında esmerleşmeye bağlı olarak önemli bir sarılık oluştuğunu göstermektedir.

Ton açısı değeri, algılanan rengin özelliğidir (Lee, 2000). Yumurta akı tozlarının ton açısı değeri 98.9 ile 103.6 arasında değişim göstermiştir (Çizelge 4.4). Aynı sıcaklıkta köpük formda kurutulan örneklerin ton açısı değeri, doğal formda kurutulana kıyasla daha yüksek olarak belirlenmiştir.

Doygunluk değeri, renk tonunun gücünü veya baskınlığını göstermektedir. Yumurta tozlarının doymunluk değeriindeki artma, rengin beyazdan sarıya doğru döndüğü dolayısıyla esmerleştiğini göstermektedir. Yumurta akı tozlarının doymunluk değeri 13.6 ile 31.1 aralığında bulunmuştur (Çizelge 4.4). Köpük formda kurutulmuş yumurta akı tozlarının doymunluk değeri, doğal formda kurutulmuş örneklere kıyasla daha düşük olarak belirlenmiştir. Kurutma sıcaklıkları arasında en düşük doymunluk değeri 80°C gözlenirken bunu sırasıyla 90°C ve 100°C’de kurutma takip etmiştir.

Varyans analiz sonuçlarına göre kurutma formu ve sıcaklık tek başlarına tüm renk parametreleri üzerine önemli etki ($p<0.01$) göstermiştir. Kurutma formu \times sıcaklık interaksyonu ise L*, a* ve ton açısı üzerine etkili ($p<0.01$) bulunmuştur (Çizelge 4.5).

Çizelge 4. 5. Yumurta akı tozlarının renk değerlerine ait varyans analiz tablosu

Varyasyon kaynakları	SD	L*		a*		b*		Ton açısı		Doygunluk	
		KO	F	KO	F	KO	F	KO	F	KO	F
Kurutma formu (F)	1	121.4	364.3**	29.7	892.3**	1175.94	1109.3**	10.5	33**	1205.1	1159.1**
Sıcaklık (S)	5	2.4	7.2**	0.5	13.8**	6.2	5.84**	7.90	24.9**	5.42	5.2**
F×S	5	3.4	10.1**	0.4	11.78**	2.95	2.8öd	1.8	5.6**	2.95	2.84öd
Hata	12		0,3		0,03		1.06		0.32		1.04

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

Duncan çoklu karşılaştırma testi sonuçlarına köpük formda kurutulmuş örneklerin L* değeri, doğal formda kurutulmuşlara göre 5 puan daha yüksek olarak tespit edilmiştir. Bu durum doğal formda kurutma süresinin uzamasına bağlı olarak daha fazla gerçekleşen esmerleşme reaksiyonlarından kaynaklanmıştır. Pérez-Reyes ve ark. (2021) yaptıkları çalışmada, daha yüksek a_w içeriğine sahip ve daha uzun kuru ısıtma (dry-heating) süresine maruz kalan yumurta akı tozlarının parlaklık değerinin ($L^*=91.7$) önemli ölçüde yüksek olduğunu gözlemişlerdir. En düşük L* değeri 100°C'de kurutulmuş örneklerde tespit edilmiş olup bunu 50°C'de kurutulan örnekler izlemiştir. 100°C'de kısa sürede kurutmaya karşın çok hızlı gerçekleşen esmerleşme reaksiyonlarına bağlı olarak L* değerinde azalma gözlenmiştir. 50°C'de kurutmada ise yavaş ancak daha uzun süreli gerçekleşen esmerleşme reaksiyonlarından kaynaklı olarak düşük L* değeri elde edildiği düşünülmektedir. Kurutma sıcaklıkları açısından incelendiğinde en yüksek L* değeri 80°C'de tespit edilmiştir. Katekhong ve Charoenrein (2017), konvektif kurutma ile üretilen yumurta akı tozlarının L* değerinin, dondurarak kurutulanlara göre daha düşük olduğunu bildirmiştir. Zhou ve ark. (2014), dondurarak kurutma ile elde ettikleri ördek yumurta akı protein tozunun L* değerini 97.41 olarak belirlemiştir. Çalışmada elde edilen bulgular literatür ile uyum göstermiştir.

Köpük kurutma ile üretilen yumurta akı tozlarının a^* değeri, doğal formda kurutulanlara kıyasla daha yüksek olarak bulunmuştur. Kurutma sıcaklığının 50°C'den 90°C'ye yükseltilmesi a^* değerinde kademeli olarak azalmaya yol açmıştır (Çizelge 4.6). Bu durum esmerleşmeye bağlı olarak kahverengiliğin artışı göstermektedir.

Çizelge 4. 6. Kırınım pencereleli kurutma ile farklı şartlarda kurutulmuş yumurta akı tozlarının renk özelliklerine ait Duncan çoklu karşılaştırma testi sonuçları¹

Varyasyon Kaynakları		L*	a*	b*	Ton açısı	Doygunluk
Kurutma formu	Doğal	91.8±0.5b	-5.3±0.2b	28.5±0.6a	100.6±0.5b	29.0±0.6a
	Köpük	96.3±0.2a	-3.0±0.1a	14.5±0.3b	101.9±0.4a	14.8±0.3b
Sıcaklık (°C)	50°C	93.5±1.3bc	-3.7±0.6a	22.7±4.2ab	99.4±0.4d	23±4.2ab
	60°C	94.2±1.2ab	-4.0±0.6b	23.0±4.4a	100.1±0.6cd	23.4±4.5a
	70°C	94.2±1.5ab	-4.1±0.8b	21.9±4.8abc	100.7±0.3cd	22.2±4.8abc
	80°C	95.1±0.9a	-4.4±0.9cd	19.9±3.8d	102.5±0.2ab	20.4±3.9d
	90°C	94.2±0.8ab	-4.6±0.7d	20.4±3.4cd	103.0±0.4a	20.9±3.5cd
	100°C	92.8±2.3c	-4.2±0.4bc	21.2±3.8bcd	101.8±1.1b	21.6±3.8bcd

¹Farklı harfle işaretlenmiş aynı sütundaki aynı varyasyon kaynağına ait ortalamalar istatistiksel olarak birbirinden farklıdır (p<0.05)

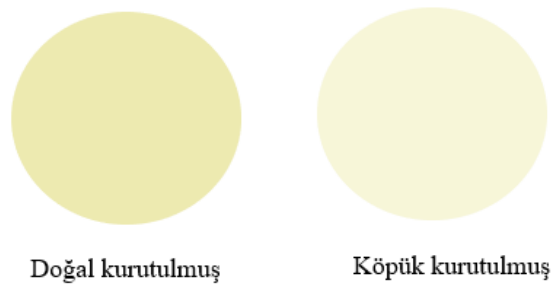
Ham veri sonuçlarında da değinildiği üzere doğal formda kurutulan yumurta akı tozlarının b* değeri, köpük formda kurutulanlara kıyasla 2 kat daha yüksek olarak

belirlenmiştir. Kurutma sıcaklıkları karşılaştırıldığında en düşük b^* değeri 80°C kurutma sıcaklığında gözlenmiş, ancak 90 ve 100°C 'de kurutulmuş örneklerin b^* değeri, 80°C ile istatistiksel olarak benzer bulunmuştur (Çizelge 4.6). Katekhong ve Charoenrein (2017) tarafından gerçekleştirilen bir çalışmada konvektif kurutma ile kurutulmuş yumurta akı tozlarının b^* değeri yaklaşık 45, dondurularak kurutulmuş yumurta akı tozlarının b^* değeri ise yaklaşık 20 olarak tespit edilmiştir. Yapılan başka bir çalışmada ördek yumurta akı protein tozunun dondurularak kurutma ile elde edilmesinde b^* değeri 8.15 olarak belirlenmiştir (Zhou ve ark., 2014). Wu ve ark. (2015) tarafından gerçekleştirilen bir çalışmada, darbeli yanmalı püskürtmeli kurutma tekniği ile elde edilen yumurta akı tozları beyaz bir renge sahipken, standart püskürtmeli kurutucu ile elde edilen tozlar soluk sarı bir renge sahip olmuştur.

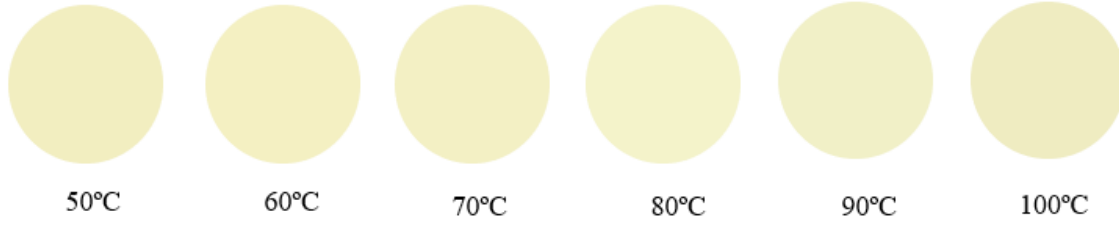
Duncan çoklu karşılaştırma testi sonuçlarına göre köpük formda kurutulmuş yumurta akı tozlarının ton açısı değeri, doğal formda kurutulmuş olanlara göre istatistiksel olarak önemli düzeyde yüksek bulunmuştur. Kurutma sıcaklığının 50°C 'den 90°C 'ye artırılması ton açısı değerinin artmasına neden olmuştur (Çizelge 4.6).

Yumurta akı tozlarının doygunluk değerleri köpük kurutma ve daha düşük kurutma sıcaklıklarında azalış göstermiştir. Doğal formda kurutma ve daha yüksek kurutma sıcaklıkları esmerleşme reaksiyonlarını teşvik ederek doygunluk değerinin artmasına neden olmuştur (Çizelge 4.6).

Yumurta tozlarına ait L^* , a^* ve b^* değerlerini kullanılarak Nix sensor adlı site aracılığıyla (<https://www.nixsensor.com/free-color-converter/>) alınan renk çıktısı Şekil 4.1 ve Şekil 4.2' de verilmiştir.



Şekil 4. 1. Kırınım pencereleli kurutma ile farklı formlarda kurutulmuş toz yumurta akı örneklerine ait renk çıktısı



Şekil 4. 2. Kırınım pencereleli kurutma ile farklı sıcaklıklarda kurutulmuş toz yumurta akı örneklerine ait renk çıktısı

4.1.3. Yoğunluk, akış özellikleri ve porozite

Yığın yoğunluğu, bir gıda malzemesinin paketlenebilme özelliğidir. Yığın yoğunluğu, toz parçacıklarının boyutuna, şekline ve yüzey özelliklerine bağlıdır. Pürüzsüz ve düzgün bir yüzeye sahip toz gıdalar daha yüksek yığın yoğunluğuna sahiptir. Daha düşük yığın yoğunluğuna sahip toz gıdalar, aynı miktarda malzeme için daha fazla paket hacmine ihtiyaç duyar. Genel olarak, parçacık boyutunda bir azalma daha fazla parçacığın belirli bir hacmi işgal etmesine neden olmakta ve bu durum parçacıklar arasındaki boşluğu azaltarak yığın yoğunluğunu arttırmaktadır (Grabowski ve ark., 2006).

Yumurta akı tozlarının yoğunluk özellikleri yığın yoğunluğu, sıkıştırılmış yoğunluk ve parçacık yoğunluğu olmak üzere 3 farklı kritere göre analiz edilmiştir. Örneklerin yığın yoğunluğu $0.184-0.653 \text{ g/cm}^3$, sıkıştırılmış yoğunluğu $0.292-0.761 \text{ g/cm}^3$ ve parçacık yoğunluğu $1.14-8.75 \text{ g/cm}^3$ arasında aralığında değişim göstermiştir (Çizelge 4.7). Köpük formda kurutulmuş tozlar, doğal formda kurutulmuş alternatiflerine kıyasla daha düşük yığın yoğunluğu ve sıkıştırılmış yoğunluk değerlerine ancak daha yüksek parçacık yoğunluğuna sahip olmuştur. Kurutma sıcaklığının artışı yığın yoğunluğu ve sıkıştırılmış yoğunluk değerlerinde azalmaya neden olmuştur. Parçacık yoğunluğu ise kurutma sıcaklığına bağlı olarak varyasyon göstermiştir.

Bicudo ve ark. (2015) tarafından yapılan çalışmada juçara pulpu tozu için $0.20-0.37 \text{ g/cm}^3$ arasında değiştiği gözlemlenmiştir. Bu çalışmada tüm taşıyıcı ajanlar için, parçacık boyutu azaldıkça yığın yoğunluğu artmıştır. Bu durum parçacık boyutu gibi toz özelliklerinin yığın yoğunluğunda önemli değişikliklere neden olabileceğini göstermiştir. Yüksek yığın yoğunluğu, nakliye ve paketleme maliyetlerini azaltmak için arzu edilirken,

aglomere ürünlerde görüldüğü gibi düşük yığın yoğunluğu, akışkanlık ve instant özellikler gibi diğer toz özelliklerini etkilemektedir.

Çizelge 4. 7. Kırınım pencereleli kurutma ile farklı şartlarda kurutulmuş yumurta akı tozlarının yoğunlukları, akış özellikleri ve porozitesi¹

Kurutma formu	Sıcaklık (°C)	Yığın yoğunluğu (g/cm ³)	Sıkıştırılmış yoğunluk (g/cm ³)	Parçacık yoğunluğu (g/cm ³)	Carr indeksi	Hausner oranı	Porozite (%)
Doğal	50	0.641±0.022	0.760±0.050	1.88±0.00	15.6±2.7 ^b	1.19±0.04 ^b	54.2±3.2
	60	0.653±0.004	0.761±0.033	1.65±0.27	14.1±3.1 ^a	1.16±0.04 ^a	52.2±10.3
	70	0.606±0.044	0.703±0.037	1.46±0.29	13.8±1.8 ^a	1.16±0.02 ^a	51.1±7.4
	80	0.594±0.009	0.704±0.025	1.29±0.06	15.6±1.8 ^b	1.19±0.02 ^b	45.5±0.5
	90	0.550±0.000	0.680±0.026	1.29±0.06	19.1±3.1 ^b	1.24±0.05 ^b	47.3±0.3
	100	0.519±0.027	0.664±0.011	1.14±0.87	21.9±2.7 ^c	1.28±0.04 ^c	53.0±0.0
Köpük	50	0.313±0.000	0.449±0.008	8.75±1.77	30.3±1.3 ^d	1.44±0.03 ^d	94.4±1.5
	60	0.306±0.009	0.432±0.001	6.25±1.77	29.1±2.2 ^d	1.42±0.05 ^d	92.4±1.5
	70	0.291±0.004	0.428±0.010	8.75±1.77	32.2±0.4 ^e	1.48±0.01 ^e	94.6±1.5
	80	0.269±0.009	0.398±0.017	4.17±0.00	32.2±0.4 ^e	1.48±0.01 ^e	90.1±0.3
	90	0.197±0.013	0.292±0.004	1.19±0.09	32.5±5.3 ^e	1.49±0.13 ^e	75.2±1.8
	100	0.184±0.004	0.323±0.020	5.00±1.77	42.5±5.3 ^f	1.76±0.14 ^f	89.8±0.0

¹ortalama±standart sapma

Toz örneklerin akış özelliklerinin değerlendirilmesi amacıyla yığın ve sıkıştırılmış yoğunluklar kullanılarak Carr indeksi ve Hausner oranı hesaplanmıştır. Bu iki özellik, tozların akışkanlığını göstermektedir. Genel ilke olarak düşük Carr indeksi veya Hausner oranı, daha iyi akış özelliklerini göstermektedir (Shishir ve ark., 2014). Doğal formda kurutulan örneklerin Carr indeksi 13.8-21.9 arasında, Hausner oranı ise 1.16-1.28 arasında değişim göstermiştir. Bu örneklerden 100°C (geçerli) dışındaki tüm sıcaklıklar iyi ya da orta düzeyde akış özelliği sağlamıştır (Çizelge 4.7). Köpük formda kurutulan örneklerin ise Carr indeksi 29.1-42.5, Hausner oranı ise 1.42-1.76 arasında değişim göstermiştir (Çizelge 4.7). Bu örneklerden 50 ve 60°C'de kurutulanlar zayıf akış özelliğine sahip iken, diğer örnekler çok zayıf ya da çok kötü akış özelliğine sahip olmuştur. Bir çalışmada Koç ve ark. (2014) püskürtülerek üretilen yoğurt tozunun Carr indeksini %27.93 olarak belirlemiştir.

Yumurta akı tozlarının porozitesi %45.5 ile %94.4 arasında değişim göstermiştir (Çizelge 4.7). Köpük kurutulmuş örnekler çok daha yüksek poroziteye sahip olmuştur. Koç ve ark. (2014) çalışmasında püskürtülerek elde ettikleri yoğurt tozunun porozite değerini %36.54 olarak belirlemiştir.

Varyans analizi sonuçlarına göre kurutma formu ve sıcaklığının yumurta akı tozlarının yığın yoğunluğu, sıkıştırılmış yoğunluk ve parçacık yoğunluğu üzerinde önemli ($p<0.01$) etkisi olduğu belirlenmiştir (Çizelge 4.8). Kurutma formu×sıcaklık

interaksiyonunun ise yalnızca parçacık yoğunluğu üzerine istatistiksel olarak önemli ($p<0.01$) etkisi bulunmuş, sıkıştırılmış ve yığın yoğunluğu değerleri üzerine istatistiksel olarak önemli etkide ($p>0.05$) bulunmamıştır (Çizelge 4.8).

Çizelge 4.8’de verilen varyans analizi sonuçlarına göre Carr indeksi, Hausner oranı ve porozite değerleri üzerinde kurutma formu ve sıcaklığının önemli ($p<0.01$) etkisinin olduğu görülmüştür. Kurutma formu×sıcaklık interaksiyonun ise bu değerler üzerinde istatistiksel olarak önemli etkide ($p>0.05$) bulunmamıştır.

Çizelge 4. 8. Yumurta akı tozlarının yığın, sıkıştırılmış, parçacık, carr, hausner, porozite değerlerine ait varyans analiz tablosu

Varyasyon kaynakları	SD	Yığın yoğunluğu		Sıkıştırılmış yoğunluk		Parçacık yoğunluğu		Carr indeksi		Hausner oranı		Porozite	
		KO	F	KO	F	KO	F	KO	F	KO	F	KO	F
Kurutma formu (F)	1	0.67	2220.98**	0.63	1046.76**	107.52	96.09**	1625.26	189.84**	0.57	146.38**	107.52	96.09**
Sıcaklık (S)	5	0.01	37.91**	0.01	16.65**	9.53	8.52**	58.77	6.87**	0.028	7.30**	9.53	8.52**
F×S	5	0.0002	0.65öd	0.001	2.4öd	7.46	6.67**	7.13	0.83öd	0.008	2.02öd	7.46	6.67öd
Hata	12	0.0003		0.0006		1.12		8.56		0.004		1.12	

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

Duncan çoklu karşılaştırma testi sonuçlarına göre köpük kurutma, doğal formda kurutmaya göre daha düşük yığın yoğunluğu ve sıkıştırılmış yoğunluğa neden olurken, daha yüksek parçacık yoğunluğu sağlamıştır. Kurutma sıcaklığının artışı genel olarak daha düşük yoğunluk değerlerine neden olmuştur. Pérez-Reyes ve ark. (2021) yumurta akı toz örneklerinin yığın yoğunlukları (yığın yoğunluğu - sıkıştırılmış yoğunluk), artan kuru ısıtma süresi ile arttığını bildirmişlerdir. Su aktivitesi 0.45 olan yumurta tozu örneklerinin yığın yoğunluğu 356.4' ten 374.4 kg/m³'e yükselirken, sıkıştırılmış yığın yoğunluğu 543.2'den 568.1 kg/m³'e yükseldiği gözlenmiştir. Bu yoğunluk artışları, yumurta akı proteinlerinin denatürasyonu ile ısıtma süresinin artmasıyla ilişkili bulunmuştur (Perez-Gago ve Krochta, 2001; Nishad ve ark., 2017).

Yumurta akı tozları için elde edilen yığın yoğunluğu ve sıkıştırılmış yoğunluk değerleri, süt ve yoğurt tozları gibi diğer yüksek proteinli ürünlere benzer bulunmuştur (Ortega-Rivas ve ark., 2006; Koç ve ark., 2014).

Doğal formda kurutulmuş örnekler, köpük formda kurutulmuş örneklere kıyasla daha üstün akış özelliklerine sahip olmuştur. 50°C ile 90°C arasında kurutma sıcaklıkları benzer akış özellikleri sağlamıştır (Çizelge 4.9). Ancak 100°C'de kurutma akış özelliklerinin kötüleşmesine neden olmuştur. 100°C'de kurutulmuş örneklerin yüzeyinde meydana gelen kimyasal değişimler (esmerleşme reaksiyon ürünleri, protein denatürasyonu, oksidasyon vb.) akış özelliklerinin kötüleşmesine neden olmuş olabilir.

Beklendiği üzere köpük formda kurutulan örneklerin porozitesi, doğal formda kurutulan örneklere kıyasla daha yüksek olarak bulunmuştur (Çizelge 4.9). Porozite özellikle depolama süresince oksidasyon reaksiyonlarını teşvik etme potansiyeli nedeniyle önem arz etmektedir. Duncan çoklu karşılaştırma testi sonuçlarına göre 90°C'de kurutma diğer sıcaklıklara göre daha düşük porozite sağlamıştır.

Çizelge 4. 9. Kırınım pencereleli kurutma ile farklı şartlarda kurutulmuş yumurta akı tozlarının yoğunluk, akış özellikleri ve porozitesine ait Duncan çoklu karşılaştırma Testi sonuçları¹

Varyasyon Kaynakları		Yığın yoğunluğu (g/cm ³)	Sıkıştırılmış yoğunluk (g/cm ³)	Parçacık yoğunluğu (g/cm ³)	Carr indeksi	Hausner oranı	Porozite (%)
Kurutma formu	Doğal	0.59±0.02a	0.71±0.01a	1.45±0.11b	16.7±1.0b	1.20±0.02b	50.5±1.5b
	Köpük	0.26±0.02b	0.39±0.02b	5.68±0.86a	33.1±1.5a	1.51±0.04a	89.4±2.0a
Sıcaklık (°C)	50°C	0.48±0.09a	0.60±0.09a	5.31±2.05a	23.0±4.3b	1.31±0.07b	74.3±11.7a
	60°C	0.48±0.10a	0.60±0.10a	3.95±1.43ab	21.6±4.5b	1.29±0.07b	72.3±12.0a
	70°C	0.45±0.09b	0.57±0.08ab	5.10±2.17a	23.0±5.3b	1.32±0.09b	72.8±12.7a
	80°C	0.43±0.09b	0.55±0.09b	2.73±0.83bc	23.9±4.8b	1.33±0.09b	67.8±12.9a
	90°C	0.37±0.10c	0.49±0.11c	1.24±0.04c	25.8±4.3b	1.37±0.08b	61.2±8.1b
	100°C	0.35±0.10c	0.49±0.10c	3.07±1.25b	32.2±6.2a	1.52±0.15a	71.4±10.6a

¹Farklı harfle işaretlenmiş aynı sütundaki aynı varyasyon kaynağına ait ortalamalar istatistiksel olarak birbirinden farklıdır (p<0.05)

4.1.4. Protein oranı, denatürasyon entalpisi, higroskopisite ve yüzey hidrofobisitesi

Yumurta akı tozlarının protein oranı %76.4-%79.4 arasında değişim göstermiştir (Çizelge 4.10). Elde edilen sonuçlar Preethi ve ark., (2020) tarafından kırınım pencereleli kurutma ile kurutulmuş yumurta akı tozları için bildirilen değerler ile uyumludur.

Çizelge 4. 10. Kırınım pencereleli kurutma ile farklı şartlarda kurutulmuş yumurta akı tozlarının protein oranı, denatürasyon entalpisi, higroskopisitesi ve yüzey hidrofobisitesi¹

Kurutma formu	Sıcaklık (°C)	Protein oranı (%)	Denatürasyon entalpisi (J/g)	Higroskopisite (%)	Yüzey hidrofobisitesi (%)
Doğal	50	77.0±0.3	0.30±0.10	33.3±0.1	61.4±1.6
	60	77.9±0.4	0.86±0.12	33.2±0.6	41.0±2.8
	70	78.8±0.7	0.84±0.41	33.3±0.2	64.3±9.5
	80	79.3±0.2	0.70±0.41	33.7±0.3	77.5±12.4
	90	78.7±0.3	0.39±0.04	33.4±0.9	73.4±1.2
	100	78.7±0.4	0.13±0.06	33.5±0.2	74.5±6.0
Köpük	50	76.4±0.1	0.84±0.40	35.7±0.5	48.5±10.3
	60	77.3±0.1	0.93±0.63	35.1±1.0	52.1±19.3
	70	78.5±0.6	0.95±0.24	36.1±0.4	49.1±14.7
	80	79.4±0.1	1.00±0.73	34.9±0.6	77.1±4.8
	90	78.3±0.8	0.16±0.09	35.1±0.5	62.4±13.3
	100	78.5±1.2	0.31±0.22	34.8±0.5	66.3±2.5

¹ortalama±standart sapma

Yumurta akı tozlarının protein denatürasyonu 73.92-87.80°C sıcaklıkları arasında meydana gelmiş (Ek 1) ve denatürasyon entalpisi 0.13-1.00 J/g arasında tespit edilmiştir (Çizelge 4.10).

Doğal formda kurutulmuş yumurta akı tozlarının higroskopisitesi %33.2-%33.7 arasında, köpük formda kurutulmuşların ise %34.8-36.1 arasında değişim göstermiştir. Bu nedenle köpük formda kurutmanın higroskopisitesinde artışa neden olduğu söylenebilir.

Yumurta akı tozlarının yüzey hidrofobisitesi %41.0-%77.5 olarak tespit edilmiştir (Çizelge 4.10).

Varyans analizi sonuçlarına göre kurutma formu sadece higroskopisite değeri üzerine etkili ($p < 0.01$) bulunmuştur. Sıcaklık değeri ise protein ve yüzey hidrofobisitesi üzerine önemli etki göstermiştir (Çizelge 4.11). Kurutma formu \times sıcaklık interaksyonu ise bu değerler üzerine istatistiksel olarak önemli bir etki göstermemiştir.

Çizelge 4. 11. Kırınım pencereless kurutma ile farklı şartlarda kurutulmuş yumurta akı tozlarının protein oranı denatürasyon entalpisi, higroskopisite ve yüzey hidrofobisitesine ait varyans analiz tablosu

Varyasyon kaynakları	SD	Protein		Entalpi		Higroskopisite		Yüzey	
		KO	F	KO	F	KO	F	KO	F
Kurutma formu (F)	1	0.62	2.15öd	0.16	1.22öd	21.22	74.06**	222.04	2.24öd
Sıcaklık (S)	5	3.50	12.21**	0.38	2.97öd	0.182	0.64öd	524.03	5.29**
F\timesS	5	0.08	0.27öd	0.06	0.50öd	0.372	1.30öd	97.09	0.98öd
Hata	12	0.287		1.30		0.291		99.06	

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

Varyans analiz sonuçları kurutma formunun protein oranı üzerine etkisinin olmadığını göstermiştir. Ancak kurutma sıcaklığı önemli etki göstermiştir. En düşük protein oranı 50°C kurutulmuş örneklerde tespit edilmiş ve bunu 60°C sıcaklıkta kurutulmuş örnek izlemiştir. Diğer kurutma sıcaklıkları benzer protein oranı sağlamıştır (Çizelge 4.12). 50 ve 60°C’de kurutulmuş örneklerin protein oranının düşük olması, bu sıcaklıklarda kurutma süresinin uzun olması ve daha fazla Maillard reaksiyonu meydana gelmesi ile mevcut serbest amino asitlerin kaybedilmesinden kaynaklandığı düşünülmektedir.

Farklı formda kurutulmuş yumurta akı tozlarının denatürasyon entalpisi istatistiksel olarak benzer bulunmuştur. Kurutma sıcaklıkları karşılaştırıldığında 60-80°C sıcaklıklarda en yüksek denatürasyon entalpisi belirlenmiş ve bu sıcaklıkları sırasıyla 50°C, 90°C ve 100°C’de kurutulmuş örnekler izlemiştir (Çizelge 4.12). Denatürasyon entalpisinin azalması ikincil protein yapısının kaybını göstermektedir (Ma ve Harwalkar 1991). Bu nedenle çok düşük ve yüksek sıcaklıklarda kırınım pencereless kurutma uygulamasının ikincil protein yapısında değişimlere neden olduğu söylenebilir.

Higroskopisite toz gıdaların çevresel nemi absorbe etme yeteneği olarak tanımlanır. Yüksek higroskopisite, topaklanma eğiliminin artması anlamına geldiğinden, düşük olması istenmektedir (Tontul ve Topuz 2017b). Nurhadi ve ark. (2012) higroskopisite değeri %20'den fazla olan tozların, higroskopik olarak değerlendirilebileceğini bildirmiştir. Yumurta akı tozlarının higroskopisite değeri %33.4'den yüksek olduğundan (Çizelge 4.11) örneklerin orta düzeyde higroskopisiteye sahip olduğu sonucuna varılmıştır. Daha yüksek poroziteye sahip olan köpük formda kurutulmuş toz ürünlerin, doğal formda kurutulanlara göre daha yüksek higroskopisiteye sahip olduğu tespit edilmiştir. Kurutma sıcaklığının higroskopisite üzerine önemli bir etkisinin olmadığı görülmüştür (Çizelge 4.11).

Kurutma formunun yüzey hidrofobitesini üzerine önemli bir etkisi bulunmadığı belirlenmiştir (Çizelge 4.12). Ancak kurutma sıcaklığı, yüzey hidrofobitesini değerleri üzerine önemli ($p<0.01$) etki göstermiştir. En yüksek yüzey hidrofobitesini değeri 80°C'de kurutulmuş örnekte belirlenmiş olup, 90 ve 100°C'de kurutulmuş örneklerin değeri istatistiksel olarak 80°C'ye benzer bulunmuştur. Genel olarak düşük kurutma sıcaklıkları daha düşük yüzey hidrofobitesine neden olmuştur. Yüzey hidrofobitesini denatürasyona bağlı olarak artış göstermektedir. Nitekim farklı sıcaklıklarda ısı işleme maruz bırakılan pirinç protein izolatlarında sıcaklık artışı yüzey hidrofobitesinde artışa neden olmuştur (Ju ve ark., 2001). Ancak yüzey hidrofobitesinin artışı genellikle daha iyi sürfaktan özellikleri sağlamaktadır (Mune ve Sogi, 2016). Bu nedenle 80°C ve üzerindeki kurutma sıcaklıklarının denatürasyona neden olduğu söylenebilir.

Çizelge 4. 12. Kırınım pencereleli kurutma ile farklı şartlarda kurutulmuş yumurta akı tozlarının protein oranı denatürasyon entalpisi, higroskopisite ve yüzey hidrofobitesine ait Duncan Çoklu Karşılaştırma Testi sonuçları¹

Varyasyon Kaynakları		Protein oranı (%)	Denatürasyon entalpisi (J/g)	Higroskopisite (%)	Yüzey hidrofobitesini (%)
Kurutma formu	Doğal	78.4±0.2a	0.54±0.1a	33.4±0.1b	65.3±4.0a
	Köpük	78.1±0.3a	0.7±0.14a	35.3±0.2a	59.3±4.1a
Sıcaklık (°C)	50°C	76.7±0.2c	0.57±0.2abc	34.5±0.7a	54.9±4.8bc
	60°C	77.6±0.2b	0.89±0.19a	34.2±0.6a	46.6±6.5c
	70°C	78.6±0.3a	0.9±0.14a	34.7±0.8a	56.7±6.7bc
	80°C	79.4±0.1a	0.85±0.26ab	34.3±0.4a	77.3±3.8a
	90°C	78.5±0.3a	0.28±0.07bc	34.2±0.6a	67.9±5ab
	100°C	78.6±0.4a	0.22±0.08c	34.2±0.4a	70.4±3ab

¹Farklı harfle işaretlenmiş aynı sütundaki aynı varyasyon kaynağına ait ortalamalar istatistiksel olarak birbirinden farklıdır ($p<0.05$)

4.1.5. Çözünürlük, emülsiyon stabilitesi ve jelleşme

Çözünürlük, toz gıdanın sulu bir çözelti içindeki davranışını değerlendirmek için en güvenilir kriterlerden birisidir. Bu parametre, toz gıdaların suda çözelti veya süspansiyon oluşturma yeteneğini ifade etmektedir (Bicudo ve ark., 2015).

Örneklerin çözünürlüğü farklı kurutma şartlarında %44.7 ile %99.5 arasında değişmiştir (Çizelge 4.13). Genel olarak köpük formda kurutulmuş örnekler, doğal formda kurutulanlara göre daha yüksek çözünürlüğe sahip olmuştur. Ndife ve ark. (2010) tarafından yapılan çalışmada etüvde kurutmada, en yüksek çözünürlük yumurta akında kaydedilmiştir (%96), bunu yumurta bütünü (%92) ve yumurta sarısı (%88) tozları takip etmiştir.

Çizelge 4. 13. Kırınım pencereless kurutma ile farklı şartlarda kurutulmuş yumurta akı tozlarının çözünürlük, emülsiyon stabilitesi ve jel sertliği¹

Kurutma formu	Sıcaklık (°C)	Çözünürlük (%)	Emülsiyon stabilitesi (%)	Jel sertliği (N)
Doğal	50	44.7±0.8	100±0.0	200.7±27.6
	60	46.6±1.1	100±0.1	189.3±40.8
	70	50.2±1.0	100±0.0	237.0±38.4
	80	49.9±3.5	100±0.1	257.7±63.5
	90	51.6±0.3	100±0.0	207.9±55.2
	100	53.0±2.3	100±0.0	166.0±29.7
Köpük	50	82.0±6.7	100±0.1	298.3±62.2
	60	85.4±0.9	100±0.0	167.4±0.0
	70	80.2±0.9	100±0.0	193.4±10.8
	80	82.9±1.6	100±0.1	314.8±79.1
	90	99.5±1.9	100±0.0	166.5±7.7
	100	89.8±1.8	100±0.0	136.4±20.7

¹ortalama±standart sapma

Örneklerin emülsiyon stabilize edici etkisi elektrik iletkenliği ölçüm yöntemi ile belirlenmiştir. Örnekler kullanılarak hazırlanan emülsiyonların elektriksel iletkenliği analiz boyunca değişim göstermemiştir. Bu nedenle yumurta akı tozları yüksek emülsiyon stabilitesi sağlamıştır. Ndife ve ark. 2010, yumurta akı tozu için etüvde kurutmada emülsifikasyon stabilitesini % 14.70 bulmuştur.

Dondurarak ve mikrodalga vakum kurutma yöntemleri ile kurutulmuş protein numunelerinin daha yüksek emülsifikasyon stabilite indeksi değeri sağlanmasının, mikrodalga etkisi ile proteinlerin hidrofilik ve hidrofobik gruplarında gerilimlerin oluşturduğu ve buna bağlı olarak polar ve apolar kısımların yağ-su ara yüzeyinde maruz kalması ile emülsifiye edici aktivitelerini artabileceği bildirilmiştir (Kato ve ark., 1989; Damodaran ve ark., 2007).

Jel dokusu büyük ölçüde protein denatürasyonuna bağlıdır (Franke ve Kießling 2002; Campbell ve ark., 2003). Doğal formda kurutulmuş örneklerin jel sertliği 166.0-257.7 N, köpük formda kurutulmuş örneklerin jel sertliği ise 136.4-314.8 N arasında tespit edilmiştir (Çizelge 4.13).

Çizelge 4.14'te yumurta akı tozlarının çözünürlük, emülsiyon stabilitesi ve jel sertliğine ait varyans analizi sonuçları görülmektedir. Sonuçlar incelendiğinde sıcaklığın jelleşme üzerine %1 önem seviyesinde önemli etkisi olduğu belirlenmiştir. Kurutma formu, sıcaklık ve iki faktörün interaksyonunun bu etki dışında önemli etkisi olmadığı tespit edilmiştir.

Çizelge 4. 14. Kırınım pencereless kurutma ile farklı şartlarda kurutulmuş yumurta akı tozlarının çözünürlük, emülsiyon stabilitesi ve jel sertliğine ait varyans analiz tablosu

Varyasyon kaynakları	SD	Çözünürlük		Emülsiyon		Jel sertliği	
		KO	F	KO	F	KO	F
Kurutma formu (F)	1	8340	1315.6**	0.0034	4öd	55.82	0.03öd
Sıcaklık (S)	5	84.22	13.3**	0.00052	0.6öd	9896.13	5.26**
F×S	5	37.11	5.85**	0.0009	1öd	3542.03	1.88öd
Hata	12		6.4		0.00086		1882.43

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

Köpük formda kurutulmuş yumurta akı tozlarının çözünürlüğü (%86.6), doğal formda kurutulmuşlara (%49.3) göre önemli düzeyde yüksek olarak tespit edilmiştir (Çizelge 4.13). Köpük kurutmanın neden olduğu daha yüksek porozite ve düşük yüzey hidrofobisitesi, çözünürlük analizinde uygulanan kısa süre içerisinde su ile örneklerin etkileşimini hızlandırarak bu etkiyi gösterdiği değerlendirilmiştir. En yüksek çözünürlük 90°C'de kurutulmuş örneklerde tespit edilmiş olup, bunu 100°C'de kurutulmuş örnek izlemiştir. Ayrıca 50°C-80°C arasında önemli bir farklılık tespit edilmemiştir (Çizelge 4.13).

Kurutma formu jellerin tekstürü üzerine önemli bir etkide bulunmamıştır. Ancak sıcaklık önemli farklılıklara neden olmuştur. En yüksek sertliği 80°C'de kurutulmuş örnekler sağlamışken, en düşük sertlik 100°C'de kurutulmuş örneklerde belirlenmiştir (Çizelge 4.15). Darbeli yanmalı püskürtmeli kurutma tekniği ile kurutulmuş yumurta akı tozlarının jelleşme özelliğinin iyi düzeyde korunduğu bildirilmiştir (Wu ve ark., 2015).

Yapılan başka bir çalışmada, dondurarak kurutma ve sıcak havayla kurutma işlemi, yumurta akının jelleşme özelliklerini etkilememiştir (Katekhong ve Charoenrein, 2017).

Preethi ve ark. (2020) yaptıkları çalışmada yumurta akı jel sertliğinin püskürterek kurutma ile karşılaştırıldığında kırınım pencereless kurutma ve dondurarak kurutmadan daha yüksek olduğu gözlemlenmiştir. Ayrıca farklı kurutma koşullarında işlenen yumurta akı tozundan hazırlanan jellerde belirgin bir farklılık ($p \leq 0.05$) gözlenmiştir. Nitekim 50°C’de kurutulmuş örnekler ile hazırlanan jellerin sertliği, 40 ve 45°C’de kurutulmuş örneklere göre daha düşük olarak tespit edilmiştir.

Çizelge 4. 15. Kırınım pencereless kurutma ile farklı şartlarda kurutulmuş yumurta akı tozlarının çözünürlük, emülsiyon stabilitesi ve jel sertliğine ait Duncan çoklu karşılaştırma testi sonuçları¹

Varyasyon Kaynakları		Çözünürlük (%)	Emülsiyon stabilitesi (%)	Jel sertliği (N)
Kurutma formu	Doğal	49.3±0.9b	100±0a	209.8±13.1a
	Köpük	86.6±2.1a	100±0a	212.8±22.5a
Sıcaklık (°C)	50°C	63.3±10.9c	100±0a	249.5±34.3ab
	60°C	66.0±11.2c	100±0a	178.4±13.4bc
	70°C	65.2±8.7c	100±0a	215.2±17.0bc
	80°C	66.4±9.6c	100±0a	286.2±33.6a
	90°C	75.6±13.8a	100±0a	187.2±20.0bc
	100°C	71.4±10.7b	100±0a	151.2±13.5c

¹Farklı harfle işaretlenmiş aynı sütundaki aynı varyasyon kaynağına ait ortalamalar istatistiksel olarak birbirinden farklıdır ($p < 0.05$)

4.1.6. Köpürme özellikleri

Köpürme kabiliyeti ve köpük stabilitesi, unlu mamüllerin üretiminde yumurta akı proteinlerinin iki önemli işlevidir. Yumurta akı, proteinleri ve benzersiz fonksiyonel özelliği bakımından değerlidir. Genellikle yumurta akı, gıda endüstrisinde köpürtücü ve emülsifiye edici ajan olarak kullanılır (Shweta ve ark., 2020). Gharbi ve Labbafi (2018) yaptıkları çalışmada, yumurta akındaki globulinlerin köpük oluşumundan sorumlu temel bir bileşen olduğunu ve ovomusin köpüğünün stabilitesini sağladığını bildirmiştir.

Çalışma kapsamında elde edilen yumurta akı tozlarının köpük kapasitesi ve köpük stabilitesi değerleri Çizelge 4.16’da belirtilmiştir. Yumurta akı tozlarının köpük kapasitesi 61.5 ile 690 arasında değişim göstermiştir. Çizelge 4.16’da görüldüğü üzere doğal formda kurutulmuş yumurta akı tozlarının köpük kapasitesi, köpük formda kurutulmuşlara göre daha düşük olarak belirlenmiştir. Yapılan bir çalışmada etüvde kurutulmuş yumurta akı tozu %78.30 köpük stabilitesi ve %28.08 köpük kapasitesi göstermiştir (Ndife ve ark., 2010). Kudre ve ark. (2018), dondurularak kurutulmuş tavuk

yumurta sarısı tozlarının köpük stabilitesini %108.2-122.2, bıldırcın yumurta sarısı tozlarının köpük stabilitesini ise %112.9- 126.0 aralığında bulmuştur.

Abrha Woldu (2020), yumurta bütünü tozu için etüvde kurutmada köpük kapasitesini %31.2, püskürterek kurutmada ise %29.5 bulmuştur. Orishagbemi ve ark. (2017) yaptıkları çalışmada, köpürtülerek kurutulmuş yerel ve kümes hayvanları yumurta bütünü tozu için köpürme kapasitesini %17-18.2 arasında belirlemiştir. Asghar ve Abbas (2015) yaptıkları çalışmada, yumurta bütünü köpürme kapasitesinin %31-36 aralığında olduğunu bildirmiştir.

Çizelge 4. 16. Kırınım pencereleli kurutma ile farklı şartlarda kurutulmuş yumurta akı tozlarının köpürme özellikleri¹

Kurutma formu	Sıcaklık (°C)	Köpük kapasitesi (%)	Köpük stabilitesi (%)
Doğal	50	95.0±15.6	65.0±7.1
	60	97.0±24.0	69.3±16.6
	70	108.0±0.0	74.3±3.2
	80	107.5±3.5	72.3±0.4
	90	61.5±16.3	46.5±12.0
	100	85.5±10.6	57.0±17.0
Köpük	50	250.0±42.4	180.3±28.6
	60	280.0±56.6	193.8±72.5
	70	550.0±141.4	351.3±83.1
	80	680.0±28.3	473.8±76.0
	90	690.0±14.1	436.5±12.0
	100	465.0±21.2	337.5±10.6

¹ortalama±standart sapma

Varyans analizi sonuçlarına göre kurutma formu, sıcaklık ve bu iki faktörün interaksiyonu yumurta akı tozlarının köpük kapasitesi ve köpük stabilitesi üzerine önemli düzeyde ($p<0.01$) etki göstermiştir (Çizelge 4.17).

Çizelge 4. 17. Kırınım pencereleli kurutma ile farklı şartlarda kurutulmuş yumurta akı tozlarının köpürme özelliklerine ait varyans analiz tablosu

Varyasyon kaynakları	SD	Köpük kapasitesi		Köpük stabilitesi	
		KO	F	KO	F
Kurutma formu (F)	1	928660	402.9**	420688	255.2**
Sıcaklık (S)	5	35168	15.3**	14259	8.7**
F×S	5	38201	16.7**	15361	9.3**
Hata	12	2305		1648	

** $p<0.01$ düzeyinde önemli

Farklı sıcaklıklarda kurutulmuş elde edilen yumurta akı tozlarının köpük kapasitesi ve köpük stabilitesi değerlerine ait Duncan çoklu karşılaştırma testi sonuçları Çizelge 4.18'de verilmiştir. Duncan çoklu karşılaştırma testi sonuçlarına göre köpük formda kurutulmuş yumurta akı tozlarının köpük kapasitesi ve köpük stabilitesi değeri,

doğal formda kurutulmuş olanlara göre istatistiksel olarak önemli düzeyde yüksek bulunmuştur. En yüksek köpük kapasitesi ve stabilitesi değerlerine 80 °C’de ulaşılmıştır.

Çizelge 4. 18. Kırınım pencereleli kurutma ile farklı şartlarda kurutulmuş yumurta akı tozlarının köpürme özelliklerine ait Duncan çoklu karşılaştırma testi sonuçları¹

Varyasyon Kaynakları		Köpük kapasitesi (%)	Köpük stabilitesi (%)
Kurutma formu	Doğal	92.4±5.6b	64.0±3.8b
	Köpük	485.8±54.4a	328.8±35.5a
Sıcaklık (°C)	50°C	172.5±46.6c	122.6±34.3c
	60°C	188.5±55.7c	131.5±41.9c
	70°C	329.0±134.0ab	212.8±83.5ab
	80°C	393.8±165.5a	273.0±118.0a
	90°C	375.8±181.5a	241.5±112.7ab
	100°C	275.3±109.8b	197.3±81.2b

¹Farklı harfle işaretlenmiş aynı sütundaki aynı varyasyon kaynağına ait ortalamalar istatistiksel olarak birbirinden farklıdır (p<0.05)

Preethi ve ark. (2020) yumurta akının kurutulmasında kırınım pencereleli kurutucu kullanımının, tozların köpürme özelliklerini değiştirmeden kalitesini korumasını sağladığını gözlemiştir. Püskürterek kurutulmuş yumurta akı tozlarına kıyasla kırınım pencereleli kurutulmuş ve dondurarak kurutulmuş yumurta tozlarının köpürme kabiliyeti ve köpük stabilitesi daha yüksek tespit edilmiştir. Püskürterek ve dondurarak kurutulmuş tozlara kıyasla kırınım pencereleli kurutucuda kurutulmuş tozların köpük yüksekliği daha yüksek bulunmuştur.

Bir diğer çalışmada püskürtülerek kurutulan yumurta akı tozları, dondurularak kurutulmuş tozlardan köpürme kabiliyeti ve köpük stabilitesi açısından daha iyi sonuçlanmıştır (Lili ve ark., 2015).

4.1.7. Genel değerlendirme

Kurutma formu ve sıcaklık faktörlerinin yumurta akı tozlarının nem ve su aktivitesi değerleri üzerinde istatistiksel olarak önemli bir etkisinin olmadığı gözlenmiştir (P>0.05). Yumurta tozu örneklerinde renk değişimleri; köpük kurutmada, kuruma süresinin kısılmasına bağlı olarak enzimatik olmayan esmerleşme reaksiyonlarının daha düşük düzeyde gerçekleşmesiyle, kurutma sıcaklığının yükseltilmesine bağlı olarak ise esmerleşme reaksiyonlarını teşvik etmesiyle ilişkilendirilmiştir.

Köpük formda kurutulmuş tozlar, doğal formda kurutulmuş alternatiflerine kıyasla daha düşük yığın yoğunluğu ve sıkıştırılmış yoğunluk değerlerine ancak daha yüksek parçacık yoğunluğuna, poroziteye, köpük kapasitesi ve stabilitesi sahip olmuştur.

Kurutma formunun protein oranı üzerinde etkisinin olmadığını görülmüştür. Ancak kurutma sıcaklığı önemli etki göstermiştir. Düşük sıcaklıkta kurutulan örneklerin protein oranının düşük olması, kurutma süresinin uzun olması ve daha fazla Maillard reaksiyonu meydana gelmesi ile mevcut serbest amino asitlerin kaybedilmesiyle bağlantılı olduğu düşünülmektedir.

Köpük kurutmanın daha yüksek porozite ve düşük yüzey hidrofobisitesi göstermesiyle çözünürlük analizinde kısa süre içerisinde su ile örneklerin etkileşimini hızlandırması, bu formda kurutulmuş örneklerin daha yüksek çözünürlük göstermesine neden olmuştur. Kurutma formunun jellerin tekstürü üzerinde önemli bir etkisi bulunmazken, sıcaklık önemli farklılıklara neden olmuştur. En yüksek sertliği 80°C' de kurutulan örneklerde, en düşük sertlik ise 100°C'deki örneklerde belirlenmiştir.

Yapılan analizler sonucunda en uygun kurutma şartları olarak yumurta akı için köpük formda 80°C olarak belirlenmiştir.

4.2. Yumurta Bütünü Kurutma Sonuçları

4.2.1. Kuru madde miktarı ve su aktivitesi

Kırınım pencereless kurutma işlemi ile üretilen yumurta bütünü tozlarının kuru madde ve su aktivitesi değerleri Çizelge 4.19'da belirtilmiştir. Yumurta bütünü tozlarının kuru madde içeriği 95.8-99.2 g/100 g arasında, su aktivitesi ise 0.093-0.316 arasında değişim göstermiştir. Örnekler mümkün olduğunca benzer nem içeriğine kadar kurutulmaya çalışılmıştır. Buna rağmen su aktiviteleri arasında daha geniş bir farklılık gözlenmiştir. Nitekim, köpük formda kurutulan yumurta bütünü tozlarının kuru madde içeriği daha yüksek, su aktivitesi ise daha düşük olarak tespit edilmiştir. En yüksek su aktivitesi 50°C kurutulan örneklerde tespit edilmiş ve bunu 80°C'de kurutulan örnekler izlemiştir (Çizelge 4.19).

Yumurta bütünü tozunun su aktivitesinin 0.40'ın altında olması (Beuchat, 1981) ve dolayısıyla nem içeriğinin 5 g/100g'ın altında olması (Stadelman ve Cotterill, 1995) istenmektedir. Farklı şartlarda püskürterek kurutma ile üretilmiş yumurta bütünü tozunun maksimum nem içeriği (%4.4) ve su aktivitesi (0.023) olarak bildirilmiştir (Koç ve ark.,

2011a). Van der Plancken ve ark. (2007), yüksek su içeriğinin ısıtma sırasında protein denatürasyonunu arttırdığını ve kuru ısıtma yoluyla köpürme özelliklerinin iyileşmesini korumak için yumurta tozunun kuru maddesinin %6.8'in altında kalması gerektiğini belirtmiştir. Ndife ve ark. (2010), etüvde kurutulan yumurta bütünü tozlarının nem içeriğini 6.74 g/100g olarak belirlemiştir. Nunes ve ark. (2021) yaptıkları çalışmada, dondurarak kurutulan bildircin yumurtasının nem içeriğini 1.56 (\pm 0.78) g/100g olarak tespit etmiştir. Abrha Woldu (2020) yumurta bütünü'nün nem içeriğini etüvde kurutmada 3.63 g/100g, püskürterek kurutmada ise 2.56 g/100g olarak tespit etmiştir. Yumurta bütünü'nün su aktivitesini ise etüvde kurutmada 0.47, püskürterek kurutmada da 0.44 olarak belirlemiştir (Abrha Woldu, 2020).

Çizelge 4. 19. Kırınım pencereleli kurutma ile farklı şartlarda kurutulmuş yumurta bütünü tozlarının kuru madde miktarı ve su aktivitesi¹

Kurutma formu	Sıcaklık (°C)	Kuru madde miktarı (g/100g)	Su aktivitesi
Doğal	50	95.8 \pm 0.5	0.316 \pm 0.005
	60	96.1 \pm 0.2	0.282 \pm 0.019
	70	96.8 \pm 0.1	0.272 \pm 0.002
	80	96.7 \pm 0.1	0.308 \pm 0.001
	90	99.2 \pm 0.5	0.112 \pm 0.027
	100	97.3 \pm 0.6	0.220 \pm 0.059
Köpük	50	97.7 \pm 0.2	0.178 \pm 0.005
	60	98.2 \pm 0.0	0.109 \pm 0.010
	70	98.8 \pm 0.6	0.093 \pm 0.000
	80	98.8 \pm 0.5	0.115 \pm 0.010
	90	98.5 \pm 0.2	0.127 \pm 0.002
	100	98.0 \pm 0.2	0.137 \pm 0.002

¹ortalama \pm standart sapma

Varyans analizi sonuçlarına göre kurutma formu, sıcaklık ve bu iki faktörün interaksyonu yumurta bütünü tozlarının kuru madde miktarı ve su aktivitesi değerleri üzerine önemli düzeyde ($p < 0.01$) etki göstermiştir (Çizelge 4.20).

Çizelge 4. 20. Yumurta bütünü tozlarının kuru madde miktarı ve su aktivitesi değerlerine ait varyans analiz tablosu

Varyasyon kaynakları	SD	Kuru madde miktarı		Su aktivitesi	
		KO	F	KO	F
Kurutma formu (F)	1	10.40	71.3**	0.093	231.05**
Sıcaklık (S)	5	2.12	14.54**	0.007	17.57**
F×S	5	1.4	9.4**	0.006	15.41**
Hata	12	0.14		0.0004	

**p<0.01 düzeyinde önemli

2 farklı form ve 6 farklı sıcaklıkta kurutularak elde edilen yumurta bütünü tozlarının kuru madde miktarı ve su aktivitesi değerlerine ait Duncan çoklu karşılaştırma testi sonuçları Çizelge 4.21’de verilmiştir. Çizelgede görüldüğü üzere köpük kurutma daha yüksek kuru madde miktarı ve daha düşük su aktivitesi değerleri sağlamıştır. Cemeroğlu (2018) gıdalarda bulunan suyun buhar basıncının kapiller kuvvetlerden etkilendiğini bildirmiştir. Nitekim daha ince bir kapilerde bulunan suyun buhar basıncı, daha kalın bir kapillere göre daha düşüktür. Köpük kurutma prensibi gereği, daha fazla kılcal boşluk içeren ve daha yüksek poroziteye sahip ürünler üretilmektedir. Bu nedenle köpük kurutulmuş örneklerin daha düşük su aktivitesine sahip olduğu düşünülmektedir. En yüksek kuru madde miktarını 90°C’de kurutma sağlamış ve bunu 100°C’de kurutulmuş örnek izlemiştir. Su aktivitesi açısından 90°C en düşük, 50°C ise en yüksek su aktivitesi değerini sağlarken, diğer sıcaklıklarda kurutulan örnekler istatistiksel olarak benzer su aktivitesine sahip olmuştur.

Çizelge 4. 21. Kırınım pencereless kurutma ile farklı şartlarda kurutulmuş yumurta bütünü tozlarının kuru madde miktarı ve su aktivitesine ait Duncan çoklu karşılaştırma testi sonuçları¹

Varyasyon Kaynakları		Kuru madde miktarı (g/100g)	Su aktivitesi
Kurutma formu	Doğal	97.0±0.3b	0.252±0.022a
	Köpük	98.3±0.1a	0.126±0.008b
Sıcaklık (°C)	50°C	96.7±0.6d	0.247±0.040a
	60°C	97.1±0.6cd	0.195±0.050b
	70°C	97.8±0.6b	0.183±0.052b
	80°C	97.8±0.6b	0.211±0.056b
	90°C	98.9±0.3a	0.119±0.009c
	100°C	97.6±0.3bc	0.179±0.029b

¹Farklı harfle işaretlenmiş aynı sütundaki aynı varyasyon kaynağına ait ortalamalar istatistiksel olarak birbirinden farklıdır (p<0.05)

4.2.2. Renk özellikleri

Renk, kırınım pencereli kurutma ile üretilen tozların duyuşal çekiciliğini ve kalitesini yansıttığı için önemli bir parametredir.

Kırınım pencereli kurutma işleminin sonunda elde edilen yumurta bütünü tozlarının L^* , a^* , b^* , ton açısı ve doygunluk değerleri Çizelge 4.22’de verilmiştir. Yumurta bütünü tozlarının L^* , a^* ve b^* değerleri sırasıyla 71.9-83.9, 4.8-13.2 ve 44.1-55.8 aralığında değişim göstermiştir (Çizelge 4.22). Ayrıca örneklerin ton açısı değerleri 76.6 ile 84.2 ve doygunluk değerleri 47.3 ile 57.3 arasında belirlenmiştir. Çizelge 4.22’de açıkça görüldüğü üzere köpük kurutma ile üretilen yumurta bütünü tozları, doğal kurutmaya kıyasla daha yüksek L^* ve ton açısı değerleri ile daha düşük a^* , b^* ve doygunluk değerlerine sahip olmuştur.

Püskürterek kurutma ile yapılan bir çalışmada, atomizasyon ve yüksek sıcaklık etkisi ile meydana gelen yumurta pigmentlerinin (ksantofiller, lutein ve zeaksantin) oksidasyonu, rengin ağarmasına neden olmuştur (Stadelman ve Cotterill 1995).

O'Brien, (1989), süt ürünleri ile yaptıkları çalışmada L^* değerinin kurutma işlemi sırasında arttığını bildirmiştir. Abrha Woldu (2020), etüvde kurutulmuş yumurta bütünü tozunun L^* , a^* ve b^* değerlerini sırasıyla 74.04, 16.52 ve 65.47; püskürterek kurutulmada ise 78.03, 9.34 ve 42 olarak belirlemiştir. Yumurta rengi esas olarak oksikarotenoid içeriğı ile ilişkili bulunmuştur (Abrha Woldu, 2020).

Çizelge 4. 22. Kırınım pencereli kurutma ile farklı şartlarda kurutulmuş yumurta bütünü tozlarının renk özellikleri¹

Kurutma formu	Sıcaklık (°C)	L^*	a^*	b^*	Ton açısı	Doygunluk
Doğal	50	72.2±0.2	13.2±0.2	55.7±0.2	76.6±0.3	57.2±0.1
	60	71.9±0.6	13.1±0.0	55.8±0.0	76.8±0.0	57.3±0.0
	70	73.7±0.4	12.1±0.4	55.4±0.2	77.7±0.4	56.8±0.2
	80	75.6±1.2	11.2±0.8	56.2±1.0	78.7±0.6	57.3±1.1
	90	81.5±0.2	6.5±0.8	47.4±5.8	82.2±0.0	47.9±5.8
	100	83.9±0.8	4.8±0.6	47.0±2.0	84.2±0.5	47.3±2.0
Köpük	50	80.5±0.0	8.0±0.9	50.2±4.0	80.9±1.7	50.8±3.8
	60	81.9±0.1	6.8±1.2	49.0±4.3	82.0±2.1	49.4±4.1
	70	83.3±0.3	5.7±1.4	47.7±4.7	83.1±2.4	48.1±4.5
	80	83.2±0.1	5.7±1.2	48.1±5.1	83.1±2.1	48.5±5.0
	90	83.4±0.2	5.0±1.7	48.0±5.2	83.9±2.7	48.3±5.0
	100	83.8±0.3	5.1±0.1	44.1±0.6	83.4±0.0	44.4±0.6

¹ortalama±standart sapma

Varyans analizi sonuçlarına göre kurutma formu tüm renk değerleri üzerine önemli düzeyde ($p<0.01$) etki göstermiştir. Sıcaklık ise b^* değeri dışında tüm renk

özellikleri üzerine önemli ($p<0.01$) etkide bulunmuştur. Kurutma formu ve sıcaklık interaksyonu yalnızca L^* ve a^* değerlerini önemli ($p<0.01$) düzeyde etkilemiştir (Çizelge 4.23).

Çizelge 4. 23. Yumurta bütünü tozlarının renk değerlerine ait varyans analiz tablosu

Varyasyon kaynakları	SD	L*		a*		b*		Ton açısı		Doygunluk	
		KO	F	KO	F	KO	F	KO	F	KO	F
Kurutma formu (F)	1	231.05	981.20**	100.3	114.87**	154.4	12.46**	67.4	31.8**	194.55	16.60**
Sıcaklık (S)	5	36.56	155.27**	20.5	23.53**	36.16	2.92öd	15.8	7.4**	44.23	3.77*
F×S	5	18.20	77.30**	7.98	9.13**	11.07	0.9öd	6.0	2.8öd	13.74	1.17öd
Hata	12	0.23		0.87		12.38		2.1		11.72	

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

Çizelge 4.24’de verilen Duncan çoklu karşılaştırma testi sonuçlarına göre köpük formda kurutulmuş örnekler, doğal formda kurutulmuşlara göre daha yüksek L* değerine ancak daha düşük a* ve b* değerine sahip olmuştur. Kurutma sıcaklığının artışı ise L* değerinde artışa, a* ve b* değerlerinde ise azalmaya neden olmuştur. Bu nedenle doğal formda kurutma ve daha düşük kurutma sıcaklıklarının enzimatik olmayan esmerleşme reaksiyonlarını teşvik ettiği söylenebilir. Daha düşük kurutma sıcaklıklarında reaksiyon yavaş gerçekleşmesine rağmen, reaksiyon süresinin kısa olması esmerleşme reaksiyonlarının etkisini kısıtlamıştır.

Köpük kurutulmuş örneklerin ton açısı değeri doğal formda kurutulmuş örneklere göre önemli düzeyde yüksek bulunmuştur. Kurutma sıcaklığının artması ton açısı değerlerinde kademeli artışa neden olmuştur (Çizelge 4.24).

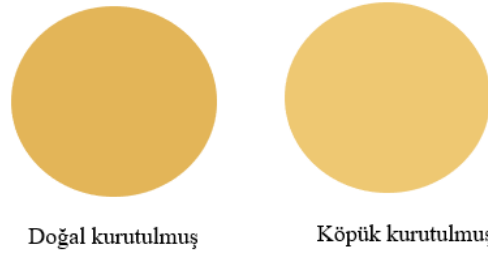
Duncan çoklu karşılaştırma testi sonuçlarına göre doğal formda kurutulan yumurta bütünü tozlarının doyguluk değeri, köpük formda kurutulmuş olanlara göre istatistiksel olarak önemli düzeyde yüksek bulunmuştur. Kurutma sıcaklığının artışı, kurutma süresini kısaltarak enzimatik olmayan esmerleşme reaksiyonlarının daha az gerçekleşmesini sağlamış ve bu nedenle doyguluk değeri artışını önlemiştir (Çizelge 4.24).

Çizelge 4. 24. Kırınım pencereleli kurutma ile farklı şartlarda kurutulmuş yumurta bütünü tozlarının renk özelliklerine ait Duncan çoklu karşılaştırma testi sonuçları¹

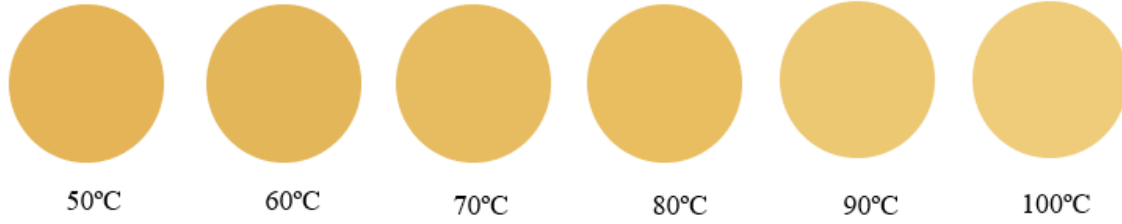
Varyasyon Kaynakları		L*	a*	b*	Ton açısı	Doygunluk
Kurutma formu	Doğal	76.5±1.4b	10.1±1.0a	52.9±1.3a	79.4±0.9b	53.9±1.5a
	Köpük	82.7±0.4a	6.1±0.4b	47.8±1.1b	82.7±0.5a	48.2±1.1b
Sıcaklık (°C)	50°C	76.3±2.4e	10.6±1.5a	52.9±2.0a	78.8±1.3c	54.0±2.1a
	60°C	76.9±2.9e	9.9±1.8ab	52.4±2.3a	79.4±1.6c	53.4±2.6ab
	70°C	78.5±2.8d	8.9±1.9b	51.6±2.6a	80.4±1.7c	52.4±2.8ab
	80°C	79.4±2.2c	8.5±1.6b	52.1±2.8a	80.9±1.4bc	52.9±2.9ab
	90°C	82.5±0.6b	5.8±0.7c	47.7±2.2ab	83.0±0.9ab	48.1±2.2bc
	100°C	83.9±0.3a	5.0±0.2c	45.6±1.0b	83.8±0.3a	45.8±1.0c

¹Farklı harfle işaretlenmiş aynı sütundaki aynı varyasyon kaynağına ait ortalamalar istatistiksel olarak birbirinden farklıdır (p<0.05)

Yumurta tozlarına ait L*, a* ve b* değerlerini kullanılarak Nix sensor adlı site aracılığıyla (<https://www.nixsensor.com/free-color-converter/>) alınan renk çıktısı Şekil 4.3 ve Şekil 4.4’ de verilmiştir.



Şekil 4. 3. Kırınım pencereleli kurutma ile farklı formlarda kurutulmuş toz yumurta bütünü örneklerine ait renk çıktısı



Şekil 4. 4. Kırınım pencereleli kurutma ile farklı sıcaklıklarda kurutulmuş toz yumurta bütünü örneklerine ait renk çıktısı

4.2.3. Yoğunluk, akış özellikleri ve porozite

Yığın yoğunluğu, toz kütlesi birimi başına işgal edilen hacmi ifade ettiğinden, taşıma ve depolama kapasitesi ile doğrudan ilişkilidir (Fitzpatrick, 2013; Nunes ve ark., 2021)).

Yumurta bütünü tozlarının yığın yoğunluğu $0.222-0.525 \text{ g/cm}^3$, sıkıştırılmış yoğunluğu $0.388-0.596 \text{ g/cm}^3$ ve parçacık yoğunluğu $0.85-6.25 \text{ g/cm}^3$ arasında aralığında değişim göstermiştir (Çizelge 4.25). Köpük formda kurutulmuş tozlar, doğal formda kurutulmuş alternatiflerine kıyasla daha düşük yığın yoğunluğu ve sıkıştırılmış yoğunluk değerlerine ancak daha yüksek parçacık yoğunluğuna sahip olmuştur. Köpük formda ve 100°C 'de kurutma diğer sıcaklıklara göre daha düşük yığın yoğunluğu ve daha yüksek parçacık yoğunluğuna neden olmuştur. Orishagbemi ve ark. (2017) tarafından gerçekleştirilen bir çalışmada köpük kurutma tekniği ile kurutulmuş bütün yumurta tozunun yığın yoğunluğu ($0.45-0.62 \text{ g/cm}^3$) olarak belirlenmiştir. Nunes ve ark. (2021) yaptıkları çalışmada toz bildircin yumurtasının yığın yoğunluğunu $0.299 \text{ g/cm}^3 (\pm 0.009)$ olarak belirlemiştir. Koç ve ark. (2011b), püskürterek kurutulmuş bütün yumurta tozu için yığın yoğunluğu değerini 305.06 kg/m^3 olarak tespit edilmiştir. Abrha Woldu (2020) çalışmasında, püskürterek kuruttuğu bütün yumurta tozlarının yığın yoğunluğunu (508.8 kg/m^3), etüvde kuruttuğu bütün yumurta tozlarına (632 kg/m^3) göre daha düşük tespit

etmiştir. Çalışmalar arasında görülen varyasyonların materyal ve kurutma tekniği farklılığından kaynaklandığı değerlendirilmiştir.

Yapılan bir başka çalışmada farklı su aktivitesi değerlerine sahip yumurta bütünü tozlarının yığın yoğunlukları birbirine yakın olmasına rağmen, sıkıştırılmış yoğunlukları değişkenlik göstermiştir (Koç ve ark., 2012).

Çizelge 4. 25. Kırınım pencereleli kurutma ile farklı şartlarda kurutulmuş yumurta bütünü tozlarının yoğunlukları, akış özellikleri ve porozitesi¹

Kurutma formu	Sıcaklık (°C)	Yığın yoğunluğu (g/cm ³)	Sıkıştırılmış yoğunluk (g/cm ³)	Parçacık yoğunluğu (g/cm ³)	Carr indeksi	Hausner oranı	Porozite (%)
Doğal	50	0.491±0.031	0.556±0.018	1.15±0.15	11.9±2.7	1.14±0.03	49.9±9.3
	60	0.447±0.013	0.522±0.010	1.17±0.06	14.4±0.9	1.17±0.01	54.3±2.7
	70	0.466±0.004	0.540±0.005	1.13±0.00	13.8±0.0	1.16±0.00	51.4±0.5
	80	0.475±0.018	0.559±0.021	1.13±0.19	15.0±0.0	1.18±0.00	49.6±9.7
	90	0.525±0.018	0.596±0.038	1.12±0.09	11.9±2.7	1.14±0.03	46.4±0.8
	100	0.456±0.009	0.580±0.003	0.87±0.05	21.4±2.0	1.27±0.03	33.3±4.4
Köpük	50	0.347±0.031	0.455±0.019	0.93±0.10	23.8±3.5	1.31±0.06	50.2±4.2
	60	0.403±0.013	0.513±0.041	0.85±0.10	21.3±3.5	1.27±0.06	37.7±12.7
	70	0.369±0.018	0.492±0.024	1.01±0.34	25.0±0.0	1.33±0.00	47.1±12.6
	80	0.363±0.027	0.468±0.013	1.93±1.31	22.5±3.5	1.29±0.00	57.8±5.1
	90	0.322±0.013	0.428±0.003	0.85±0.10	25.0±3.5	1.34±0.06	48.3±6.3
	100	0.222±0.013	0.388±0.032	6.25±1.77	42.8±1.3	1.75±0.04	93.3±0.8

¹ortalama±standart sapma

Doğal formda kurutulan yumurta bütünü tozlarının Carr indeksi 11.9-21.4 arasında, Hausner oranı ise 1.14-1.27 arasında değişim göstermiştir. Bu örneklerden 100°C (geçerli) dışındaki tüm sıcaklıklar iyi akış özelliği sağlamıştır (Çizelge 4.25). Köpük formda kurutulan örneklerin ise Carr indeksi 21.2-42.8, Hausner oranı ise 1.27-1.75 arasında değişim göstermiştir (Çizelge 4.25). 50 ile 90°C arasında kurutulan örnekler geçerli akış özelliğine sahip iken, 100°C’de kurutulan örnek çok kötü akış özelliğine sahip olmuştur.

Yumurta bütünü tozlarının porozitesi %33.3 ile %93.3 arasında değişim göstermiştir (Çizelge 4.25). En yüksek porozite değeri 100°C’de köpük kurutulan örnekte tespit edilmiştir.

Yığın yoğunluğu, sıkıştırılmış yoğunluk ve parçacık yoğunluğu değerlerine ait Varyans analiz sonuçları incelendiğinde, kurutma formu ve iki faktörün interaksiyonunun tüm değerler üzerine önemli düzeyde (p<0.01) etki gösterdiği görülmektedir. Sıcaklık ise parçacık ve yığın yoğunluğu üzerinde önemli düzeyde etki göstermiştir (Çizelge 4.26).

Varyans analizi sonuçlarına göre yumurta bütünü tozlarının Carr indeksi ve Hausner oranı üzerinde kurutma formu ve sıcaklığın etkisinin p<0.01 seviyesinde

istatistiksel olarak önemli olduğu sonucuna varılmıştır. Porozite ise yalnızca kurutma formuna bağlı olarak değişim göstermiştir. İki faktörün interaksyonu Carr indeksi üzerine ($p < 0.05$) seviyesinde, Hausner oranı ve porozite üzerine ise ($p < 0.01$) seviyesinde önemli etki göstermiştir (Çizelge 4.26).

Çizelge 4. 26. Yumurta bütünü tozlarının yığın yoğunluğu, sıkıştırılmış yoğunluk, parçacık yoğunluğu, Carr indeksi, Hausner oranı ve porozite değerlerine ait varyans analiz tablosu

Varyasyon kaynakları	SD	Yığın Yoğunluğu		Sıkıştırılmış Yoğunluk		Parçacık Yoğunluğu		Carr İndeksi		Hausner Oranı		Porozite	
		KO	F	KO	F	KO	F	KO	F	KO	F	KO	F
		Kurutma formu (F)	1	0.116	318.83**	0.06	120.68**	4.58	10.86**	865.04	147.26**	0.2606	159.73**
Sıcaklık (S)	5	0.0044	12.34**	0.0006	1.20öd	4.12	9.76**	125.91	21.43**	0.052	31.91**	157.9	3.08öd
F×S	5	0.005	13.60**	0.004	9.43**	5.04	11.95**	27.41	4.67*	0.018	11.5**	711.4	13.9**
Hata	12	0.00036		0.00051		0.42		5.874		0.0016		51.2	

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

Duncan çoklu karşılaştırma testi sonuçlarına göre köpük kurutma, doğal formda kurutmaya göre daha düşük yığın yoğunluğu ve sıkıştırılmış yoğunluğa neden olurken, daha yüksek parçacık yoğunluğu sağlamıştır. Köpük kurutmanın neden olduğu daha yüksek porozite, kurumuş ürünlerin içerdiği hava miktarını arttırarak bu etkiye neden olmuştur.

Farklı sıcaklıklarda kurutulmuş örnekler arasında en düşük yığın yoğunluğu ve yüksek parçacık yoğunluğu değerlerine 100°C'de kurutulmuş örnekler sahip olmuştur. Diğer kurutma sıcaklıklarında üretilen örneklerin yığın yoğunluğu ve parçacık yoğunluğu istatistiksel olarak benzerdir. Varyans analiz sonuçlarının gösterdiği üzere sıkıştırılmış yoğunluk değeri kurutma sıcaklığına bağlı olarak önemli bir değişim göstermemiştir (Çizelge 4.27).

Duncan çoklu karşılaştırma testi sonuçlarına göre 50°C ile 90°C arasında kurutulan örnekler istatistiksel olarak benzer akış özelliklerine sahip olmuştur (Çizelge 4.27). 100°C'de kurutulan örnekler ise diğer sıcaklıklara göre daha kötü akış özellikleri göstermiştir.

Duncan çoklu karşılaştırma testi sonuçlarına beklendiği üzere köpük formda kurutulan örneklerin porozitesi, doğal formda kurutulan örneklere kıyasla daha yüksek olarak bulunmuştur. Ayrıca 100°C'de kurutma diğer sıcaklıklara göre daha yüksek (istatistiksel olarak 80°C'de kurutulanlara benzer) porozite sağlamıştır. (Çizelge 4.27). 100°C'de meydana gelen daha hızlı buharlaşma örneklerin daha poröz bir yapı kazanmasını sağlamıştır.

Çizelge 4. 27. Kırınım pencereless kurutma ile farklı şartlarda kurutulmuş yumurta bütünü tozlarının yoğunluk, akış özellikleri ve porozitesine ait Duncan çoklu karşılaştırma testi sonuçları¹

Varyasyon Kaynakları	Yığın yoğunluğu (g/cm ³)	Sıkıştırılmış yoğunluk (g/cm ³)	Parçacık yoğunluğu (g/cm ³)	Carr indeksi	Hausner oranı	Porozite (%)
Kurutma formu	Doğal 0.48±0.01a	0.56±0.01a	1.09±0.04b	14.7±1.0b	1.17±0.01b	47.5±2.4b
	Köpük 0.34±0.02b	0.46±0.01b	1.97±0.62a	26.7±2.3a	1.38±0.05a	55.7±5.6a
Sıcaklık (°C)	50°C 0.42±0.04a	0.51±0.03a	1.04±0.08b	17.8±3.7b	1.23±0.06b	50.0±3.0b
	60°C 0.43±0.01a	0.52±0.01a	1.01±0.10b	17.8±2.2b	1.22±0.03b	46.0±6.1b
	70°C 0.42±0.03a	0.52±0.02a	1.07±0.10b	19.4±3.2b	1.25±0.05b	49.3±3.9b
	80°C 0.42±0.03a	0.51±0.03a	1.53±0.45b	18.8±2.4b	1.23±0.04b	53.7±4.0ab
	90°C 0.42±0.06a	0.51±0.05a	0.98±0.09b	18.4±4.0b	1.24±0.06b	47.4±1.9b
	100°C 0.34±0.07b	0.48±0.06a	3.56±1.63a	32.1±6.2a	1.51±0.14a	63.3±17.4a

¹Farklı harfle işaretlenmiş aynı sütundaki aynı varyasyon kaynağına ait ortalamalar istatistiksel olarak birbirinden farklıdır (p<0.05)

4.2.4. Protein oranı, denatürasyon entalpisi, higroskopisite ve yüzey hidrofobisitesi

Yumurta bütünü tozlarının protein oranı %46.5-%49.0 arasında değişim göstermiştir (Çizelge 4.28). Sıvı bütün yumurtaların protein içeriği ise yaklaşık %12.8-13.4 aralığında bildirilmiştir (Guérin-Dubiard ve ark., 2010; Li-Chan ve ark., 2017). Guérin-Dubiard ve ark. (2010), sıvı bütün yumurtanın protein oranını %12.8, yumurta sarısının %16 ve yumurta akının ise %10.4 olarak belirlemiştir. Jesús ve ark. (2013) dondurarak kurutma çalışmalarında, tüm yumurta tozu için protein oranını %48.75, yumurta sarısı için %31.19 ve yumurta akı için ise %81.00 olarak bulmuşlardır. Bu nedenle yumurta bütünü tozlarının protein oranı sonuçları literatür ile benzerdir.

Yumurta bütünü tozlarının protein denatürasyonu 80.48-87.05°C sıcaklıkları arasında meydana gelmiş ve denatürasyon entalpisi 0.00 (doğal formda 100°C'de kurutulan örneklerde denatürasyon belirlenememiştir) ile 1.54 J/g arasında tespit edilmiştir (Çizelge 4.28).

Çizelge 4. 28. Kırınım pencereless kurutma ile farklı şartlarda kurutulmuş yumurta bütünü tozlarının protein oranı, denatürasyon entalpisi, higroskopisitesi ve yüzey hidrofobisitesi¹

Kurutma formu	Sıcaklık (°C)	Protein oranı (%)	Denatürasyon entalpisi (J/g)	Higroskopisite (%)	Yüzey hidrofobisitesi (%)
Doğal	50	47.1±0.2	1.29±0.13	19.9±0.3	16.0±12.0
	60	47.1±0.7	1.54±0.14	19.9±0.2	16.0±7.8
	70	47.4±0.4	1.07±0.14	18.8±0.4	43.2±1.2
	80	47.1±1.2	0.93±0.11	19.2±0.0	53.6±10.6
	90	48.0±0.6	0.40±0.01	18.0±0.1	60.8±3.1
	100	49.0±0.1	0.00±0.00	19.2±0.1	59.8±2.4
Köpük	50	46.5±0.2	0.69±0.25	18.8±1.2	16.7±4.1
	60	48.8±0.4	0.84±0.39	19.8±0.9	2.5±0.4
	70	48.1±0.7	1.36±0.18	19.3±1.0	9.9±6.4
	80	48.0±0.2	1.31±0.24	19.0±0.1	9.0±1.0
	90	48.2±0.2	0.88±0.01	18.7±0.0	7.5±3.2
	100	49.0±0.2	0.96±0.04	18.7±0.6	21.6±9.5

¹ortalama±standart sapma

Yumurta bütünü tozlarının higroskopisite değeri %19.9'dan daha düşük olarak tespit edilmiş olup (Çizelge 4.28), bu nedenle düşük düzeyde higroskopisiteye sahip olduğu söylenebilmektedir (Nurhadi ve ark., 2012). Depolama sırasında kimyasal ve mikrobiyolojik stabilite elde etmek için daha düşük higroskopiklik arzu edilmektedir (Tontul ve ark., 2018b). Koç ve ark. (2011b), püskürterek kurutma ile üretilen yumurta bütünü tozu için yaklaşık %5'lik bir higroskopiklik değeri bulmuştur.

Örneklerin yüzey hidrofobisitesi %2.5 ile %60.8 arasında değişmiştir (Çizelge 4.28). Genel olarak köpük form daha düşük yüzey hidrofobisitesi değerleri sağlamıştır.

Çizelge 4.29’da verilen varyans analiz sonuçları protein oranının kurutma formu ve sıcaklıktan etkilendiğini göstermiştir. Ayrıca denatürasyon entalpisi sıcaklık ve iki faktörün interaksiyonun bağlı olarak değişmiştir. Yüzey hidrofobisitesi ise tüm varyasyon kaynaklarından önemli ($p<0.01$) seviyede etkilenmiştir. Öte yandan çalışma kapsamında test edilen faktörler ve interaksiyonu higroskopisite değeri üzerinde önemli bir etki göstermemiştir.

Çizelge 4. 29. Yumurta bütünü tozlarının protein, entalpi, higroskopisite ve yüzey hidrofobisitesi değerlerine ait varyans analiz tablosu

Varyasyon kaynakları	SD	Protein oranı		Denatürasyon entalpisi		Higroskopisite		Yüzey hidrofobisitesi	
		KO	F	KO	F	KO	F	KO	F
Kurutma formu (F)	1	1.48	5.33*	0.11	3.48öd	0.076	0.23öd	5526.73	134.74**
Sıcaklık (S)	5	2.04	7.32**	0.38	12.07**	0.985	2.94öd	547.73	13.35**
F×S	5	0.64	2.31öd	0.42	13.54**	0.462	1.38öd	410.98	10.02**
Hata	12	0.28		0.03		0.335		41.01	

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

Duncan çoklu karşılaştırma testi sonuçları köpük formda kurutmanın yumurta bütünü tozlarında doğal kurutmaya göre daha yüksek protein oranı sağladığını göstermiştir. Ayrıca kurutma sıcaklığı önemli etki göstermiştir. Yumurta akı tozlarında olduğu gibi en düşük protein oranı 50°C kurutulan örneklerde tespit edilmiştir. En yüksek protein oranı ise 100°C’de kurutulmuş örneklerde belirlenmiştir. Diğer kurutma sıcaklıkları istatistiksel olarak benzer protein oranı sağlamıştır (Çizelge 4.30). Doğal formda ve düşük kurutma sıcaklıklarında meydana gelen bu azalışın bu şartlarda daha fazla gerçekleşen esmerleşme reaksiyonları (Çizelge 4.30) sonucunda oluştuğu düşünülmektedir. Nitekim esmerleşme reaksiyonları indirgen şekerler ile proteinlerin amino grupları arasında gerçekleşmektedir (Damodaran ve ark., 2007).

Farklı formda kurutulan yumurta bütünü tozlarının denatürasyon entalpisi istatistiksel olarak benzer olarak bulunmuştur. Ayrıca yüksek köpürme kapasitesinin kurutma işleminde proteinlerin denatürasyonunu önemli ölçüde indüklediği rapor edilmiştir (Xiong, 1997; Oboroceanu ve ark., 2014). Kurutma sıcaklıkları

karşılaştırıldığında 50-80°C arasındaki kurutma sıcaklıklarında yüksek ve istatistiksel olarak benzer denatürasyon entalpisi belirlenmiş ve 90°C ve 100°C’de daha düşük entalpi değerleri tespit edilmiştir (Çizelge 4.30). Denatürasyon entalpisinin azalması ikincil protein yapısının kaybını göstermektedir (Ma ve Harwalkar, 1991). Bu durum kurutma sırasında bütün yumurtanın proteinleri yapısal değişikliğe uğradığını göstermektedir. Nitekim, Anandharamakrishnan ve ark. (2007) yaptıkları çalışmada protein denatürasyonunun püskürterek kurutma koşulları ile yüksek oranda ilişkili olduğunu bildirmiştir. Van der Plancken ve ark. (2007), artan kuru ısıtma süresi ile yumurta proteininin yapısındaki kayıpların daha belirgin olduğunu gözlemiştir.

Çizelge 4. 30. Kırınım pencereless kurutma ile farklı şartlarda kurutulmuş yumurta bütünü tozlarının protein oranı denatürasyon entalpisi, higroskopisite ve yüzey hidrofobisitesine ait Duncan çoklu karşılaştırma testi sonuçları¹

Varyasyon Kaynakları		Protein oranı (%)	Denatürasyon entalpisi (J/g)	Higroskopisite (%)	Yüzey hidrofobisitesi (%)
Kurutma formu	Doğal	47.6±0.2b	0.87±0.16a	19.2±0.2a	41.5±5.9a
	Köpük	48.1±0.3a	1.01±0.09a	19.1±0.2a	11.2±2.2b
Sıcaklık (°C)	50°C	46.8±0.2c	0.99±0.19a	19.4±0.5a	16.3±3.7c
	60°C	48±0.6b	1.19±0.24a	19.8±0.3a	9.2±4.5c
	70°C	47.8±0.3b	1.22±0.11a	19.1±0.3ab	26.5±9.8b
	80°C	47.6±0.4bc	1.12±0.13a	19.1±0.1ab	31.3±13.2ab
	90°C	48.1±0.2b	0.64±0.14b	18.3±0.2b	34.1±15.5ab
	100°C	49±0.1a	0.48±0.28b	18.9±0.2ab	40.7±11.4a

¹Farklı harfle işaretlenmiş aynı sütundaki aynı varyasyon kaynağına ait ortalamalar istatistiksel olarak birbirinden farklıdır (p<0.05)

Kurutma formu örneklerin higroskopisite değeri üzerine önemli bir etkide bulunmamıştır. Her ne kadar varyans analiz sonuçlarına göre sıcaklığın higroskopisite değeri üzerine etkisi önemsiz bulunmuşsa da Duncan çoklu karşılaştırma testine göre bazı farklılıklar tespit edilmiştir. Kurutma sıcaklıkları karşılaştırıldığında, en yüksek higroskopisite değeri 50 ve 60°C’de, en düşük higroskopisite değeri ise 90°C’de tespit edilmiştir. (Çizelge 4.30).

Yumurta akı tozlarının aksine kurutma formu yumurta bütünü tozlarının yüzey hidrofobisitesi üzerine önemli bir farklılığa neden olmuştur (Çizelge 4.30). Nitekim, doğal formda kurutulan örneklerin yüzey hidrofobisitesi, köpük formda kurutulanlara göre yüksek olarak bulunmuştur. Yumurta akı tozları kuru maddesinin büyük oranında protein içermektedir. Ancak yumurta bütünü tozlarının protein oranı ile yağ oranı birbirine oldukça yakındır. Çalışmada kullanılan yüzey hidrofobisitesi doğrudan proteinlerle ilişkili bir özelliktir. Bu durum kurutma sırasında önemli farklılıklara neden

olmaktadır. Gıdalarda bulunan yağlar trigliserit formunda olup molekül ağırlığı genellikle 1000 Da altındadır. Örneğin 3 oleik asit içeren bir trigliserit olan trioleinin molekül ağırlığı 885 Dalton'dur. Ancak yumurta proteinleri trigliseritlere kıyasla oldukça büyük olup, molekül ağırlıkları trigliseritlere göre 40-50 kat daha yüksektir. Bu durum moleküler hareketliliği ve difüzyon hızını doğrudan etkilemekte olup, kurutma sırasında ve sonrasında yüzeyin bileşimine etki etmektedir. Bu nedenle yumurta bütünü doğal formda kurutulması yumurta akında olduğu gibi yüzeyde proteinlerin daha fazla yer almasına ve bu nedenle denatüre olmasına neden olmuştur. Oysa, köpük formda kurutulmuş örnekler çok daha düşük hidrofobisiteye sahip olmuştur. Bu nedenle yüzeyde proteinlerle beraber yağlarında baskın bulunduğu düşünülmektedir. Bu farklılık nedeniyle yüzey hidrofobisitesinde azalma görülmüştür. Kurutma sıcaklığı artışı, yüzey hidrofobisitesi değerinin artmasına neden olmuştur. Benzer şekilde farklı sıcaklıklarda ısıl işleme maruz bırakılan pirinç protein izolatlarında sıcaklık artışı yüzey hidrofobitesinde artışa neden olmuştur (Ju ve ark., 2001).

4.2.5. Çözünürlük ve emülsiyon stabilitesi

Bir tozun çözünürlüğü, hammaddeler ve taşıyıcı maddelerin özelliklerinden, nem içeriğinden, parçacık boyutundan ve parçacığın fiziksel durumundan etkilenmektedir. Özellikle elde edilen toz farklı ürünlerin üretiminde katkı maddesi ya da ingredient olarak kullanıldığında daha yüksek çözünürlük istenmektedir (Cano-Chauca ve ark., 2005; Caparino ve ark., 2012; Du ve ark., 2014). Yumurta bütünü tozlarının çözünürlüğü %41.5 ile %87.8 arasında değişmiştir (Çizelge 4.31). Genel olarak köpük formda kurutma daha yüksek çözünürlük özelliği sağlamıştır.

Yapılan bir çalışmada etüvde kurutmada, bütün yumurtada %92 çözünürlük gösterdiği rapor edilmiştir (Ndife ve ark., 2010).

Çizelge 4. 31. Kırınım pencereleli kurutma ile farklı şartlarda kurutulmuş yumurta bütünü tozlarının çözünürlüğü ve emülsiyon stabilitesi¹

Kurutma formu	Sıcaklık (°C)	Çözünürlük (%)	Emülsiyon stabilitesi (%)
Doğal	50	41.5±2.1	100±0.1
	60	47.2±5.9	100±0.0
	70	41.8±1.7	100±0.0
	80	47.9±2.9	100±0.1
	90	48.2±1.8	100±0.0
	100	46.1±0.4	100±0.0
Köpük	50	68.7±5.9	100±0.0
	60	70.5±10.6	100±0.0
	70	65.2±1	100±0.0
	80	75.2±2.5	100±0.0
	90	87.8±10.9	100±0.0
	100	63.2±1.8	100±0.0

¹ortalama±standart sapma

Örnekler ile hazırlanan emülsiyonların elektriksel iletkenliği analiz boyunca değişim göstermemiştir. Bu nedenle yumurta bütünü tozları yüksek emülsiyon stabilitesi sağlamıştır (Çizelge 4.31).

Yapılan bir çalışmada yumurta bütünü tozunun minimum emülsiyon stabilite değeri %87.6 ve maksimum emülsiyon stabilite değeri %92.8 olarak gözlenmiştir (Koç ve ark., 2011a). Etüvde kurutmada, bütün yumurta %44.86 emülsifikasyon stabilitesi göstermiştir (Ndife ve ark., 2010). Orishagbemi ve ark. (2017) köpük kurutmada yumurta bütünü tozlarının emülsiyon kapasitesini %32-44.8 arasında bulmuştur. Abrha Woldu (2020) ise çalışmasında yumurta bütünü tozunun emülsiyon kapasitesini etüvde kurutmada %55.1, püskürterek kurutmada ise %54.5 olarak belirlemiştir. Mevcut çalışmada literatüre göre daha yüksek emülsiyon stabilitesi görülmesinin kurutma yöntemi farklılığından kaynaklandığı düşünülmektedir.

Varyans analizi sonuçlarına göre yumurta bütünü tozlarının çözünürlük değeri üzerinde kurutma formu ($p<0.01$) ve sıcaklığı ($p<0.05$) önemli etki göstermiştir (Çizelge 4.32). Kurutma formu, sıcaklık ve iki faktörün interaksiyonunun ise emülsiyon stabilitesi üzerine önemli etkisi olmadığı bulunmuştur.

Çizelge 4. 32. Yumurta bütünü tozlarının çözünürlük ve emülsiyon stabilitesi değerlerine ait varyans analiz tablosu

Varyasyon kaynakları	SD	Çözünürlük		Emülsiyon stabilitesi	
		KO	F	KO	F
Kurutma formu (F)	1	4155.30	150.70**	0.00087	2öd
Sıcaklık (S)	5	120.28	4.36*	0.00034	0.8öd
F×S	5	55.94	2.03öd	0.00034	0.8öd
Hata	12	27.57		0.00043	

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

Köpük formda kurutulan yumurta bütünü tozlarının çözünürlüğü (%71.8), doğal formda kurutulanlara (%45.4) göre önemli düzeyde yüksek olarak tespit edilmiştir (Çizelge 4.33). Bu durumda köpük formun neden olduğu daha yüksek porozitenin ıslanmayı ve su ile etkileşimi kolaylaştırdığının rol oynadığı düşünülmektedir. Aynı zamanda düşük yüzey hidrofobiteside bu sonuca neden olmuş olabilir. En yüksek çözünürlük 90°C’de kurutulmuş örneklerde tespit edilmiş olup, diğer örnekler istatistiksel olarak benzer çözünürlüğe sahip olmuştur (Çizelge 4.33).

Varyans analiz sonuçlarının gösterdiği üzere emülsiyon stabilitesi üzerine kurutma formu ve sıcaklığı herhangi bir etki göstermemiştir.

Çizelge 4. 33. Kırınım pencereless kurutma ile farklı şartlarda kurutulmuş yumurta bütünü tozlarının çözünürlük ve emülsiyon stabilitesine ait Duncan çoklu karşılaştırma testi sonuçları¹

Varyasyon Kaynakları		Çözünürlük (%)	Emülsiyon stabilitesi (%)
Kurutma formu	Doğal	45.4±1.1b	100±0a
	Köpük	71.8±2.8a	100±0a
Sıcaklık (°C)	50°C	55.1±8b	100±0a
	60°C	58.9±7.6b	100±0a
	70°C	53.5±6.8b	100±0a
	80°C	61.5±8ab	100±0a
	90°C	68±11.9a	100±0a
	100°C	54.6±5b	100±0a

¹Farklı harfle işaretlenmiş aynı sütundaki aynı varyasyon kaynağına ait ortalamalar istatistiksel olarak birbirinden farklıdır (p<0.05)

4.2.6. Genel değerlendirme

Köpük kurutulan yumurta bütünü tozlarının kuru madde içeriği daha yüksek, su aktivitesi ise daha düşük olarak tespit edilmiştir. 90°C’de kurutma en yüksek kuru madde miktarı ve en düşük su aktivitesi değerlerini sağlamıştır. Köpük kurutulmuş yumurta bütünü tozları, doğal kurutmaya kıyasla daha yüksek L* ve ton açısı değerleri ile daha

düşük a^* , b^* ve doymuluk değerlerine sahip olmuştur. Kurutma sıcaklığının artışı ise L^* ve ton açısı değerlerinde artışa, a^* , b^* ve doymuluk değerlerinde ise azalmaya neden olmuştur.

Köpük formda kurutulmuş tozlar, doğal formda kurutulmuş alternatiflerine kıyasla daha düşük yığın yoğunluğu, sıkıştırılmış yoğunluk ve yüzey hidrofobisitesi değerlerine ve daha yüksek parçacık yoğunluğuna, poroziteye, protein oranına ve çözünürlüğe sahip olmuştur. En düşük protein oranı 50°C kurutulan örneklerde, en yüksek protein oranı ise 100°C'de kurutulmuş örneklerde belirlenmiştir. Kurutma formu örneklerin higroskopisite değeri üzerine önemli bir etkide bulunmamıştır. En düşük higroskopisite değeri ve en yüksek çözünürlük 90°C'de kurutulan tozlarda belirlenmiştir.

Yapılan analizler sonucunda en uygun kurutma şartları olarak yumurta bütünü için köpük formda 90°C olarak belirlenmiştir.

4.3. Yumurta Sarısı Kurutma Sonuçları

4.3.1. Kuru madde miktarı ve su aktivitesi

Farklı form ve sıcaklıklarda kurutulmuş yumurta sarısı tozlarının kuru madde miktarı 96.7-98.4 g/100 g arasında, su aktivitesi ise 0.139-0.329 arasında değişim göstermiştir (Çizelge 4.34). Yumurta akı ve bütününde olduğu gibi örnekler benzer nem içeriğine sahip olmasına rağmen su aktiviteleri arasında daha geniş bir farklılık görülmüştür. Ndifé ve ark. (2010) yaptıkları çalışmada yumurta sarısının nem içeriğini mevcut çalışmaya benzer şekilde %3.88 olarak belirlemiştir. Jesús ve ark. (2013) dondurarak kurutma çalışmalarında, yumurta bütünü için nem içeriğini %6.07, yumurta sarısı için %3.75 ve yumurta akı için ise %8.03 olarak bulmuşlardır. Kudre ve ark. (2018), dondurarak kurutulmuş yumurta sarısı tozlarının nem içeriğini %1.29 olarak belirlemiştir.

Çizelge 4. 34. Kırınım pencereli kurutma ile farklı şartlarda kurutulmuş yumurta sarısı tozlarının kuru madde miktarı ve su aktivitesi¹

Kurutma formu	Sıcaklık (°C)	Kuru madde miktarı (g/100g)		Su aktivitesi	
		KO	F	KO	F
Doğal	50	96.7±0.3		0.295±0.019	
	60	96.7±0.4		0.329±0.007	
	70	97.0±0.2		0.282±0.015	
	80	97.7±0.7		0.235±0.057	
	90	97.4±0.7		0.211±0.044	
	100	97.1±0.1		0.291±0.000	
Köpük	50	97.7±0.8		0.161±0.006	
	60	98.4±0.1		0.143±0.002	
	70	98.1±0.0		0.148±0.010	
	80	98.4±0.3		0.145±0.013	
	90	98.1±0.0		0.139±0.025	
	100	97.2±0.4		0.268±0.035	

¹ortalama±standart sapma

Varyans analizi sonuçlarına göre kurutma formu, sıcaklık ve iki faktörün interaksyonu su aktivitesi değerleri üzerine önemli düzeyde (kurutma formu ve sıcaklık değerleri için $p<0.01$, iki faktörün interaksyonu için ise $p<0.05$ düzeyinde) etki göstermiştir. Kurutma formu, nem miktarı değeri üzerine ($p<0.01$ düzeyinde) etkili tek faktör olarak bulunmuştur (Çizelge 4.35).

Çizelge 4. 35. Yumurta sarısı tozlarının nem miktarı ve su aktivitesi değerlerine ait varyans analiz tablosu

Varyasyon kaynakları	SD	Kuru Madde miktarı		Su aktivitesi	
		KO	F	KO	F
Kurutma formu (F)	1	4.6	23.61**	0.068	103.7**
Sıcaklık (S)	5	0.43	2.21öd	0.0054	8.32**
F×S	5	0.25	1.28öd	0.0033	5.04*
Hata	12	0.19		0.0006	

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

Yumurta sarısı tozlarının kuru madde miktarı ve su aktivitesine değerlerine uygulanan Duncan çoklu karşılaştırma testi sonucunda kurutma formu ve sıcaklığının önemli etkisi olduğu belirlenmiştir (Çizelge 4.36). Nitekim, köpük formda kurutulan yumurta sarısı tozlarının kuru madde içeriği daha yüksek, su aktivitesi ise daha düşük olarak tespit edilmiştir. En yüksek su aktivitesi 100°C kurutulan örneklerde tespit edilmiş ve bunu 60°C ve 50°C’de kurutulan örnekler izlemiştir.

Çizelge 4. 36. Kırınım pencereleli kurutma ile farklı şartlarda kurutulmuş yumurta sarısı tozlarının kuru madde miktarı ve su aktivitesine ait Duncan çoklu karşılaştırma testi sonuçları¹

Varyasyon Kaynakları		Kuru madde miktarı (g/100g)	Su aktivitesi
Kurutma formu	Doğal	97.1±0.1b	0.274±0.014a
	Köpük	98.0±0.1a	0.167±0.014b
Sıcaklık (°C)	50°C	97.2±0.4b	0.228±0.039bc
	60°C	97.6±0.5ab	0.236±0.054b
	70°C	97.5±0.3ab	0.215±0.039bcd
	80°C	98.1±0.3a	0.19±0.031cd
	90°C	97.7±0.3ab	0.175±0.025d
	100°C	97.2±0.1b	0.279±0.012a

¹Farklı harfle işaretlenmiş aynı sütundaki aynı varyasyon kaynağına ait ortalamalar istatistiksel olarak birbirinden farklıdır (p<0.05)

4.3.2. Renk özellikleri

Çalışma kapsamında üretilen yumurta sarısı tozlarının L*, a* ve b* değerleri sırasıyla 73.1-83.3, 3.6-13.7 ve 63.0-72.9 arasında değişim göstermiştir (Çizelge 4.37). Yapılan bir çalışma, dondurarak kurutma ile üretilen yoğurt tozu örneklerinin L* değerlerinin, 50 ve 60°C' de kırınım pencereleli kurutma ile üretilen örneklerle benzer olduğunu göstermiştir. Ancak dondurarak kurutma, kırınım pencereleli kurutmaya kıyasla çok daha yüksek a* değeri ve çok daha düşük b* değeri sağlamıştır. Bu farklılıkların, kırınım pencereleli kurutma sırasında meydana gelen enzimatik olmayan esmerleşme reaksiyonları ile ilgili olabileceği düşünülmüştür (Tontul ve ark., 2021). Yumurta sarısı tozlarının ton açısı ve doygunluk değerleri sırasıyla 79.3-87.0 ve 63.1-74.0 arasında değişim göstermiştir (Çizelge 4.37).

Ham veri sonuçları köpük kurutma ile üretilen yumurta sarısı tozlarının doğal formda kurutulanlara kıyasla daha yüksek L* ve ton açısı değerlerine ve daha düşük a*, b* ve doygunluk değerlerine sahip olduğunu göstermiştir. Kurutma sıcaklığının artışı, kurutma süresini kısaltarak enzimatik olmayan esmerleşme reaksiyonlarının daha az gerçekleşmesini sağlamış ve bu nedenle doygunluk değeri artışını önlemiştir.

Grassi ve Ponsano (2015), tarafından gerçekleştirilen bir çalışmada püskürterek kurutulmuş yumurta sarısı tozlarının L*, a* ve b* değerleri sırasıyla 88.39-91.64, 0.94-1.86, 20.57-23.60 arasında değişim göstermiştir. Mevcut çalışmaya göre önemli düzeyde ağarma olduğunu gösteren bu sonuçlar, püskürterek kurutma sırasında yumurta karotenoidlerinde önemli degradasyon ve oksidasyon reaksiyonlarının meydana geldiğini göstermektedir. Ayrıca bu çalışmada yumurta sarısının kurutulması için sulandırılması

gerekmiştir. Oysa çalışmamızda doğrudan kurutulmuştur. Bu nedenle kırınım pencereleli kurutmanın yumurta sarısı kurutulması için daha uygun bir yöntem olduğu belirtilmelidir.

Çizelge 4. 37. Kırınım pencereleli kurutma ile farklı şartlarda kurutulmuş yumurta sarısı tozlarının renk özellikleri¹

Kurutma formu	Sıcaklık (°C)	L*	a*	b*	Ton açısı	Doygunluk
Doğal	50	73.1±0.1	13.7±0.0	72.7±0.0	79.3±0.0	74.0±0.0
	60	74.0±0.9	13.2±0.9	71.1±0.9	79.5±0.6	72.3±1.0
	70	74.6±1.7	12.8±1.2	71.7±3.2	79.9±0.5	72.9±3.3
	80	77.0±0.0	10.9±0.1	68.5±0.2	81.0±0.0	69.3±0.2
	90	78.1±1.2	9.5±1.1	72.6±0.8	82.6±1.0	73.2±0.6
	100	77.5±1.0	8.1±1.0	72.9±2.6	83.7±0.5	73.3±2.7
Köpük	50	81.4±0.3	5.3±0.0	70.5±1.4	85.7±0.1	70.7±1.4
	60	82.3±0.4	4.7±0.3	68.4±0.3	86.0±0.2	68.6±0.3
	70	82.9±0.3	4.1±0.2	68.7±0.0	86.6±0.2	68.8±0.0
	80	83.3±0.3	3.6±0.3	68.7±0.6	87.0±0.2	68.8±0.6
	90	82.9±0.5	4.4±0.3	64.2±0.6	86.1±0.3	64.4±0.6
	100	82.9±0.4	4.2±0.3	63.0±1.7	86.2±0.2	63.1±1.8

¹ortalama±standart sapma

Varyans analizi sonuçlarına göre kurutma formu, sıcaklık ve iki faktörün interaksyonu tüm renk değerleri üzerine önemli düzeyde etki göstermiştir (Çizelge 4.38).

Çizelge 4. 38. Yumurta sarısı tozlarının renk değerlerine ait varyans analiz tablosu

Varyasyon kaynakları	SD	L*		a*		b*		Ton açısı		Doygunluk	
		KO	F	KO	F	KO	F	KO	F	KO	F
Kurutma formu (F)	1	285.61	474.83**	291.04	713.51**	111.8	55.96**	167.14	989.58**	155.93	72.96**
Sıcaklık (S)	5	7.07	11.76**	6.86	16.83**	7.63	3.82*	3.62	21.43**	9.58	4.5*
F×S	5	2.5	4.15*	4.07	9.99**	15.30	7.66**	3.2	18.94**	13.34	6.24**
Hata	12	0.60		0.40		1.99		0.17		2.13	

**p<0.01 ve *p<0.05 düzeyinde önemli

Çizelge 4.39’da verilen Duncan çoklu karşılaştırma testi sonuçlarına göre köpük formda kurutulmuş örnekler, doğal formda kurutulmuşlara göre daha yüksek L* değerine ancak daha düşük a* ve b* değerine sahip olmuştur. Kurutma sıcaklığının artışı ise L* değerinde artışa, a* ve b* değerlerinde ise azalmaya neden olmuştur. Bu nedenle doğal formda kurutma ve daha düşük kurutma sıcaklıklarının enzimatik olmayan esmerleşme reaksiyonlarını teşvik ettiği söylenebilir. Benzer durum yumurta bütünü tozlarında da gözlenmiştir.

Köpük kurutma ile kurutulmuş örneklerin ton açısı değeri doğal kurutulmuş örneklerle göre önemli düzeyde yüksek bulunmuştur. Kurutma sıcaklığının artması ton açısı değerlerinde kademeli artışa neden olmuştur (Çizelge 4.39).

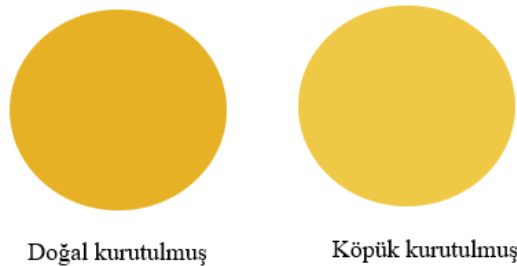
Yumurta sarısı tozlarının doygunluk değeri köpük kurutma ve daha yüksek kurutma sıcaklıklarında azalış göstermiştir (Çizelge 4.39).

Çizelge 4. 39. Kırınım pencereleli kurutma ile farklı şartlarda kurutulmuş yumurta sarısı tozlarının renk özelliklerine ait Duncan çoklu karşılaştırma testi sonuçları¹

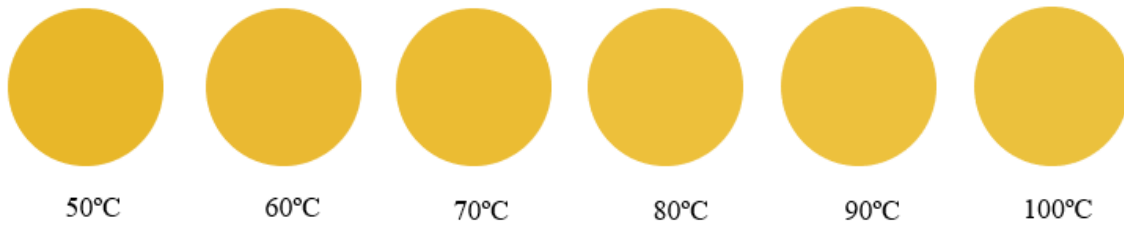
Varyasyon Kaynakları		L*	a*	b*	Ton açısı	Doygunluk
Kurutma formu	Doğal	75.7±0.6b	11.4±0.6a	71.6±0.6a	81.0±0.5b	72.5±0.6a
	Köpük	82.6±0.2a	4.4±0.2b	67.3±0.8b	86.3±0.1a	67.4±0.8b
Sıcaklık (°C)	50°C	77.2±2.4c	9.5±2.4a	71.6±0.8a	82.5±1.8d	72.4±1.0a
	60°C	78.1±2.4bc	9.0±2.5ab	69.8±0.8ab	82.8±1.9cd	70.5±1.1abc
	70°C	78.8±2.4b	8.4±2.5b	70.2±1.3ab	83.3±1.9cd	70.9±1.5ab
	80°C	80.2±1.8a	7.3±2.1c	68.6±0.2b	84.0±1.7b	69.1±0.3bc
	90°C	80.5±1.4a	6.9±1.5cd	68.4±2.4b	84.3±1.1b	68.8±2.6bc
	100°C	80.2±1.6a	6.1±1.2d	67.9±3.0b	85.0±0.7a	68.2±3.1c

¹Farklı harfle işaretlenmiş aynı sütundaki aynı varyasyon kaynağına ait ortalamalar istatistiksel olarak birbirinden farklıdır (p<0.05)

Yumurta tozlarına ait L*, a* ve b* değerlerini kullanılarak Nix sensor adlı site aracılığıyla (<https://www.nixsensor.com/free-color-converter/>) alınan renk çıktısı Şekil 4.5 ve Şekil 4.6’ de verilmiştir.



Şekil 4. 5. Kırınım pencereleli kurutma ile farklı formlarda kurutulmuş toz yumurta sarısı örneklerine ait renk çıktısı



Şekil 4. 6. Kırınım pencereleli kurutma ile farklı sıcaklıklarda kurutulmuş toz yumurta sarısı örneklerine ait renk çıktısı

4.3.3. Yoğunluk, akış özellikleri ve porozite

Yumurta sarısı tozlarının yoğunluk özellikleri yığın yoğunluğu, sıkıştırılmış yoğunluk ve parçacık yoğunluğu olmak üzere 3 farklı kritere göre analiz edilmiştir. Yumurta sarısı tozlarının yığın yoğunluğu $0.208-0.509 \text{ g/cm}^3$, sıkıştırılmış yoğunluğu $0.347-0.619 \text{ g/cm}^3$ ve parçacık yoğunluğu $0.88-4.21 \text{ g/cm}^3$ arasında aralığında değişim göstermiştir (Çizelge 4.40). Köpük formda kurutulmuş tozlar, doğal formda kurutulmuşlara kıyasla daha düşük yığın yoğunluğu ve sıkıştırılmış yoğunluk değerine ancak daha yüksek parçacık yoğunluğuna sahip olmuştur. Kurutma sıcaklığının artışı yığın yoğunluğu ve sıkıştırılmış yoğunluk değerlerinde azalmaya neden olmuştur.

Sıkıştırılabilirlik, tozun akışkanlığı ile ilişkilidir. Sıkıştırılabilirlik ne kadar yüksek olursa bir toz yığınının sıkışma eğilimi o kadar iyi, aksine akma kabiliyeti de o kadar kötü olur (Santl ve ark., 2011).

Çizelge 4. 40. Kırınım pencereleli kurutma ile farklı şartlarda kurutulmuş yumurta sarısı tozlarının yoğunlukları, akış özellikleri ve porozitesi¹

Kurutma formu	Sıcaklık (°C)	Yığın yoğunluğu (g/cm ³)	Sıkıştırılmış yoğunluk (g/cm ³)	Parçacık yoğunluğu (g/cm ³)	Carr indeksi	Hausner oranı	Porozite (%)
Doğal	50	0.501±0.036	0.597±0.076	0.89±0.16	15.8±4.7	1.19±0.07	34.1±16.4
	60	0.497±0.013	0.619±0.064	0.89±0.03	19.4±6.2	1.24±0.09	30.5±5.0
	70	0.494±0.009	0.612±0.077	1.00±0.00	18.8±8.8	1.14±0.00	38.8±7.7
	80	0.509±0.004	0.582±0.005	1.06±0.09	12.5±0.0	1.14±0.00	44.7±4.7
	90	0.497±0.013	0.564±0.002	0.97±0.20	11.9±2.7	1.14±0.03	40.8±12.2
	100	0.413±0.027	0.496±0.016	0.87±0.05	16.9±2.7	1.20±0.04	41.9±3.2
Köpük	50	0.313±0.000	0.403±0.009	1.05±0.19	22.5±1.8	1.29±0.03	56.9±13
	60	0.284±0.004	0.384±0.003	0.96±0.06	25.9±0.4	1.35±0.01	59.6±2.4
	70	0.269±0.009	0.347±0.003	0.88±0.06	22.5±1.8	1.30±0.02	60.1±2.0
	80	0.269±0.000	0.356±0.004	0.88±0.06	24.4±0.9	1.32±0.02	59.1±2.0
	90	0.241±0.004	0.394±0.003	4.21±1.71	38.8±1.8	1.68±0.05	75.7±1.8
	100	0.208±0.011	0.365±0.003	1.19±0.20	43.1±2.6	1.76±0.08	68.2±4.5

¹ortalama±standart sapma

Kırınım pencereleli kurutma yöntemi ile kurutulan yumurta sarısı tozlarının Carr indeksi 11.9-43.1 arasında, Hausner oranı ise 1.14-1.76 arasında değişim göstermiştir (Çizelge 4.40). Doğal formda kurutulan örnekler iyi ya da orta düzeyde akış özelliklerine sahip olmuştur. Köpük formda 50°C, 70°C ve 80°C’de kurutulan örnekler geçerli akış özelliğine sahipken, diğer örnekler zayıf ya da çok kötü akış özellikleri göstermiştir (Çizelge 4.40).

Yumurta sarısı tozlarının porozitesi %30.5 ile %75.7 arasında değişim göstermiştir (Çizelge 4.40). Genel olarak köpük kurutma daha poröz örneklerin eldesine neden olmuştur.

Varyans analizi sonuçlarına göre yığın yoğunluğu, sıkıştırılmış yoğunluk ve parçacık yoğunluğu değerleri üzerinde her iki faktör önemli etki göstermiştir (Çizelge 4.41). Kurutma formu×sıcaklık interaksyonu ise sıkıştırılmış yoğunluk ve parçacık yoğunluğu üzerine etkili bulunmuştur.

Yumurta sarısı tozlarının Carr indeksi, Hausner oranı değerlerine her iki faktör ve interaksyonu önemli etki göstermiştir. Porozite değerleri üzerine kurutma formu ($p<0.01$ düzeyinde) ve sıcaklık ($p<0.05$ düzeyinde) etkilidir (Çizelge 4.41).

Çizelge 4. 41. Yumurta sarısı tozlarının yığın yoğunluğu, sıkıştırılmış yoğunluk, parçacık yoğunluğu, Carr indeksi, Hausner oranı ve porozite değerlerine ait varyans analiz tablosu

Varyasyon kaynakları	SD	Yığın Yoğunluğu		Sıkıştırılmış Yoğunluk		Parçacık Yoğunluğu		Carr İndeksi		Hausner Oranı		Porozite	
		KO	F	KO	F	KO	F	KO	F	KO	F	KO	F
		Kurutma formu (F)	1	0.293	1297.23**	0.248	182.73**	2.01	7.83*	1119.74	79.16**	0.45	200.68**
Sıcaklık (S)	5	0.0045	20.27**	0.002	1.98*	1.76	6.87**	75.95	5.37**	0.046	20.55**	109.6	1.78*
F×S	5	0.0006	2.70öd	0.002	1.72*	1.73	6.74**	106.61	7.54**	0.046	20.68**	49.75	0.81öd
Hata	12	0.0002		0.0013		0.26		14.145		0.0022		61.62	

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

Köpük kurutma ile üretilmiş örnekler doğal formda kurutulanlara göre daha düşük yığın yoğunluğu ve sıkıştırılmış yoğunluk değerlerine sahip olurken, parçacık yoğunluğu daha yüksek olarak tespit edilmiştir. Kurutma sıcaklığının artışı yığın yoğunluğu ve sıkıştırılmış yoğunluk değerlerinde azalmaya neden olmuştur. Örnekler arasında en yüksek parçacık yoğunluğu 90°C'de kurutulan örneklerde tespit edilmiş, diğer sıcaklıklarda kurutulan örnekler istatistiksel olarak benzer parçacık yoğunluğu değerine sahip olmuştur. (Çizelge 4.42). Duncan çoklu karşılaştırma testi sonuçlarına göre 50°C ile 80°C arasında kurutulan örnekler istatistiksel olarak benzer Carr indeksi ve Hausner oranı değerlerine sahip olmuştur (Çizelge 4.42). Ancak daha yüksek kurutma sıcaklıkları akış özelliklerini olumsuz etkilemiştir. Koç ve ark. (2012) tarafından gerçekleştirilen bir çalışmada, düşük su aktivitesi değerlerinde, püskürterek kurutulmuş yumurta tozunun akışkanlığı zayıf ve yapışkanlığı yüksek bulunmuştur.

Beklendiği üzere köpük formda kurutulan örneklerin porozitesi, doğal formda kurutulan örneklere kıyasla daha yüksek olarak tespit edilmiştir (Çizelge 4.42). Kurutma sıcaklığı porozite üzerine önemli bir etki göstermemiştir.

Çizelge 4. 42. Kırınım pencereleli kurutma ile farklı şartlarda kurutulmuş yumurta sarısı tozlarının yoğunluk, akış özellikleri ve porozitesine ait Duncan çoklu karşılaştırma testi sonuçları¹

Varyasyon Kaynakları		Yığın yoğunluğu (g/cm ³)	Sıkıştırılmış yoğunluk (g/cm ³)	Parçacık yoğunluğu (g/cm ³)	Carr indeksi	Hausner oranı	Porozite (%)
Kurutma formu	Doğal	0.49±0.01a	0.58±0.02a	0.95±0.03b	15.9±1.4b	1.18±0.02b	38.5±2.5b
	Köpük	0.26±0.01b	0.37±0.01b	1.53±0.39a	29.5±2.5a	1.45±0.06a	63.3±2.3a
Sıcaklık (°C)	50°C	0.41±0.06a	0.50±0.06a	0.97±0.08b	19.2±2.4bc	1.24±0.04c	45.5±8.9a
	60°C	0.39±0.06ab	0.50±0.07a	0.93±0.03b	22.7±2.6bc	1.30±0.04c	45.1±8.6a
	70°C	0.38±0.07b	0.48±0.08ab	0.94±0.04b	20.6±2.8bc	1.22±0.05c	49.5±6.6a
	80°C	0.39±0.07ab	0.47±0.07ab	0.97±0.06b	18.4±3.4c	1.23±0.05c	51.9±4.4a
	90°C	0.37±0.07b	0.48±0.05ab	2.59±1.06a	25.3±7.8ab	1.41±0.16b	58.2±10.7a
	100°C	0.31±0.06c	0.43±0.04b	1.03±0.11b	30.0±7.6a	1.48±0.16a	55.1±7.8a

¹Farklı harfle işaretlenmiş aynı sütundaki aynı varyasyon kaynağına ait ortalamalar istatistiksel olarak birbirinden farklıdır (p<0.05)

4.4.4. Protein oranı, denatürasyon entalpisi, higroskopisite ve yüzey hidrofobisitesi

Yumurta sarısı tozlarının protein oranı %43.4-%44.7 arasında değişim göstermiştir (Çizelge 4.43). Kudre ve ark. (2018) dondurarak kurutulmuş yumurta sarısı tozlarının protein oranını %91.57 olarak ortaya koymuştur. Sonuçlar arasındaki önemli farklılığın hammadde farklılığından kaynaklandığı değerlendirilmektedir.

Yumurta sarısı tozlarının protein denatürasyonu 74.59-85.13°C sıcaklıkları arasında meydana gelmiş ve denatürasyon entalpisi 0.18 ile 1.91 J/g arasında tespit edilmiştir (Çizelge 4.43). Doğal formda 90 ve 100 °C’de kurutulan örneklerin denatürasyon entalpisi diğer sıcaklıklara göre çok düşük olarak tespit edilmiştir.

Yumurta sarısı tozlarının higroskopisite değeri %18.5’den daha düşük olarak tespit edilmiş olup (Çizelge 4.43), bu nedenle düşük düzeyde higroskopisiteye sahip olduğu söylenebilir (Nurhadi ve ark., 2012).

Örneklerin yüzey hidrofobisitesi %20.3 ile %86.6 arasında değişmiştir (Çizelge 4.43). Genel olarak köpük formda kurutma çok daha düşük yüzey hidrofobisitesi sağlamıştır.

Çizelge 4. 43. Kırınım pencereleli kurutma ile farklı şartlarda kurutulmuş yumurta sarısı tozlarının protein oranı, denatürasyon entalpisi, higroskopisitesi ve yüzey hidrofobisitesi¹

Kurutma formu	Sıcaklık (°C)	Protein oranı (%)	Denatürasyon entalpisi (J/g)	Higroskopisite (%)	Yüzey hidrofobisitesi (%)
Doğal	50	43.4±0.1	1.18±0.56	18.5±0.3	52.4±2.9
	60	43.8±0.1	1.91±0.10	17.2±1.1	39.8±11.1
	70	43.5±0.2	1.16±0.31	17.7±0.9	58.5±16.9
	80	43.8±0.4	1.11±0.70	17.3±1.0	62.3±18.1
	90	43.9±0.0	0.69±0.19	17.5±0.3	76.4±8.1
	100	44.7±0.2	0.18±0.01	17.7±1.0	86.6±12.9
Köpük	50	43.9±0.7	0.84±0.71	17.9±0.6	26.1±0.5
	60	43.3±0.0	1.48±0.05	18.1±0.7	20.3±5.1
	70	43.9±0.2	1.53±0.29	18.2±0.4	28.1±15.0
	80	44.1±0.2	1.67±0.11	17.7±0.0	21.0±6.4
	90	45.2±0.3	1.09±0.86	17.8±0.1	20.5±0.2
	100	44.6±0.2	1.80±0.06	17.4±0.7	21.4±9.9

¹ortalama±standart sapma

Varyans analizi sonuçlarına göre yumurta sarısı tozlarının protein oranı ve yüzey hidrofobisitesi değerleri üzerine her iki faktör önemli düzeyde etki göstermiştir. Her iki faktörün interaksyonu ise bu özelliklerden yalnızca protein değeri üzerinde etkili olmuştur (Çizelge 4.44). Denatürasyon entalpisi ve higroskopisite değerleri varyasyon kaynaklarından etkilenmemiştir.

Çizelge 4. 44. Yumurta sarısı tozlarının protein oranı, denatürasyon entalpisi ve yüzey hidrofobisitesi değerlerine ait varyans analiz tablosu

Varyasyon kaynakları	SD	Protein oranı		Denatürasyon entalpisi		Higroskopisite		Yüzey hidrofobisitesi	
		KO	F	KO	F	KO	F	KO	F
Kurutma formu (F)	1	0.55	7.01*	0.80	4.19öd	0.284	0.60öd	9489.9	83.14**
Sıcaklık (S)	5	0.916	11.70**	0.38	1.98öd	0.289	0.61öd	267.17	2.34*
F×S	5	0.365	4.67*	0.55	2.86öd	0.308	0.65öd	317.92	2.79öd
Hata	12	0.078		0.19		0.471		114.14	

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

Duncan çoklu karşılaştırma testi sonuçları köpük formda kurutmanın yumurta sarısı tozlarında doğal kurutmaya göre daha yüksek protein oranı sağladığını göstermiştir. 90 ve 100°C’de kurutulan örnekler istatistiksel olarak benzer ve diğer kurutma sıcaklıklarından daha yüksek protein oranına sahip olmuştur (Çizelge 4.45). Yumurta bütünü tozlarına benzer olarak tespit edilen bu durumun enzimatik olmayan esmerleşme reaksiyonlarına katılan amino asitlerden kaynaklandığı değerlendirilmiştir.

Farklı formda kurutulan yumurta sarısı tozlarının denatürasyon entalpisi istatistiksel olarak benzer olarak bulunmuştur. Varyans analizine göre önemsiz olsa da Duncan çoklu karşılaştırma testi sonuçlarına göre kurutma sıcaklıkları karşılaştırıldığında en yüksek denatürasyon entalpisi 60°C’de, en düşük denatürasyon entalpisi ise 90°C’de kurutulan örneklerde tespit edilmiştir (Çizelge 4.45).

Kurutma formu ve sıcaklığı örneklerin higroskopisite değeri üzerine önemli bir etkide bulunmamıştır (Çizelge 4.45).

Yumurta bütünü tozlarında oluşu gibi yumurta sarısı tozlarının formu yüzey hidrofobisitesi üzerinde önemli bir farklılığa neden olmuştur (Çizelge 4.45). Doğal formda kurutulan örneklerin yüzey hidrofobisitesi, köpük formda kurutulanlara göre yüksek olarak bulunmuştur. Yumurta bütünü bölümünde tartışıldığı üzere bu durumun köpük kurutma sırasında proteinlerle birlikte yağların difüzyonunda önlenmesi sonucunda yüzey bileşiminin farklılaşmasından kaynaklandığı değerlendirilmiştir. En yüksek yüzey hidrofobisitesi değerleri 100 ve 90°C’de kurutulmuş örneklerde tespit edilmiştir (Çizelge 4.45). Ancak bu örnekler yalnızca 60°C’de kurutulan örneğe kıyasla daha yüksek yüzey hidrofobisitesi değerine sahip olmuştur.

Çizelge 4. 45. Kırınım pencereleli kurutma ile farklı şartlarda kurutulmuş yumurta sarısı tozlarının protein oranı denatürasyon entalpisi, higroskopisite ve yüzey hidrofobisitesine ait Duncan çoklu karşılaştırma testi sonuçları¹

Varyasyon Kaynakları		Protein oranı (%)	Denatürasyon entalpisi (J/g)	Higroskopisite (%)	Yüzey hidrofobisitesi (%)
Kurutma formu	Doğal	43.8±0.1b	1.04±0.18a	17.6±0.2a	62.7±5.4a
	Köpük	44.2±0.2a	1.40±0.14a	17.9±0.1a	22.9±2.0b
Sıcaklık (°C)	50°C	43.6±0.2b	1.01±0.28ab	18.2±0.3a	39.3±7.6ab
	60°C	43.6±0.2b	1.69±0.13a	17.7±0.5a	30.1±6.7b
	70°C	43.7±0.1b	1.34±0.16ab	18.0±0.3a	43.3±10.9ab
	80°C	43.9±0.2b	1.39±0.26ab	17.5±0.3a	41.6±13.2ab
	90°C	44.5±0.4a	0.89±0.28b	17.6±0.1a	48.4±16.3a
	100°C	44.7±0.1a	0.99±0.47ab	17.6±0.4a	54.0±19.4a

¹Farklı harfle işaretlenmiş aynı sütundaki aynı varyasyon kaynağına ait ortalamalar istatistiksel olarak birbirinden farklıdır (p<0.05)

4.4.5. Çözünürlük ve emülsiyon stabilitesi

Çözünürlük, özellikle kullanıma hazır (instant) ürünler için önemli bir parametredir (Tontul ve ark., 2018b). Kurutulan yumurta sarısı tozlarının çözünürlüğü %35.4 ile %77.0 arasında değişmiştir (Çizelge 4.46). Daha önce yapılan bir çalışmada dondurarak kurutma ile üretilen yoğurt tozlarının çözünürlüğünün (%34.8) kırınım pencereleli kurutma ile üretilen örneklerine (%46.5-49.6) çok daha düşük olduğu belirlenmiştir (Tontul ve ark., 2018b).

Örnekler ile hazırlanan emülsiyonların elektriksel iletkenliği analiz boyunca değişim göstermemiştir. Bu nedenle yumurta sarısı tozları yüksek emülsiyon stabilitesi sağlamıştır (Çizelge 4.46). Daha önce yapılan bir çalışmada etüvde kurutulmuş yumurta sarısı tozunun emülsifikasyon stabilitesi %72.4 olarak belirlenmiştir (Ndife ve ark., 2010). Bir başka çalışmada, Kudre ve ark. (2018) dondurarak kurutulmuş yumurta sarısı tozunun emülsifikasyon stabilitesini %74.94-100.81 arasında belirlemiştir. Mevcut çalışmada elde edilen sonuçlar literatür ile uyumlu olarak bulunmuştur.

Çizelge 4. 46. Kırınım pencereleli kurutma ile farklı şartlarda kurutulmuş yumurta sarısı tozlarının çözünürlüğü ve emülsiyon stabilitesi¹

Kurutma formu	Sıcaklık (°C)	Çözünürlük (%)	Emülsiyon stabilitesi (%)
Doğal	50	50.7±14.3	100±0.1
	60	54.7±20.0	100±0.0
	70	39.1±1.3	100±0.0
	80	41.5±3.0	100±0.0
	90	35.4±1.0	100±0.0
	100	45.3±0.0	100±0.0
Köpük	50	77.0±21.8	100±0.0
	60	74.9±3.7	100±0.0
	70	76.2±6.5	100±0.0
	80	76.0±8.4	100±0.0
	90	74.3±19.0	100±0.0
	100	66.5±6.9	100±0.0

¹ortalama±standart sapma

Varyans analizi sonuçlarına göre sadece kurutma formunun yumurta sarısı tozlarının çözünürlük değeri üzerinde önemli etkisi olduğu belirlenmiştir (p<0.01) (Çizelge 4.47). Kurutma formu, sıcaklık ve iki faktörün interaksyonu ise yumurta sarısı tozlarının emülsiyon stabilitesi değeri üzerinde istatistiksel olarak önemli etkide bulunmamıştır.

Çizelge 4. 47. Yumurta sarısı tozlarının çözünürlük ve emülsiyon değerlerine ait varyans analiz tablosu

Varyasyon kaynakları	SD	Çözünürlük		Emülsiyon	
		KO	F	KO	F
Kurutma formu (F)	1	5289.7	39.05**	0.0002	1öd
Sıcaklık (S)	5	68.64	0.51öd	0.0002	1öd
F×S	12	67.66	0.50öd	0.0002	1öd
Hata		135.47		0.0002	

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

Duncan çoklu karşılaştırma testi sonuçlarına göre köpük formda kurutulan yumurta sarısı tozlarının çözünürlüğünün (%74.1), doğal formda kurutulanlara (%44.4) göre önemli düzeyde yüksek olarak tespit edilmiştir (Çizelge 4.48). Yumurta akı ve bütününde de görülen bu durumun geniş yüzey alanı ve porozite kaynaklı su etkileşiminin artışına bağlı olduğu değerlendirilmiştir. Kurutma sıcaklığı örneklerin çözünürlüğü üzerine istatistiksel olarak önemli bir etkide bulunmamıştır (Çizelge 4.48).

Varyans analizi sonuçlarına paralel olarak Duncan çoklu karşılaştırma testi sonuçları da kurutma şartlarındaki farklılığın emülsiyon stabilitesi üzerine önemli etkisi olmadığını göstermiştir.

Çizelge 4. 48. Kırınım pencereleli kurutma ile farklı şartlarda kurutulmuş yumurta sarısı tozlarının çözünürlük ve emülsiyon stabilitesine ait Duncan çoklu karşılaştırma testi sonuçları¹

Varyasyon Kaynakları		Çözünürlük (%)	Emülsiyon stabilitesi (%)
Kurutma formu	Doğal	44.4±2.9b	100±0a
	Köpük	74.1±3a	100±0a
Sıcaklık (°C)	50°C	63.9±10.7a	100±0a
	60°C	64.8±8.3a	100±0a
	70°C	57.6±10.9a	100±0a
	80°C	58.8±10.3a	100±0a
	90°C	54.8±12.5a	100±0a
	100°C	55.9±6.4a	100±0a

¹Farklı harfle işaretlenmiş aynı sütundaki aynı varyasyon kaynağına ait ortalamalar istatistiksel olarak birbirinden farklıdır (p<0.05)

4.3.6. Genel değerlendirme

Köpük formda kurutulan yumurta sarısı tozlarının kuru madde içeriği daha yüksek, su aktivitesi ise daha düşük olarak tespit edilmiştir. Köpük kurutma ile üretilen yumurta sarısı tozlarının doğal formda kurutulanlara kıyasla daha yüksek L* ve ton açısı değerlerine ve daha düşük a*, b* ve doygunluk değerlerine sahip olduğu gözlenmiştir. Kurutma sıcaklığının artışı, kurutma süresini kısaltarak enzimatik olmayan esmerleşme reaksiyonlarının daha az gerçekleşmesini sağlamış ve bu nedenle L* ve ton açısı değerlerinde artışa, a*, b* ve doygunluk değerlerinde ise azalmaya neden olmuştur.

Köpük formda kurutulmuş tozlar, doğal formda kurutulmuşlara kıyasla daha düşük yığın yoğunluğu, sıkıştırılmış yoğunluk ve yüzey hidrofobisitesi değerlerine ve daha yüksek parçacık yoğunluğu, porozite değerleri, protein oranı ve çözünürlük değerlerine sahip olmuştur. Doğal formda kurutulan örnekler iyi ya da orta düzeyde akış özelliklerine sahip olmuştur.

Yapılan analizler sonucunda en uygun kurutma şartları olarak yumurta sarısı için köpük formda 80°C olarak belirlenmiştir.

5. SONUÇLAR VE ÖNERİLER

Çalışmada elde edilen bulgular aşağıda maddeler halinde sunulmuştur.

- Çalışma sonucunda renk ve çözünürlük özellikleri açısından köpük formda kurutma, akış özellikleri ve higroskopisite açısından ise doğal formda kurutma daha üstün özellikler sağlamıştır.
- Kurutma sıcaklığının artışı kurutma süresinin kısalmasına neden olmuştur.
- Farklı formlarda (doğal veya köpük) kurutma yumurta akı tozlarının kuru madde miktarı ve su aktivitesi üzerine herhangi bir etkisi olmazken, yumurta bütünü ve yumurta sarısı tozlarında kuru madde miktarı ve su aktivitesi üzerinde önemli etki göstermiştir. Nitekim köpük formda kurutma doğal forma kıyasla daha yüksek kuru madde miktarı ve daha düşük su aktivitesi sağlamıştır.
- Yumurta akı ve bütünü tozlarında olduğu gibi doğal formda kurutulan yumurta sarısı örneklerinin doygunluk değerleri, köpük formda kurutulanlara göre daha yüksek olarak tespit edilmiştir.
- Genel olarak doğal formda kurutma ve daha yüksek kurutma sıcaklıkları renk özelliklerinde daha fazla değişime neden olmuştur. Bu durum bu şartlarda daha fazla esmerleşme reaksiyonları gerçekleşmesine bağlanmıştır.
- Beklenildiği üzere köpük kurutma porozitede artışa neden olmuş, kurutma sıcaklığı ise porozite üzerine önemli etki göstermemiştir.
- Kurutma şartlarının örneklerin protein miktarı ve denatürasyon entalpisi üzerine etkisi önemsiz olarak belirlenmiştir.
- Kurutma sıcaklığındaki değişim higroskopisite üzerine önemli etki göstermezken, köpük formda kurutma doğal formda kurutmaya kıyasla önemli düzeyde yüksek higroskopisiteye neden olmuştur.
- Yumurta akı tozlarında kurutma formu yüzey hidrofobisitesi üzerinde önemli farklılık yaratmamıştır. Ancak yumurta bütünü ve sarısında doğal formda kurutma yüzey hidrofobisitesini arttırmıştır. Ayrıca kurutma sıcaklığının artışı yüzey hidrofobisitesini arttırıcı etki göstermiştir. Bu durumun doğal form ve yüksek sıcaklıklarda artan protein denatürasyondan kaynaklandığı değerlendirilmiştir.

- Köpük formda kurutulmuş örneklerin çözünürlüğü doğal formda kurutulmuş örneklerle kıyasla önemli düzeyde yüksek olarak belirlenmiştir.
- Çözünürlük, emülsiyon stabilitesi ve jel sertliği üzerine kurutma formu ve sıcaklığın etkisi az ya da önemsiz olarak tespit edilmiştir.
- Yapılan analizler sonucunda en uygun kurutma şartları olarak yumurta akı için köpük formda 80°C, yumurta bütünü için köpük formda 90°C ve yumurta sarısı için ise köpük formda 80°C olarak belirlenmiştir. Optimum şartlarda kurutma süresi yumurta akı, bütünü ve sarısı için sırasıyla 10, 5 ve 8 dk olarak belirlenmiştir.
- Sonuç olarak, kırınım pencereleli kurutma teknolojisinin yumurta üretimi için etkili, ekonomik ve hızlı bir teknik olduğu belirlenmiştir.

5. 1. Öneriler

Son yıllarda diğer kurutma yöntemlerine kıyasla kırınım pencereleli kurutma tekniği, kurutulmuş gıdanın kalite özelliklerini koruması, daha yüksek enerji verimliliği ve çoğu vejetatif bakteriyel patojenin inaktivasyonu sağlaması gibi özellikleri ile ön plana çıkmaktadır. Yapılan çalışmada yumurta tozunun başarıyla kurutulabileceği görülmüştür. Ancak prosesin etkinliğinin geliştirilmesi için yapılabilecek bazı çalışmalar bulunmaktadır. Örneğin, kırınım pencereleli kurutma yönteminde ısı transferini iyileştirmek ve ürün kalitesini arttırmak amacıyla bazı modifikasyonlar gerçekleştirilebilir. Böylece devam eden çalışmalarda bu tekniklerin yumurta üretiminde kullanımının araştırılması önerilmektedir. Aynı zamanda farklı depolama koşullarının, kırınım pencereleli kurutma ve köpük kurutma ile kurutulmuş yumurta tozlarının fiziksel, kimyasal ve toz özellikleri üzerindeki etkisi sonraki çalışmalarda incelenebilir.

6. KAYNAKLAR

- Abonyi, B. I., Feng, H., Tang, J., Edwards, C. G., Chew, B. P., Mattinson, D. S. and Fellman, J. K., 2002, Quality retention in strawberry and carrot purees, dried with Refractance Window system. *Journal of Food Science*, 67 (3), 1051-1056.
- Abrha Woldu, E., 2020., *Effect of Drying Methods and Egg Types on Basic Quality and Shelf Stability of Whole Egg Powder* (Doctoral dissertation, Addis Ababa University).
- Abul-Fadl, M. and Ghanem, T., 2011, Effect of Refractance Window (RW) drying method on quality criteria of produced tomato powders as compared to the convection drying method, *World Applied Sciences Journal*, 15 (7), 953–965.
- Açıkgöz, Z. ve Önenç, S. S., 2006, Fonksiyonel yumurta üretimi. *Hayvansal Üretim*, 47(1), 36-46.
- AEB (American Egg Board), 1999, *Eggyclopedia – The incredible edible egg*, Park Ridge, IL.
- Anandharamakrishnan, C., Rielly, C. D. and Stapley, A. G. F., 2007, Effects of process variables on the denaturation of whey proteins during spray drying, *Drying Technology*, 25(5), 799-807.
- Asghar, A. and Abbas, M., 2015, Effect of spray-dried whole egg powder on the physicochemical and sensory properties of cake, *American Journal of Scientific and Industrial Research*, 6, 97-102.
- Azizi, D., Jafari, S. M., Mirzaei, H. and Dehnad, D., 2017, The influence of Refractance Window drying on qualitative properties of kiwifruit slices, *International Journal of Food Engineering*, 13 (2), 20160201.
- Baeghbali, V. and 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.
- Baeghbali, V., Ngadi, M. and Niakousari, M., 2020, Effects of ultrasound and infrared assisted conductive hydro-drying, freeze-drying and oven drying on physicochemical properties of okra slices, *Innovative Food Science & Emerging Technologies*, 63, 102313.
- Baeghbali, V., Niakosari, M. And Kiani, M., 2010, Design, manufacture and investigating functionality of a new batch Refractance Window system, In *Proceedings of 5th International Conference on Innovations in Food and Bioprocess Technology*, 7 (9), 1-7.
- Baeghbali, V., Niakousari, M. and Farahnaky, A., 2016, Refractance Window drying of pomegranate juice: Quality retention and energy efficiency, *Lebensmittel-Wissenschaft und -Technologie- Food Science and Technology*, 66, 34–40.

- Baeghbali, V., Niakousari, M., Ngadi, M. O. and Hadi Eskandari, M., 2019, Combined ultrasound and infrared assisted conductive hydro-drying of apple slices, *Drying Technology*, 37, 1793–1805.
- Bashir, L., Ossai, P. C., Shittu, O. K., Abubakar, A. N. and Caleb, T., 2015, Comparison of the nutritional value of egg yolk and egg albumin from domestic chicken, guinea fowl and hybrid chicken, *Journal of Experimental Agriculture International*, 310-316.
- Bergquist, D. H., Cunningham, F. E. and Eggleston, R. M., 1978, U.S. Patent No. 4,115,592. Washington, DC: U.S. Patent and Trademark Office.
- Beristain, C. I., Garcia, H. S. and 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.
- Bernaert, N., Van Droogenbroeck, B., Van Pamel, E. and De Ruyck, H., 2019, Innovative refractance window drying technology to keep nutrient value during processing, *Trends in Food Science & Technology*, 84, 22-24.
- Beuchat, L. R., 1981, Microbial stability as affected by water activity, *Cereal Foods World*, 26 (7), 345-349.
- Bicudo, M. O. P., J6, J., Oliveira, G. A. D., Chaimsohn, F. P., Sierakowski, M. R., Freitas, R. A. D. and Ribani, R. H., 2015, Microencapsulation of juçara (*Euterpe edulis* M.) pulp by spray drying using different carriers and drying temperatures, *Drying Technology*, 33 (2), 153-161.
- Campbell, L., Raikos, V. and Euston, S. R., 2003, Modification of functional properties of egg-white proteins, *Food/Nahrung*, 47 (6), 369-376.
- Cano-Chauca, M., Stringheta, P. C., Ramos, A. M. and Cal-Vidal, J., 2005, Effect of the carriers on the microstructure of mango powder obtained by spray drying and its functional characterization, *Innovative Food Science & Emerging Technologies*, 6 (4), 420-428.
- Caparino, O. A., Tang, J., Nindo, C. I., Sablani, S. S., Powers, J. R. and Fellman, J. K., 2012, Effect of drying methods on the physical properties and microstructures of mango (Philippine 'Carabao' var.) powder, *Journal of Food Engineering*, 111 (1), 135-148.
- Castoldi, M., Zotarelli, M. F., Durigon, A., Carciofi, B. A. M. and Laurindo J. B., 2015, Production of tomato powder by refractance window drying, *Drying Technology*, 33, 1463–1473.
- Celli, G. B., Khatlab, R., Ghanem, A. and Brooks, M. S. L., 2016, Refractance Window™ drying of haskap berry- Preliminary results on anthocyanin retention and physicochemical properties, *Food Chemistry*, 194, 218–221.
- Cemeroğlu, B. S., 2018, Meyve ve Sebze İşleme Teknolojisi, Bizim Grup Basımevi.

- Clarke, P.T., 2004, Refractance window - "down under", *Proceedings of the 14th International Drying Symposium*, 813-820.
- Damodaran, S., Parkin, K. L. and Fennema, O. R., (Eds.) 2007, *Fennema's food chemistry*. CRC press.
- Datta, A. K. and George, J. P., 2002, Development and validation of heat and mass transfer models for freeze-drying of vegetable slices, *Journal of Food Engineering*, 52 (1), 89-93.
- Du, J., Ge, Z. Z., Xu, Z., Zou, B., Zhang, Y. and Li, C. M., 2014, Comparison of the efficiency of five different drying carriers on the spray drying of persimmon pulp powders, *Drying Technology*, 32 (10), 1157-1166.
- Fang, Z. and Bhandari, B., 2012, Comparing the efficiency of protein and maltodextrin on spray drying of bayberry juice, *Food Research International*, 48 (2), 478-483.
- Feng, H., Yin, Y. and Tang, J., 2012, Microwave drying of food and agricultural materials: basics and heat and mass transfer modeling, *Food Engineering Reviews*, 4 (2), 89-106.
- Fitzpatrick, J., 2013, Powder properties in food production systems. In *Handbook of food powders*, Woodhead Publishing, 285-308.
- Franco, T. S., Perussello, C. A., Ellendersen, L. D. S. N. and Masson, M. L., 2015, Foam mat drying of yacon juice: Experimental analysis and computer simulation, *Journal of Food Engineering*, 158, 48-57.
- Franke, K. and Kießling, M., 2002, Influence of spray drying conditions on functionality of dried whole egg, *Journal of the Science of Food and Agriculture*, 82 (15), 1837-1841.
- Fujita, H., Sasaki, R. and Yoshikawa, M., 1995, Potentiation of the antihypertensive activity of orally administered ovokinin, a vasorelaxing peptide derived from ovalbumin, by emulsification in egg phosphatidylcholine, *Bioscience, biotechnology, and biochemistry*, 59 (12), 2344-2345.
- Galdino, P. O., de Figueirêdo, R. M., Queiroz, A. J. D. M. and Galdino, P. O., 2016, Drying kinetics of atemoya pulp, *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*, 20, 672-677.
- Gharbi, N. and Labbafi, M., 2018, Effect of processing on aggregation mechanism of egg white proteins. *Food Chemistry*, 252, 126-133.
- Gharsallaoui, A., Roudaut, G., Chambin, O., Voilley, A. and Saurel, R., 2007, Applications of spray-drying in microencapsulation of food ingredients: An overview, *Food Research International*, 40 (9), 1107-1121.
- Gonzalez, F.P.S., 2017, The effect of storage temperature and time on the quality of spray dried egg powder, *Yüksek Lisans Tezi*, Louisiana State University, 54 p.

- Grabowski, J. A., Truong, V. D. and Daubert, C. R., 2006, Spray-drying of amylase hydrolyzed sweetpotato puree and physicochemical properties of powder, *Journal of food Science*, 71 (5), E209-E217.
- Grassi, T. L. M. and Ponsano, E. H. G., 2015, Dehydration of egg yolks by spray drying at different temperatures, *Pesquisa Agropecuária Brasileira*, 50 (12), 1186-1191.
- Guérin-Dubiard, C., Anton, M., Gautron, J., Nys, Y. and Nau, F., 2010, Composition de l'oeuf, *Science et Technologie de L'œuf*, 2, 1-177.
- Hernandez-Santos, B., Martinez-Sanchez, C.E., Torruco-Uco, J.G., Rodriguez-Miranda, J., Ruiz-Lopez, I.I., Vajando-Anaya, E.S., Carmona-Garcia, R. and Herman-Lara, E., 2016, Evaluation of physical and chemical properties of carrots dried by Refractance Window drying, *Drying Technology*, 34 (12), 1414-1422.
- Horuz, E., Jaafar, H. J. and Maskan, M., 2017, Ultrasonication as pretreatment for drying of tomato slices in a hot air–microwave hybrid oven, *Drying Technology*, 35 (7), 849-859.
- Jaekel, T., Dautel, K. and Ternes, W., 2008, Preserving functional properties of hen's egg yolk during freeze-drying, *Journal of Food Engineering*, 87 (4), 522-526.
- Jafari, S.M., Azizi, D., Mirzaei, H. and Dehnad, D., 2016, Comparing quality characteristics of oven-dried and refractance window-dried kiwifruits, *Journal of Food Processing and Preservation*, 40 (3), 362-372.
- Jesús, M. N. D., Zanqui, A. B., Valderrama, P., Tanamati, A., Maruyama, S. A., Souza, N. E. D. and Matsushita, M., 2013, Sensory and physico-chemical characteristics of desserts prepared with egg products processed by freeze and spray drying, *Food Science and Technology*, 33 (3), 549-554
- Jinapong, N., Suphantharika, M. and Jamnong, P., 2008, Production of instant soymilk powders by ultrafiltration, spray drying and fluidized bed agglomeration, *Journal of Food Engineering*, 84 (2), 194-205.
- Kalender, V., 2013, Mikrodalga Gücünün Kurutma Zamanı ve Kurutma Kalitesi Üzerine Etkisi, *Yüksek Lisans Tezi*, Pamukkale üniversitesi, Denizli.
- Kandasamy, P., Varadharaju, N. and Kalemullah, S., 2012, Foam mat drying of papaya (*Carica papaya* L.) using glycerol monostearate as foaming agent, *Food Science and Quality Management*, 9, 17–27.
- Kaspar, K.L., Park, J.S., Mathison, B.D., Brown, C.R., Massimino, S. and Chew, B.P., 2012, Processing of pigmented-flesh potatoes (*Solanum tuberosum* L.) on the retention of bioactive compounds, *International Journal of Food Science and Technology*, 47, 376–382.
- Katekhong, W., and Charoenrein, S., 2017, Color and gelling properties of dried egg white: Effect of drying methods and storage conditions, *International Journal of Food Properties*, 20 (9), 2157-2168.

- Kato, A., Ibrahim, H. R., Watanabe, H., Honma, K. and Kobayashi, K., 1989, New approach to improve the gelling and surface functional properties of dried egg white by heating in dry state, *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 37 (2), 433-437.
- Koç, M., Koç, B., Susyal, G., Yilmazer, M. S., Ertekin, F. K. and Bağdatlıoğlu, N. 2011a, Functional and physicochemical properties of whole egg powder: effect of spray drying conditions, *Journal of Food Science and Technology*, 48 (2), 141-149.
- Koç, M., Koç, B., Yilmazer, M. S., Ertekin, F. K., Susyal, G. and Bağdatlıoğlu, N. 2011b, Physicochemical characterization of whole egg powder microencapsulated by spray drying, *Drying Technology*, 29 (7), 780-788).
- Koç, M., Koç, B., Güngör, Ö. and Ertekin, F. K., 2012, The effects of moisture on physical properties of spray-dried egg powder. *Drying Technology*, 30(6), 567-573.
- Koç, B., Yilmazer, M. S., Ertekin, F. K., and Balkır, P., 2014, Physical properties of yoghurt powder produced by spray drying, *Journal of Food Science and Technology*, 51 (7), 1377-1383.
- Koç M. ve Ertekin F. K., 2016, Şeker içeriği yüksek gıdaların püskürtülerek kurutulması: ürün kazanımı ve toz ürün özelliklerinin geliştirilmesi, *Türk Tarım – Gıda Bilim ve Teknoloji Dergisi*, 4 (5), 336-344.
- Kudra, T. and Ratti, C., 2006, Foam-mat drying: Energy and cost analyses, *Canadian Biosystems Engineering*, 48, 3.
- Kudre, T. G., Bejjanki, S. K., Kanwate, B. W. and Sakhare, P. Z., 2018, Comparative study on physicochemical and functional properties of egg powders from Japanese quail and white Leghorn chicken, *International Journal of Food Properties*, 21 (1), 957-972.
- Kumar, C. and Karim, M. A., 2019, Microwave-convective drying of food materials: A critical review, *Critical Reviews in Food Science and Nutrition*, 59(3), 379-394.
- Kumar, C., Joardder, M. U. H., Farrell, T. W., Millar, G. J. and Karim, M. A., 2016, Mathematical model for intermittent microwave convective drying of food materials, *Drying Technology*, 34 (8), 962-973.
- Landa, M.V. and Raesb, K., 2019, Refractance window drying of fish silage – An initial investigation into the effects of physicochemical properties on drying efficiency and nutritional quality, *LWT - Food Science and Technology* 102 (2019), 71–74.
- Larder, C. E., Baeghbali, V., Pilon, C., Iskandar, M. M., Donnelly, D. J., Pacheco, S., Godbout, S., Ngadi, M. O. and Kubow, S., 2019, Effect of non-conventional drying methods on *in vitro* starch digestibility assessment of cooked potato genotypes, *Foods*, 8 (9), 382.

- Lechevalier, V., Jeantet, R., Arhaliass, A., Legrand, J. and Nau, F., 2007, Egg white drying: Influence of industrial processing steps on protein structure and functionalities, *Journal of Food Engineering*, 83 (3), 404-413.
- Lechevalier, V., Nau, F. and Jeantet, R., 2013, Powdered egg. In *Handbook of food powders*, Woodhead Publishing, 484-512.
- Lee, H. S., 2000, Objective measurement of red grapefruit juice color. *Journal of agricultural and food chemistry*, 48(5), 1507-1511.
- Li, P., Jin, Y. and Sheng, L., 2020, Impact of microwave assisted phosphorylation on the physicochemistry and rehydration behaviour of egg white powder, *Food Hydrocolloids*, 100, 105380.
- Li-Chan, E. C. Y., Powrie, W. D. and Nakai, S., 2017, The Chemistry of Eggs and Egg Products, (Eds. Stadelman, W. J. Ve Cotterill, O. J.), Egg science and technology, CRC Press, 4th ed., New york, Amerika Birleşik Devletleri, s. 110.
- Lili, L., Huan, W., Guangyue, R., Xu, D., Dan, L. and Guangjun, Y., 2015, Effects of freeze-drying and spray drying processes on functional properties of phosphorylation of egg white protein, *International Journal of Agricultural and Biological Engineering*, 8 (4), 116-123.
- Liu, Y., Sun, Y., Yu, H., Yin, Y., Li, X. and Duan, X., 2017, Hot air drying of purple-fleshed sweet potato with contact ultrasound assistance, *Drying Technology*, 35 (5), 564-576.
- Magoon, R. E., 1986, Method and Apparatus for Drying Fruit Pulp and the Like. US Vegetable Waste Patent, 4.
- Mine, Y., 2002, Recent advances in egg protein functionality in the food system, *World's Poultry Science Journal*, 58(1), 31-39.
- Minjares-Fuentes, R., Femenia, A., Comas-Serra, F., Rosselló, C., Rodríguez-González, V. M., González-Laredo, R. F., Gallegos-Infante., J. A. and Medina-Torres, L., 2016, Effect of different drying procedures on physicochemical properties and flow behavior of Aloe vera (*Aloe barbadensis* Miller) gel, *LWT-Food Science and Technology*, 74, 378-386.
- Mishra, P., Mishra, S. and Mahanta, C. L., 2014, Effect of maltodextrin concentration and inlet temperature during spray drying on physicochemical and antioxidant properties of amla (*Emblca officinalis*) juice powder, *Food and Bioprocess Processing*, 92 (3), 252-258.
- Moses, J. A., Norton, T., Alagusundaram, K. and Tiwari, B. K., 2014, Novel drying techniques for the food industry, *Food Engineering Reviews* 6 (3), 43–55 DOI 10.1007/s12393-014-9078-7.
- Muthukumar, A., Ratti, C. and Raghavan, V. G., 2008, Foam-mat freeze drying of egg white and mathematical modeling Part I optimization of egg white foam stability, *Drying Technology*, 26 (4), 508-512.

- Muthukumar, A., Ratti, C. and Raghavan V.G.S., 2008, Foam mat freeze drying of egg white – mathematical modeling part 2: freeze drying and modeling, *Drying Technology*, 26 (4), 513- 518.
- Ndife, J., Ejikeme, C. and Amaechi, N., 2010, Effect of oven drying on the functional and nutritional properties of whole egg and its components, *African Journal of Food Science*, 4 (5), 254-257.
- Nemzer, B., Vargas, L., Xia, X., Sintara, M. and Feng, H., 2018, Phytochemical and physical properties of blueberries, tart cherries, strawberries, and cranberries as affected by different drying methods, *Food Chemistry*, 262, 242–25.
- Nindo, C. I. and Tang, J., 2007, Refractance Window Dehydration Technology: A Novel Contact Drying Method. *Drying Technology*, 25 (1), 37–48.
- Nindo, C. I., Feng, H., Shen, G.Q. and Kang, D.H., 2003, Energy utilization and microbial reduction in a new film drying system, *Journal of Food Processing Preservation*, 27 (2), 117–136.
- Nindo, C. I., Powers, J. R. and Tang, J., 2010, Thermal properties of Aloe vera powder and rheology of reconstituted gels, *Transactions of American Society of Agricultural and Biological Engineers*, 53 (4), 1193–1200.
- Nishad, J., Selvan, C. J., Mir, S. A. and Bosco, S. J. D., 2017, Effect of spray drying on physical properties of sugarcane juice powder (*Saccharum officinarum* L.), *Journal of Food Science and Technology*, 54 (3), 687-697.
- Nunes, M. A., Moreira, C. A., Soares, L. S., Zotarelli, M. F. and de Lima, M., 2021, Stability evaluation of quail egg powder obtained by freeze-drying, *Research, Society and Development*, 10 (14), e184101420930-e184101420930.
- Nurhadi, B., Andoyo, R. and Indiarso, R., 2012, Study the properties of honey powder produced from spray drying and vacuum drying method, *International Food Research Journal*, 19 (3), 907.
- O'brien, J. M., 1989, The Maillard reaction in milk products., *Bullet*, 238, 53-61.
- Orishagbemi, C. O., Ichado, I. B. and Sanda, M. E., 2017, Physical, functional and sensory properties of foam mat dehydrated whole egg powder, *Journal of Scientific Research and Reports*, 1-7.
- Ortega-Rivas, E., Juliano, P. and Yan, H., 2006, Food powders: physical properties, processing, and functionality, 86, 71-75.
- Ortiz Jerez, M. J., Gulati, T., Datta, A. K. and Ochoa Martiez, G. I., 2015, Quantitative understanding of refractance window TM drying, *Food and Bioproducts Processing*, 237–253.
- Ortiz-Jerez, M. J. and Ochoa-Martinez, C. I., 2015, Heat Transfer Mechanisms in conductive hydro-drying of pumpkin (*Cucurbita maxima*) pieces, *Dry. Technology*, 33, 965–972.

- Papoutsis, K., Vuong, Q. V., Golding, J. B., Hasperu'e, J. H., Pristijono, P. and Bowyer, M. C., 2018, Pretreatment of citrus by-products affects polyphenol recovery: A review, *Food Reviews International*, 34 (8), 770–795.
- Pavan, M. A., 2010, Effects of freeze drying, refractance window drying and hot-air drying on the quality parameters of açai, *Yüksek Lisans Tezi*, University of Illinois at Urbana-Champaign.
- Perez-Gago, M. B. and Krochta, J. M., 2001, Denaturation time and temperature effects on solubility, tensile properties, and oxygen permeability of whey protein edible films, *Journal of Food Science*, 66 (5), 705-710).
- Pérez-Reyes, M. E., Tang, J., Barbosa-Cánovas, G. V. and Zhu, M. J., 2021, Influence of water activity and dry-heating time on egg white powders quality, *LWT- Food Science and Technology*, 140, 110717.
- Prakotmak, P., Soponronnarit, S. and Prachayawarakorn, S., 2010, Modelling of moisture diffusion in pores of banana foam mat using a 2-D stochastic pore network: Determination of moisture diffusion coefficient during adsorption process, *Journal of Food Engineering*, 96 (1), 119-126.
- Preethi, R., Shweta, D., Moses, J. A. and Anandharamakrishnan, C., 2020, Conductive hydro drying as an alternative method for egg white powder production, *Drying Technology*, 39 (3), 324-336.
- Puente, L., Vega-Gálvez, A., Ah-Hen, K. S., Rodríguez, A., Pasten, A., Poblete, J., Pardo-Orellana, C. and Munoz, M., 2020, Refractance window drying of goldenberry (*Physalis peruviana* L.) pulp: A comparison of quality characteristics with respect to other drying techniques, *Lebensmittel-Wissenschaft und -Technologie- Food Science and Technology*, 131.
- Qiua, J., Acharyab, P., Jacobsb, D. M., Booma, R. M. and Schutysera, M. A. I., 2019, A systematic analysis on tomato powder quality prepared by four conductive drying Technologies, *Innovative Food Science and Emerging Technologies*, 54 (2019) 103–112.
- Raghavi, L. M., Moses, J. A. and Anandharamakrishnan, C., 2018, Refractance window drying of foods: A review, *Journal of Food Engineering* 222 (2018) 267-275.
- Raharitsifa, N., Genovese, D. B. and Ratti, C., 2006, Characterization of apple juice foams for foam-mat drying prepared with egg white protein and methylcellulose, *Journal of Food Science*, 71 (3), E142-E151.
- Rannou, C., Queveau, D., Beaumal, V., David-Briand, E., Le Borgne, C., Meynier, A. And Loisel, C., 2015, Effect of spray-drying and storage conditions on the physical and functional properties of standard and n- 3 enriched egg yolk powders, *Journal of Food Engineering*, 154, 58-68.
- Ratti, C., 2001, Hot air and freeze-drying of high-value foods: a review. *Journal of Food Engineering*, 49 (4), 311-319.

- Salahi, M. R., Mohebbi, M. and Taghizadeh, M., 2014, Foam-Mat Drying of Cantaloupe (*Cucumis melo*): Optimization of foaming parameters and investigating drying characteristics, *Journal of Food Processing and Preservation*, 39 (6), 1798–1808.
- Santl, M., Ilic, I., Vrečer, F. and Baumgartner, S., 2011, A compressibility and compactibility study of real tableting mixtures: The impact of wet and dry granulation versus a direct tableting mixture, *International Journal of Pharmaceutics*, 414 (1-2), 131-139.
- Seerangurayar, T., Manickavasagan, A., Al-Ismaili, A. M. and Al-Mulla, Y. A., 2018, Effect of carrier agents on physicochemical properties of foam-mat freeze-dried date powder, *Drying Technology*, 36 (11), 1292-1303.
- Sharada, S., 2013, Studies on effect of various operating parameters & foaming agents-drying of fruits and vegetables, *International Journal of Modern Engineering Research*, 94 (3), 219-243.
- Shende, D. and Datta, A. K., 2020, Optimization study for refractance window drying process of Langra variety mango, *Journal of Food Science & Technology*, 57 (2), 683–692.
- Shishir, M. R. I., Taip, F. S., Aziz, N. A. and Talib, R. A., 2014, Physical properties of spray-dried pink guava (*Psidium guajava*) powder, *Agriculture and Agricultural Science Procedia*, 2, 74-81.
- Shweta, D., Sayantani, D., Moses, J. A., Balasubramaniam, V. M., and Anandharamakrishnan, C., 2020, Foaming characteristics of beverages and its relevance to food processing, *Food Engineering Reviews*, 12 (2), 229-250.
- Stadelman W.J. and Cotterill O.J., 1995, *Egg Science and Technology*. Food Products Press, Binghamton, NY.
- Surai, P. F. and Sparks, N. H. C., 2001., Designer eggs: from improvement of egg composition to functional food, *Trends in food science & Technology*, 12 (1), 7-16.
- Syamaladevi, R. M., Insan, S. K., Dhawan, S., Andrews, P. and Sablani, S. S., 2012, Physicochemical properties of encapsulated red raspberry (*Rubus idaeus*) powder: Influence of high-pressure homogenization, *Drying Technology*, 30 (5), 484-493.
- Tanabe, S., Tesaki, S. ve Watanabe, M., 2000, Producing a low ovomucoid egg white preparation by precipitation with aqueous ethanol, *Bioscience, Biotechnology, and Biochemistry*, 64 (9), 2005-2007.
- Thirupathi, V., Sasikala, S. and Rajkumar, P., 2008, Studies on foam mat drying of whole egg liquid in cabinet dryer, *Madras Agricultural Journal*, 95 (1-6), 141-150.

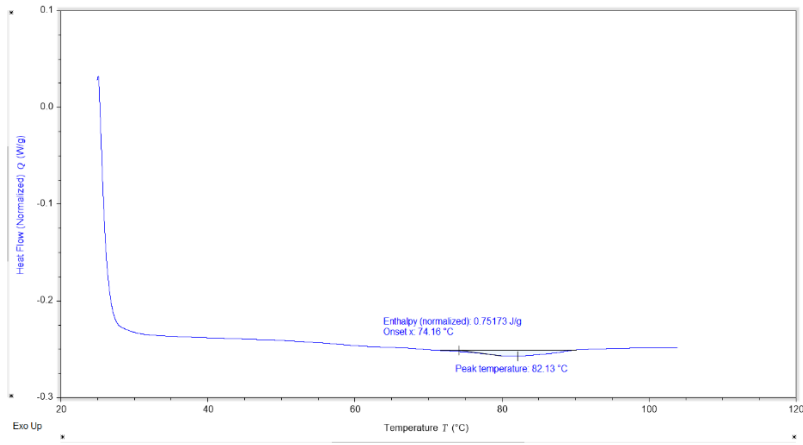
- Tonon, R. V., Brabet, C. and Hubinger, M. D, 2008, Influence of process conditions on the physicochemical properties of açai (*Euterpe oleraceae* Mart.) powder produced by spray drying, *Journal of Food Engineering*, 88 (3), 411-418.
- Tontul, I., Ergin, F., Eroğlu, E., Küçükçetin, A. and Topuz, A., 2021, The impact of refractance window drying conditions on the physical and microbiological properties of kefir powder, *Food Bioscience*, 43, 101317.
- Tontul, İ., Ergin, F., Eroğlu, E., Küçükçetin, A. and Topuz, A., 2018b, Physical and microbiological properties of yoghurt powder produced by refractance window drying, *International Dairy Journal*, 85, 169-176.
- Tontul, İ., Eroğlu, E. ve Topuz, A., 2019, Kırınım pencere kurutma ve sıcak hava akımında kurutma işlem şartlarının kuşburnu tozlarının fizikokimyasal özellikleri üzerine etkisi, *Gıda* 44 (1), 1-9.
- Tontul, İ., Eroğlu, E. and Topuz, A., 2018c, Convective and refractance window drying of cornelian cherry pulp: Effect on physicochemical properties, *Journal of Food Process Engineering*, 41 (8), 1–8.
- Tontul, İ., Kasimoglu, Z., Asik, S., Atbakan, T., ve Topuz, A., 2018a, Functional properties of chickpea protein isolates dried by refractance window drying, *International Journal of Biological Macromolecules*, 109, 1253-1259.
- Tontul, İ., and Topuz, A., 2017a, Effects of different drying methods on the physicochemical properties of pomegranate leather (pestil), *Lebensmittel-Wissenschaft und -Technologie- Food Science and Technology*, 80, 294–303.
- Tontul, İ., ve Topuz, A., 2017b, Spray-drying of fruit and vegetable juices: Effect of drying conditions on the product yield and physical properties, *Trends in Food Science & Technology*, 63, 91-102.
- Topuz, A., Feng, H and Kustad, M., 2009, The effect of drying method and storage on colour characteristics of paprika, *LWT-Food Science and Technology*, 42 (10), 1667-1673.
- TS 1068, 2015, Tavuk yumurtası – Kabuklu, ICS 67.120.20, Ankara, <https://kib.org.tr/files/downloads/sirkuler/2015297ek1.pdf> Erişim Tarihi: 20.08.2021.
- Turner, I. W. and Jolly, P. C., 1991, Combined microwave and convective drying of a porous material. *Drying Technology*, 9(5), 1209-1269.
- USDA (U.S. Department of Agriculture) Agriculture Research Service ,2019, USDA national nutrient database for standart reference, <https://fdc.nal.usda.gov/fdc-app.html#/food-details/748967/nutrients>, Erişim Tarihi: 20.08.2021.
- USDA, 2000, United States standards, grades, and weight classes for shell eggs, AMS 56.210., Washington, DC.
- Van der Plancken, I., Van Loey, A. and Hendrickx, M., 2007, Effect of moisture content during dry-heating on selected physicochemical and functional

- properties of dried egg White, *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 55 (1), 127-135.
- Valenzuela, C. and Aguilera, J. M., 2013, Aerated apple leathers: Effect of microstructure on drying and mechanical properties, *Drying Technology*, 31 (16), 1951-1959.
- Varhan, E. ve Koç, M., 2017, Köpük kurutma yöntemi ile gıdaların kurutulması, *Türk Tarım-Gıda Bilim ve Teknoloji Dergisi*, 5 (6), 637-645.
- Waghmare, R., 2021, Refractance window drying: A cohort review on quality characteristics. *Trends in Food Science & Technology*, 110, 652-662.
- Wilson, R.A., Kadam, D.M. and Kaur, S., 2010, Determination of biochemical properties of foam-mat dried mango powder, *International Journal of Food Science & Technology*, 45, 1626-1632.
- Wu, Z., Yue, L., Li, Z., Li, J., Mujumdar, A. S. and Rehkopf, J. A., 2015, Pulse combustion spray drying of egg white: Energy efficiency and product quality, *Food and bioprocess technology*, 8 (1), 148-157.
- Xie, L., Mujumdar, A. S., Zhang, Q., Wang, J., Liu, S., Deng, L., Wang, D., Xiao, H. W., Liu, Y. H. and Gao, Z. J. 2017, Pulsed vacuum drying of wolfberry: Effects of infrared radiation heating and electronic panel contact heating methods on drying kinetics, color profile, and volatile compounds, *Drying Technology*, 35 (11), 1312-1326.
- Yoha, K.S., Moses, J.A. and Anandharamakrishnan, C., 2020, Conductive hydro drying through refractance window drying – An alternative technique for drying of *Lactobacillus plantarum* (NCIM 2083), *Drying Technology*, 38 (5-6), 610-620.
- Yüceer, M., Temizkan, R. ve Caner, C., 2012, Fonksiyonel gıda olarak yumurta: bileşenleri ve fonksiyonel özellikleri, *Akademik Gıda*, 10 (4), 70-76.
- Yüceer, M. ve Caner, C., 2019, Endüstriyel yumurta ürünlerinin helal gıda açısından üretim şartlarının incelenmesi ve değerlendirilmesi, *Helal Yaşam Dergisi*, 1 (1), 23-34.
- Zhang, M., Jiang, H. and Lim, R. X., 2010, Recent developments in microwave-assisted drying of vegetables, fruits, and aquatic products—Drying kinetics and quality considerations, *Drying Technology*, 28 (11), 1307-1316.
- Zhao, Y., Wang, W., Zheng, B., Miao, S. and Tian, Y., 2017, Mathematical modeling and influence of ultrasonic pretreatment on microwave vacuum drying kinetics of lotus (*Nelumbo nucifera* Gaertn.) seeds, *Drying Technology*, 35 (5), 553-563.
- Zhou, B., Zhang, M., Fang, Z. and Liu, Y., 2014, A combination of freeze drying and microwave vacuum drying of duck egg white protein powders, *Drying Technology*, 32 (15), 1840-1847.

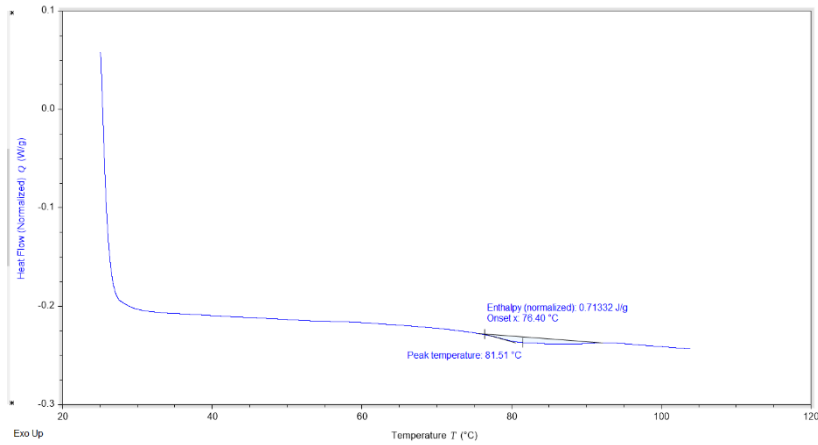
Zotarelli, M. F., da Silva, V. M., Durigon, A., Hubinger, M. D. and Laurindo, J. B., 2017, Production of mango powder by spray drying and cast-tape drying, *Powder Technology*, 305, 447–454.

EKLER

EK-1 Yumurta akı tozuna ait örnek termogram



EK-2 Yumurta bütünü tozuna ait örnek termogram



EK-3 Yumurta sarısı tozuna ait örnek termogram

