

**MİKRODALGA-VAKUM KOMBİNE KURUTMA YÖNTEMİNİN  
KUŞBURNUNUN KALİTE ÖZELLİKLERİ ÜZERİNE ETKİSİNİN  
İNCELENMESİ**

**YÜKSEK LİSANS TEZİ**

**MAHİR CİN**

**MERSİN ÜNİVERSİTESİ  
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

**GIDA MÜHENDİSLİĞİ  
ANABİLİM DALI**

**MERSİN  
TEMMUZ - 2019**

**MİKRODALGA-VAKUM KOMBİNE KURUTMA YÖNTEMİNİN  
KUŞBURNUNUN KALİTE ÖZELLİKLERİ ÜZERİNE ETKİSİNİN  
İNCELENMESİ**

**YÜKSEK LİSANS TEZİ**

**MAHİR CİN**

**MERSİN ÜNİVERSİTESİ  
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

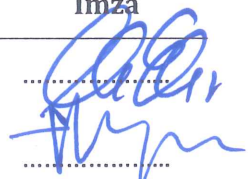
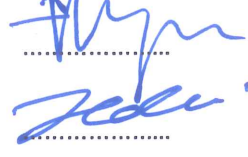

**GIDA MÜHENDİSLİĞİ  
ANABİLİM DALI**

**Danışman  
Prof. Dr. Tunç Koray PALAZOĞLU**

**MERSİN  
TEMMUZ - 2019**

## ONAY

Mahir Cin tarafından Prof.Dr. Tunç Koray PALAZOĞLU danışmanlığında hazırlanan "Mikrodalga-Vakum Kombine Kurutma Yönteminin Kuşburnunun Kalite Özellikleri Üzerine Etkisinin İncelenmesi" başlıklı çalışma aşağıda imzaları bulunan jüri üyeleri tarafından 17 Temmuz 2019 tarihinde yapılan Tez Savunma Sınavı sonucunda oy birliği ile Yüksek Lisans Tezi olarak kabul edilmiştir.

Görevi	Ünvanı, Adı ve Soyadı	İmza
Üye	Prof.Dr. H. İbrahim EKİZ	
Üye	Prof.Dr.T. Koray PALAZOĞLU	
Üye	Dr.Öğr. Üyesi Hande DEMİR	

Yukarıdaki Jüri kararı Fen Bilimleri Enstitüsü Yönetim Kurulu'nun ~~02~~ / ~~08~~ / ~~2019~~ tarih ve ~~2019.30~~ / ~~1130~~ sayılı kararıyla onaylanmıştır.



*Bu tezde kullanılan özgün bilgiler, şekil, tablo ve fotoğraflardan kaynak göstermeden alıntı yapmak 5846 sayılı Fikir ve Sanat Eserleri Kanunu hükümlerine tabidir.*

## ETİK BEYAN

Mersin Üniversitesi Lisansüstü Eğitim-Öğretim Yönetmeliğinde belirtilen kurallara uygun olarak hazırladığım bu tez çalışmada,

- Tez içindeki bütün bilgi ve belgeleri akademik kurallar çerçevesinde elde ettiğimi,
- Görsel, işitsel ve yazılı tüm bilgi ve sonuçları bilimsel ahlâk kurallarına uygun olarak sunduğumu,
- Başkalarının eserlerinden yararlanılması durumunda ilgili eserlere bilimsel normlara uygun olarak atıfta bulunduğumu,
- Atıfta bulunduğum eserlerin tümünü kaynak olarak kullandığımı,
- Kullanılan verilerde herhangi bir tahrifat yapmadığımı,
- Bu tezin herhangi bir bölümünü Mersin Üniversitesi veya başka bir üniversitede başka bir tez çalışması olarak sunmadığımı,
- Tezin tüm telif haklarını Mersin Üniversitesi'ne devrettiğimi beyan ederim.

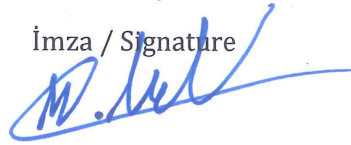
## ETHICAL DECLARATION

This thesis is prepared in accordance with the rules specified in Mersin University Graduate Education Regulation and I declare to comply with the following conditions:

- I have obtained all the information and the documents of the thesis in accordance with the academic rules.
- I presented all the visual, auditory and written informations and results in accordance with scientific ethics.
- I refer in accordance with the norms of scientific works about the case of exploitation of others' works.
- I used all of the referred works as the references.
- I did not do any tampering in the used data.
- I did not present any part of this thesis as an another thesis at Mersin University or another university.
- I transfer all copyrights of this thesis to the Mersin University.

17 Temmuz 2019 / 17 July 2019

İmza / Signature



Mahir CİN

## ÖZET

### MİKRODALGA-VAKUM KOMBİNE KURUTMA YÖNTEMİNİN KUŞBURNUNUN KALİTE ÖZELLİKLERİ ÜZERİNE ETKİSİNİN İNCELENMESİ

Kurutma işlemi, gıda sanayinde yaygın olarak kullanılan bir muhafaza işlemidir. Günümüzde halen meyve-sebze gibi raf ömrü uzun olmayan ürünleri muhafaza etmek için yaygın olarak sıcak hava ile kurutma yöntemi kullanılmaktadır. Ancak bu yöntem ile kurutulmuş son ürünlerde meydana gelen kalite kayıpları ve uzun kurutma süreleri düşünüldüğünde artık yeni kurutma tekniklerine yer verilmeye başlanmıştır. Bu çalışmada mikrodalga-vakum tekniği ile kurutmanın (<%10 nem içeriğine) kuşburnunun kurutma süresi (karakteristiği) ve bazı kalite özellikleri üzerine etkisinin incelenmesi amaçlanmıştır. Bu amaç doğrultusunda farklı mikrodalga güç (50, 100 ve 150 W) ve mutlak basınçlar (40, 75 ve 110 mbar) altında kurutma işlemi yapılmış ve kalite özellikleri üzerine güç ve basınç etkileri belirlenmiştir. Ayrıca dondurarak kurutma ve sıcak hava kurutma (60°C-1.5 m/s) yöntemleri incelenmiştir. Bu üç kurutma yönteminin kurutulmuş kuşburnunun bazı kimyasal ve fiziksel kalite özellikleri üzerine etkisi belirlenmiş ve karşılaştırılmıştır. Mikrodalga-vakum yöntemi ile hedef nem içeriğine kurutma süresi 75-195 dakikadır. En kısa kurutma süresi yüksek güç ve düşük mutlak basınç koşullarında görülmüştür. Sıcak hava ile 960 dakikada kurutma işlemi gerçekleşmiştir. Bütün kimyasal analiz sonuçlarında (Toplam fenolik madde miktarı, toplam antioksidan aktivite miktarı ve askorbik asit miktarı) en düşük değer, sıcak-hava ile kurutulmuş örneklerde bulunmuştur. Mikrodalga-vakum ile kurutulmuş bütün örneklerde toplam fenolik madde miktarı en yüksek bulunmuştur. Mikrodalga vakumda kurutulmuş numunelerin çoğu, dondurularak kurutulmuş numunelere kıyasla daha yüksek toplam antioksidan aktivite miktarına sahipti. Fakat askorbik asit (C vitamini) miktarı taze örnekten sonra en yüksek dondurarak kurutulmuş örneklerde elde edilmiştir. Mikrodalga-vakum ve dondurarak kurutulmuş örnekler benzer açık ve gözenekli mikroyapıya sahip iken sıcak hava ile kurutulmuş örnekler tamamen kapalı ve gözeneksiz bir yapıya sahip olmuştur. Bu nedenle mikrodalga-vakum ve dondurarak kurutulmuş örneklerin rehidrasyon oranı değerleri sıcak hava ile kurutulmuş örneklere göre daha yüksek bulunmuştur. Yüksek mikrodalga güçlerde (150 W) ve dondurarak kurutulmuş örneklerin rehidrasyon oranı en yüksek bulunmuştur ve aralarında istatistiksel olarak anlamlı bir fark yoktur.

**Anahtar Kelimeler:** Kuşburnu, Kurutma, Mikrodalga, Vakum, Sıcak hava, Renk, Askorbik asit, Mikroyapı

**Danışman:** Prof.Dr. Tunç Koray PALAZOĞLU, Mersin Üniversitesi, Gıda Mühendisliği Anabilim Dalı, Mersin.

## ABSTRACT

### INVESTIGATION OF EFFECTS OF MICROWAVE-VACUUM COMBINED DRYING METHOD ON THE QUALITY CHARACTERISTICS OF ROSEHIPS

Drying is a preservation process commonly used in the food industry. Today, hot-air drying is commonly used to preserve products that do not have a long shelf life such as fruit and vegetables. However, considering the quality losses and long drying times of the final products dried by this method, new drying techniques have started to be used recently. In this study, it was aimed to investigate the effect of microwave-vacuum drying (<10% moisture content) on the drying time characteristic and some quality properties of rosehip. In accordance with this purpose, the drying process was performed under different microwave power (50, 100, and 150 W) and absolute pressures (40, 75 and 110 mbar). Power and pressure effects on quality characteristics were determined. Freeze drying and hot air drying (60 ° C-1.5 m / s) methods were also investigated. The effect of three drying methods on some chemical and physical quality characteristics of dried rose hip was determined and compared. The drying time to the target moisture content by microwave-vacuum method is 75-195 minutes. The shortest drying time was observed under high power and low absolute pressure conditions. In all chemical analysis results (total phenolic content, total antioxidant activity amount and ascorbic acid amount), the lowest value was found in hot-air dried samples. Dried samples with hot-air were found to have the lowest value in all chemical analysis results (Total phenolic content, total antioxidant activity amount and ascorbic acid amount). Total phenolic content was highest in all microwave-vacuum dried samples. Most of the microwave vacuum dried samples had higher total antioxidant activity amount than freeze-dried samples. However, the highest amount of ascorbic acid (vitamin C) was obtained in freeze-dried samples after fresh sample. While the dried samples with Microwave-vacuum and freeze drying had a similar open and porous microstructure, the dried samples with hot-air had a completely closed and non-porous structure. Therefore, the rehydration rate values of microwave-vacuum and freeze drying samples were higher than those of hot-air samples. At high microwave powers (150 W) and freeze drying dried samples were found rehydration rate was highest and there was no statistically significant difference between them.

**Keywords:** Rosehip, Drying, Microwave, Vacuum, Hot air, Colour, Ascorbic acid, Microstructure

**Advisor:** Prof.Dr.T. Koray PALAZOĞLU, Department of Food Engineering, University of Mersin, Mersin.

## TEŞEKKÜR

Tez çalışmam süresince yardım ve desteğini esirgemeyen, öğrenme arzusunu ve araştırma ruhunu bana aşılıp bilgi ve birikimiyle ışık tutan ve bana yol gösteren değerli danışman hocam Prof.Dr.T. Koray PALAZOĞLU'na emeklerinden dolayı teşekkürlerimi sunarım.

Çalışmam süresince bölümün her türlü imkânını kullanmama olanak sağlayan Gıda Mühendisliği Bölümüne, başta bölüm başkanı Prof.Dr. H. İbrahim EKİZ olmak üzere Gıda Mühendisliği Bölümü akademik personeline ve çalışanlarına emek ve katkılarından dolayı teşekkürlerimi sunarım.

Çalışmamın çeşitli aşamalarında, yardımlarını esirgemeyen ve manevi olarak destek sağlayan değerli Arş.Gör. Fırat ÇINAR 'a teşekkür ederim.

Benimle evini paylaşan, tezimin bir kısmını yazma sürecinde rahat bir ortam olanağı sağlayan değerli Dt. Yusuf HAKSEVEN'ne desteklerinden dolayı teşekkür ederim.

Tez çalışmamı 2018-1-TP2-2720 numaralı araştırma projesi ile destek sağlayan Mersin Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projeleri Birimi (BAP)'ne teşekkür ederim.

Mersin üniversitesi, Gıda mühendisliği bölümünü renklendiren YL-101 ailesinin değerli fertlerine; yaratmış olduğumuz küçük dünyamızda yaşattığınız sıcak ortam, verdiğiniz sonsuz destek ve sevgilerinizden dolayı çok teşekkür ederim.

Merak ve öğrenme arzusunu bana aşıl原因an, tecrübesiyle ve ince dokunuşlarıyla hayatıma yön veren ve burada olmamda büyük emeği olan merhum büyükbabam Emin ÇİN'e sonsuz teşekkür ederim.

Son olarak bugünlere kadar üzerimde sayısız emeği olan, hayatım boyunca her konuda desteklerini ve sevgilerini eksik etmeyen, maddi, manevi hiçbir fedakârlıktan kaçınmayan, beni bugünlere gelmemi sağlayan kıymetli geniş aileme (büyükbabam Emin ÇİN'e, babaannem Cevahir ÇİN'e, babam Osman ÇİN'e, Annem Naz ÇİN'e, abim Muhser ÇİN'e, ablalarım Halime ve Semihat ÇİN'e, kız kardeşlerim Leyla ve Taybet ÇİN'e ve evimizin neşesi kardeşim Muhammet Emin ÇİN'e) sonsuz teşekkür ediyorum.

## İÇİNDEKİLER

	Sayfa
İÇ KAPAK	ii
ONAY	iii
ETİK BEYAN	iv
ÖZET	v
ABSTRACT	vi
TEŞEKKÜR	vii
İÇİNDEKİLER	viii
TABLolar DİZİNİ	x
ŞEKİLLER DİZİNİ	xi
KISALTMALAR ve SİMGELER	xii
<b>1. GİRİŞ</b>	<b>1</b>
<b>2. KAYNAK ARAŞTIRMALARI</b>	<b>4</b>
2.1. Kuşburnu	4
2.2. Kuşburnu Kimyasal içeriği ve Beslenme Açısından Önemi	5
2.3. Kuşburnu Değerlendirilmesi ve Kullanım Alanları	9
2.4. Mikrodalga-ve Dielektrik Özellikleri	10
2.4.1. Mikrodalgalar	10
2.4.2. Dielektrik Özellikleri	12
2.4.2.1. Gıda maddelerinin dielektrik özelliklerini etkileyen faktörler	15
2.5. Mikrodalga ısıtmanın mekanizması ve temel prensibi	17
2.6. Mikrodalga Sistem Elemanları	19
2.7. Kurutma	21
2.7.1. Kurutma Mekanizması	22
2.7.2. Sıcak Hava ile Kurutma	28
2.7.3. Dondurarak Kurutma	30
2.7.4. Vakumlu Kurutma	33
2.7.5. Mikrodalga Vakum Kurutma	34
2.7.5.1. Mikrodalga Vakum kurutmanın Avantaj ve Dezavantajları	37
<b>3. MATERYAL ve YÖNTEM</b>	<b>39</b>
3.1. Materyal	39
3.1.1. Hammadde	39
3.1.2. Mikrodalga-vakum Fırın	39
3.1.3. Laboratuvar Tipi Döner Tepsili Kurutucu	40
3.1.4. Dondurarak kurutucu (Liyofilizatör)	41
3.2. Yöntem	42
3.2.1. Mikrodalga-Vakum Kurutma Deney Düzenegi	43
3.2.2. Kurutma Yöntemleri	45
3.2.2.1. Mikrodalga-Vakum Kurutma	45
3.2.2.2. Sıcak Hava ile Kurutma	47
3.2.2.3. Dondurarak Kurutma	48
3.2.3. Kuşburnu Örneklerine Yapılan Analizler	48
3.2.3.1. Nem İçeriği ve Su aktivitesinin Ölçümü	48
3.2.3.2. Toplam Fenolik Madde Tayini	49
3.2.3.3. Antioksidan Aktivite Tayini (DPPH ve FRAP)	51
3.2.3.4. Askorbik Asit Tayini	53
3.2.3.5. Renk Ölçümü	55
3.2.3.6. Rehidrasyon oranı analizi	57
3.2.3.7. Alan Emisyonlu Taramalı Elektron Mikroskobu (FE-SEM) ile mikroyapı Analiz	58
3.2.3.8. Sıcaklık Ölçümü	58
3.2.3.9. İstatistiksel Analiz	59
<b>4. BULGULAR ve TARTIŞMA</b>	<b>60</b>



	<b>Sayfa</b>
4.1. Kuruma Eğrileri, nem İçeriği ve Su Aktivesi Ölçümü	60
4.2. Sıcaklık Profili	68
4.3. Toplam Fenolik İçeriği	73
4.4. Antioksidan Aktivite (FRAP ve DPPH	77
4.5. Askorbik asit (Cvitamini) İçeriği	81
4.6. Renk	86
4.7. Rehidrasyon oranı (RO)	93
4.8. Mikro yapı	96
<b>5. SONUÇLAR ve ÖNERİLER</b>	<b>102</b>
KAYNAKLAR	104
ÖZGEÇMİŞ	125



## TABLolar DİZİNİ

	<b>Sayfa</b>
Tablo 2.1. Taze Kuşburnunun Kimyasal Kompozisyonu	7-8
Tablo 2.2. Federal İletişim Komisyonu tarafından kullanılmasına izin frekanslar	11
Tablo 3.1. Mikrodalga fırının ayarlanan ve sisteme aktarılan güç değerleri	45
Tablo 4.1. Taze kuşburnu ve farklı yöntem ve/veya farklı parametrelerde kurutulan kuşburnunun kuruma süreleri, nem içerikleri (% yaş bazda) ve su aktivitesi değerleri	60
Tablo 4.2. Kurutma işlemi sonunda kuşburnu örneklerin yüzey sıcaklık dağılımları	70-72
Tablo 4.3. Taze kuşburnu ve farklı koşullarda kurutulmuş kuşburnu örneklerinin Toplam fenolik madde (TFM) içeriği	75
Tablo 4.4. Taze kuşburnu ve Farklı koşullarda kurutulmuş kuşburnu örneklerinin FRAP ve DPPH yöntemi ile antioksidan aktivite değerleri	80
Tablo 4.5. Taze kuşburnu ve Farklı koşullarda kurutulmuş kuşburnu örneklerinin askorbik asit C vitamini miktarı	83
Tablo 4.6. Taze (işlem görmemiş), farklı yöntem ve koşullarda kurutulmuş olan örneklerin renk değerleri özellikler	89
Tablo 4.7. Taze ve kurutulmuş kuşburnu görüntüleri	90-92
Tablo 4.8. Farklı yöntemler ile kurutulmuş kuşburnu örneklerinin RO'ları.	93
Tablo 4.9. Taze ve kurutulmuş kuşburnu örneklerinin mikroyapı görüntüleri	99-100

## ŞEKİLLER DİZİNİ

	<b>Sayfa</b>
Şekil 2.1. Türkiye’de yıllara göre kuşburnu üretimi	5
Şekil 2.2. Mikrodalga gücünün azalması ve penetrasyon derinliğinin tanımı	15
Şekil 2.3. Salımlı elektromanyetik alan nedeniyle dipol ve iyonların hareketi	18
Şekil 2.4. Tipik bir mikrodalga fırın ve parçaları	19
Şekil 2.5. Mikrodalga üreten tipik bir magnetronun kısımları	20
Şekil 2.6. Kurutmada kütle transferi	23
Şekil 2.7. Tipik kurutulan bir gıdanın nem içeriği-zaman (a) ve kuruma hızı- nem içeriği (b) grafikleri	26
Şekil 2.8. Su buharı taşınım sıvı difüzyon mekanizması	26
Şekil 2.9. Su buharı taşınımın buhar difüzyon mekanizması	27
Şekil 2.10. Tipik bir tepsi kurutucu	29
Şekil 2.11. Dondurarak kurutma evrelerinin şematik gösterimi. 1) Dondurma, 2.a) Birincil kurutma ve 2.b) İkincil kurutma	31
Şekil 2.12. Saf suyun sıcaklık-basınç faz diyagramı	32
Şekil 2.13. Basınç ile suyun kaynama noktası arasındaki ilişki	34
Şekil 2.14. SH, MV ve DK ile kurutulmuş havuç dilimlerin kurutma eğrileri	35
Şekil 3.1. Mikrodalga vakum kurutma sistemi	40
Şekil 3.2. Laboratuvar tipi döner tepsili kurutucu ve çalıştırma ekranı	40
Şekil 3.3. Laboratuvar tipi liyofilizatör ((Cryodos-50, Telstar, Terrasa, İspanya)	41
Şekil 3.4. Çalışmada yapılacak deneylerin özet gösterimi	42
Şekil 3.5. Mikrodalga vakum kurutma düzeneğinin şematik görünümü	46
Şekil 3.6. Mikrodalga vakum kurutma sisteminde kuşburnunun kurutulması	47
Şekil 3.7. Laboratuvar tipi döner tepsili kurutucuda kuşburnunun görüntüsü	47
Şekil 3.8. Dondurarak kurutucu kurutulan kuşburnunun görüntüsü	48
Şekil 3.9. Halojen ısıtmalı nem tayin cihazı	49
Şekil 3.10. Su aktivitesi tayin cihazı	49
Şekil 3.11. Renk faresi cihazı	56
Şekil 3.12. CIE L*a*b* renk koordinatları (a) ve CIE L*C*h renk çarkı (b)	57
Şeki 3.13. Termal kamera ile sıcaklık ölçüm düzeneği	59
Şekil.3.14. Kuşburnu örneklerinin sabit mutlak basınçtaki kuruma eğrileri a:40 mbar, b:75 mbar ve c:110 mbar.	62
Şekil 3.15. Kuşburnu örneklerinin sabit güçte kuruma eğrileri a:50 W, b:100 W ve c:150 W	63
Şekil 3.16. Kuşburnu örneğinin sabit mutlak basınçta kuruma hızı eğrileri a:40 mbar, b:75mbar, c:110 mbar	66
Şekil 3.17. Kuşburnu örneğinin sabit güçte kuruma hızı eğrileri a:50 W, b:100 W ve c:150 W	67
Şekil 3.18 Mikrodalga-vakum kurutma sisteminde kuşburnunun maksimum yüzey sıcaklık- zaman grafiği	68

## KISALTMALAR ve SİMGELER

Kısaltma/Simge	Tanım
FCC	Federal iletişim komisyonu
FE-SEM	Alan Emisyonlu Taramalı Elektron Mikroskobu
CIE	Uluslararası Aydınlanma Kurumu
DPPH	2,2-diphenyl-1-picryllhydrazyl
FRAP	Ferric Reducing Ability of Plasma
TEAC	Trolox Eşdeğer Antioksidan Kapasitesi
TE	Trolox Eşdeğeri
GAE	Gallik Asit Eşdeğeri
GA	Gallik Asit
AA	Askorbik asit
NO	Nem Oranı
TFM	Toplam Fenolik Madde
$E$	Radyasyon Enerjisi,
$f$ (Hz)	Frekans
$c$ (m/s)	Işık Hızı
$h$ (j/s)	Planck Sabiti
$\lambda$ (m)	Dalga Boyu
$\epsilon$	Permitivite
$\epsilon'$	Dielektrik Sabiti
$\epsilon''$	Dielektrik Kayıp
$\tan\delta$	Tanjant kayıp faktörü
$j$	Karmaşık Sayı ( $\sqrt{-1}$ )
$\kappa'$	Bağıl Dielektrik Sabiti
$\kappa''$	Bağıl Dielektrik Kaybı
$\epsilon_0$	Boş Alanın Elektriksel Geçirgenliği ( $8.854 \times 10^{-12}$ F/m)
$Q$ ( $W / m^3$ )	Materyal Tarafından Üretilen Isı
$\rho$ ( $kg / m^3$ )	Materyalin Yoğunluğu
$C_p$ ( $J / kg ^\circ C$ )	Materyalin Özgül Isısı
$d_p$ (m)	Penetrasyon Derinliği
$\lambda_0$ (m)	Boş Alanın Dalga Boyunu
$P$ (W)	Mikrodalga Gücü
DK	Dondurarak Kurutma
SH	Sıcak Hava ile kurutma
MV	Mikrodalga vakum kurutma
$m$ (kg)	Maddenin Kütlesi
$a_w$	Su Aktivitesi
RO	Rehidrasyon Oranı
KM	Kuru Madde
YB	Yaş Bazda
$\mu\text{mol}$	Mikromol
$\Delta E^*$	Toplam Renk Değişimi
$L^*$	Açıklık
$a^*$	Kırmızılık-Yeşillik
$b^*$	Sarılık-Mavilik
C	Chroma (Renk Parlaklığı)
$H^\circ$	Hue Angle (Renk Açısı)
ANOVA	Varyans Analizi (An Analysis Of Variance)

## 1. GİRİŞ

Enzim ve mikroorganizmaların faaliyetleri açısından gıdaların su içeriği oldukça önemlidir. Gıdaların muhafazası (raf ömrü) ve kalitelerin korunmasında su içeriği kritik bir öneme sahiptir. Bundan dolayı su içeriğine etki eden dondurma, kurutma ve konsantre gibi birçok teknik geliştirilmiştir. Bu teknikler ile mikroorganizma ve enzim faaliyetleri kontrol altına alınarak gıdalarda meydana gelen kimyasal ve mikrobiyolojik bozulmaların önüne geçilmesi amaçlanır. Kurutma, en eski ve en yaygın kullanılan gıda muhafaza tekniklerinden biridir [1]. Gıda endüstrilerinde, son ürünlerin uzun süre etkili şekilde korunması için kullanılmaktadır [2]. Kurutma, gıdanın su aktivitesinin, doymamış bir gaz akışına buharlaştırılarak suyun uzaklaştırılmasıyla azaltıldığı eşzamanlı ısı ve kütle transfer işlemi olarak tanımlanmaktadır [1]. Gıdalarda kurutmanın temel amacı, nemin uzaklaştırılmasıyla su aktivitesinin, mikrobiyal bozulma ve bozucu kimyasal reaksiyonlarının (özellikle enzimlerin etkisinin durdurulduğu veya yavaşlatıldığı) durdurulduğu veya en az olduğu seviyeye düşürmektir [3, 4]. Buna ek olarak, hacim ve ağırlıkta önemli bir azalma sağlayarak paketlenme, depolama ve nakliye maliyetlerini minimuma indirir [5].

Meyve ve sebzeler insan diyet ve beslenmesinde önemli bir rol oynar. Meyve ve sebzeler, vitaminler, mineraller ve lifler gibi önemli diyet besin kaynakları olduğu için yeterli ve dengeli beslenmek için büyük öneme sahiptir. Sağlığımıza olan katkılarını devam etmesini istiyorsak hasat dönemi dışında da tüketilmesi gerekir. Fakat taze meyve ve sebzeler yüksek nem içeriği nedeniyle (%80'nin üstünde) yüksek oranda bozulabilir gıdalar sınıfına girdiği için kısa sürede bozulabilmektedir [6]. Ancak tüketimini geniş zaman periyoduna yaymak için koruma tekniklerine başvurulmaktadır. Kurutma işlemi, eskiden beri meyve ve sebzelerin korunması için yaygın olarak kullanılan etkili bir tekniktir. Günümüzde ise, kurutma sadece bir koruma işlemi olarak değil, aynı zamanda gıdaların katma değerini artırmak veya başka ürünlerin hammaddesini elde etmek için kullanılan bir yöntem olarak kabul edilmektedir. Gıda maddeleri arasında meyve ve sebzelerin kurutulmasına özel önem verilmiştir. Kahvaltı gevrekleri, fırıncılık, şekerleme ve süt ürünleri, çorbalar, püreler ve diğerleri için çeşitlendirilmiş ürünler elde edilebilir [7]. Birçok gıda arasında, meyve ve sebzelerin kurutulması, antioksidan aktivite dahil olmak üzere birçok sağlık yararı sağladığı iddia edilen çok çeşitli fitokimyasallar içerdiği bildirildiği için çok fazla dikkat çekmiştir [8].

Günümüzde, sıcak havada kurutma, tarım ürünlerinin hasat sonrası teknolojisinde en yaygın kullanılan yöntemdir [9]. Sıcak hava ile kurutmanın bariz başarısına rağmen birçok dezavantajı ve sınırlamaları da vardır. Gıdaların sıcak havada kurutulmasının ana dezavantajları, düşme oranı süresince düşük enerji verimliliği ve uzun kuruma süresidir [10]. Kurutucuların hava sıcaklıkları verimli çalışabilmesi için tipik olarak 60 ile 90 ° C veya daha yüksek olması

gerekmektedir. İşlem süreleri, sıcaklık ve ürün miktar ve parça büyüklüğüne bağlı olarak birkaç saat ile 15 saat arasında değişebilmektedir. C vitamini gibi besinlerin kaybına neden olacak kimyasal ve enzimatik reaksiyonlar için bolca zaman verir. Sıcak hava ile kurutulan bu sıcaklıklarda yüksek miktarda uçucu bileşikler kaybolabilir [11]. Geleneksel sıcak hava kurutmada yüksek sıcaklık ve uzun kuruma süresi genellikle hasara neden olur. Kurutulmuş üründe, toplam fenolik bileşikler ve antioksidan aktivite içeriğinde yüksek miktarda kayıp [12], lezzet bileşiklerini bozma, kütle yoğunluğunda azalma ve ciddi renk değişimi meydana gelir [10]. Son olarak, sıcak havayla kurutma, ürünün mikro yapısında ciddi değişim meydana getirir, doku sertleşmesi ve doku çökmesi nedeniyle gıdalarda rehidrasyonunu engelleyen yapısal değişikliklere neden olur [10, 11].

Dondurularak kurutma, suyun esas olarak süblimeysen yoluyla dondurulmuş bir malzemeden çıkarıldığı ve ürün kalitesini korumak için en gelişmiş kurutma yöntemlerinden biri olduğu bilinmektedir [13]. Dondurularak kurutma, ısı hasarını önlemek ve mükemmel yapısal tutmaya sahip ürünler üretmek için uygulanabilse de [14], yavaş ve pahalı bir işlemdir. Uzun işlem süresi kompresör ve soğutma ünitelerinde ek enerji gerektirir, bu da işlemi ticari kullanım için çok pahalı kılar. Bu nedenle, dondurularak kurutma en çok birinci sınıftan satılabilen değerli ve hassas ürünler veya tıbbi ürünler için kullanılır [15]. Ayrıca, donma kurutması genellikle büyük miktarda tat uçucu kaybına neden olur. Bu nedenle, dondurularak kurutulmuş (FD) ürünler genellikle tatsız olarak tanımlanır [14].

Geleneksel sıcak hava ile yapılan kurutmada yukarıdaki belirtilen kalite kayıpları göz önünde bulundurulduğunda ve en iyi koruma yöntemi olarak bilinen dondurularak kurutma işleminin uzun sürmesi ve pahalı olmasından dolayı bu sorunları gidermek, önemli kalite kaybını önlemek ve hızlı ve etkili termal işleme ulaşma arzusu, gıda kurutma için mikrodalga ve mikrodalga kombineli kurutma yöntemlerinin kullanımının artmasına neden olmuştur. Yukarıdaki belirtilen durumların her birini, vakum ve mikrodalga kombinasyonunun bu sınırlamaları azalttığı veya önlediği bildirilmiştir. Vakum, suyun kaynama noktasını ve dolayısıyla kurutma sıcaklığını azaltır. Mikrodalga, vakum boyunca ürün içine enerji aktarımı için etkili bir yol sağlar. Hacimsel ısıtma ve işlem süresini kısaltmak gibi avantajlara sahiptir [11]. Mikrodalga-vakum kurutma, kurutulmuş ürünlerin kalitesini iyileştirmek için alternatif bir yöntem olduğu vurgulanmıştır. Mikrodalga ısıtma ile hızlı enerji aktarımı ile birlikte vakumla sağlanan düşük sıcaklık ve hızlı kütle transferi, çok hızlı, düşük sıcaklıkta kurutma oluşturur. Üstelik, kurutma sırasında havanın olmaması oksidasyonu engelleyebilir ve bu nedenle ürünlerin renk ve besin içeriği büyük ölçüde korunabilir [14] Yongsawatdigul vd. [16], vakumlu mikrodalga ile kurutulmuş kızılıkların, sıcak hava ile kurutulmuş kızılıklara kıyasla daha kırmızı renkli ve yumuşak bir yapıya sahip olduğunu bildirdi. Petrucci vd [17], ayrıca kurutulmuş üzümdeki A

vitamini, C vitamini, riboflavin, tiamin ve niasin içeriğinin, vakumlu mikrodalga kurutma sırasında büyük ölçüde korunduğunu göstermiştir

Günümüzde İnsanların doğal ve güvenli fonksiyonel gıdalara olan talebi artması ile yabani olarak yetişen kuşburnu dikkat çekmiştir. Kuşburnu ve bundan üretilen ürünler, zengin besin içeriğine sahip olmasından dolayı beslenme, sağlığa yararlı ve farmasötik özellikleriyle büyük bir potansiyele sahiptir [18]. Günümüzde yaygın olarak tüketilen meyve, sebzelerden daha yüksek oranda askorbik asit içeriğine sahip olup vitamin (A, K) ve mineral (K, P) içeriği bakımından zengin bir bileşime sahiptir. Ayrıca yabani yetişen bir meyve olarak yüksek antioksidan ve fenolik içeriğine sahiptir [19]. Yüksek besin değeri ve terapötik özellikleri nedeniyle kuşburnu, insan diyetinde olması gerektiği bildirilmiştir [20]. Bundan dolayı, kuşburnu kullanımı üzerine yapılan araştırmalar son yıllarda artmıştır Kuşburnu reçel, nektar, marmelat ve meyve suyu üretimi, probiyotik içecekler, yoğurt, şarap, puding, jöle, şekerleme, reçel gibi gıdalarda besin takviyesi olarak kullanımı ve son yıllarda kanıtlanmış sağlık özellikleri nedeni ile sağlık takviyesi olarak tescilli kuşburnu tozu (Litozin®) üretiminde kullanılmaktadır [21, 22, 23].

Bu çalışmada Mikrodalga-vakum (MV) kurutma yönteminin kuşburnunun kalite özellikleri üzerine etkisinin incelenmesi amaçlanmıştır. Bununla birlikte MV kurutma yönteminin farklı mikrodalga güç (50, 100 ve 150 W) ve farklı sistem basınç (40, 75 ve 110 mbar) parametrelerinin kuşburnu kalite üzerindeki etkisi de incelenmiştir. Ayrıca dondurarak ve sıcak hava ile kurutma (60°C-1.5 m/s) yöntemleri ile de kurutularak farklı kurutma yöntemlerinin etkileri karşılaştırılmıştır. Bu çalışmada mikrodalga-vakum ile kurutulmuş kuşburnunun kurutma eğrileri çıkarılmış ve üç yöntem ile kurutulmuş örnekler fiziksel (renk, rehidrasyon, mikro yapı) ve kimyasal (toplam fenolik bileşen içeriği, toplam antioksidan aktivite) analizleri yapılarak kalite özellikleri değerlendirilmiştir.

## 2.KAYNAK ARAŞTIRMASI

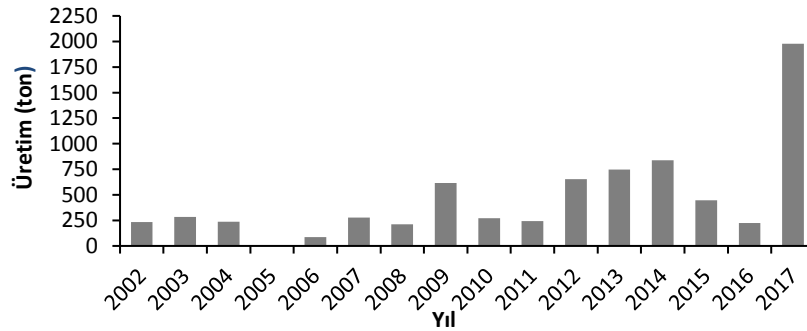
### 2.1.Kuşburnu

Kuşburnu, *Rosales* takımının *Rosaceae* familyasının *Rosaoideae* alt familyasının *Rosa* cinsine ait çok yıllık bitkidir [24]. Bu çok yıllık çalı bitkisi sert ekolojik koşullarına (fakir topraklar, kayalık ve eğimli yerler ve kurak bölgeler vb.) karşı dirençli olup yaklaşık 2-3 metre yüksekliğine kadar büyümektedir. Meyve içi tüylü olup çok sayıda çekirdek içermektedir [19]. *Rosa* cinsi, Avrupa, Asya, Orta Doğu ve Kuzey Amerika'da yaygın olarak dağılmış, yüzden fazla türü bulunmaktadır [24, 25]. Türkiye'de bu türlerinin yaklaşık %25'i (yaklaşık yirmi yedi kuşburnu türü) doğal olarak yetişmekte olup en önemli *Rosa* germplazm merkezlerinden biridir. *Rosa gallica* ve *R. damascena* gibi bazı türlerin çiçekleri Anadolu'da gül yağı ve gül suyu üretimi yapılırken bazı diğer türlerin (*Rosa villosa* L., *Rosa dumalis* Bechst., *Rosa canina* L. gibi) meyveleri (kuşburnu) ayrıca ekonomik değere sahiptir [26]. Kuşburnu, Türkiye'de farklı türlere bağlı olarak geniş alana yayılmıştır. Ülkemizin hemen her yöresinde yetişmesine rağmen yoğun olarak yetiştiği bölgeler Doğu, Kuzey ve Kuzey Doğu Anadolu olmak üzere Tokat, Sivas, Gümüşhane, Erzincan, Erzurum, Kars ve Van illeri üretimin ana merkezi konumundadır [27]. Türkiye'de çoğunlukla *Rosa canina*, *Rosa dumalis* ve *Rosa villosa* türleri bulunmaktadır [26]. Kuşburnu halk dilinde "gül burnu", "gül elması", "itburnu", "köpekgülü", "Kış gülü", "Mayıs dikenini", "yaban gülü", "fukara portakalı", "deli gül" gibi pek çok farklı şekilde bilinmektedir [28]. Son zamanlarda dünya genelinde sağlıklı gıda kullanımı ile ilgili tüketici ilgisini arttırmıştır. Bu kuşburnu (*Rosa spp.*) gibi yüksek kaliteli alternatif meyveler için özel bir pazar segmenti yaratmış ve kuşburnu tüketimi giderek artmıştır. Ülkemiz, yüksek kaliteli kuşburnu yetiştirmek için uygun koşullara sahiptir ve kuşburnu geniş yayılma alanında doğal olarak yetişmektedir [29]. Doğada yabani olarak yetişen kuşburnu kültür bitkisi haline getirilemediğinden dolayı sanayisi gelişmemiştir. Fakat son yıllarda kültüre alma çalışmaları yapılmıştır. Mevcut doğada yetişen yabani kuşburnu, seleksiyon yoluyla üstün özellikte (kaliteli) olanları ortaya çıkarma çalışmaları yapılmıştır [30, 31]. Ümit vaat eden genotipler belirlenmiştir [32]. Fakat bahçelerin kurulması aşamasına geçilmediğinden standart bir üretim yapılamamaktadır. Ülkemizde yöresel boyutlarda gıda teknolojisinde kullanılmaktadır. İnsan beslenmesindeki rolü üzerine yapılan çalışmalar sonucunda kuşburnu kullanımına olan ilgi giderek artmıştır. Günümüzde standart üretim üretim yapılabilmesi için çalışmalar devam etmektedir [24].

Kuşburnu artık günümüzde yeni bir ekin haline geldi ve son zamanlarda ticari ekimler kurulmuştur. Genellikle yabani bitkilerden el ile toplanır fakat günümüzde artık makine ile toplanmaya çalışılmaktadır. Dünya geneline baktığımızda Şili ana üreticisi konumundadır. 2004 yılında, kuşburnu ürünleri için en büyük pazar olan Almanya'ya yaklaşık 8000 ton satılmıştır.



Diğer büyük ihracat pazarları İsveç ve ABD'dir. Avrupa'da, Türkiye, Macaristan, Almanya yıllık ortalama 200-1000 ton/ülke ile büyük üreticilerdir [33]. 1991-2004 yılları arasında Şili'de yıllık ortalama 6800 ton kurutulmuş kuşburnu kabuğunu çoğunlukla Avrupa ülkelerine (özellikle Almanya) ihraç edildiği rapor edilmiştir [34]. Organik yabani toplanan ürünler için dünya çapında üretim hakkında bilgi vermeyi amaçlayan bir çalışmada resmi veriler olmamakla birlikte, 2005 yılında rapor edilen miktarlara dayanarak dünya genelinde toplam kuşburnu üretiminin yıllık 7782 ton olduğu bildirilmiştir. Lesotho (Afrika) 1000 ton, Romanya (Avrupa) 3051 ton ve Şili (Latin Amerika) 3514 ton üretim ile en yüksek yıllık üretim miktarına sahip ülkelerdir [35]. Kuşburnu ülkemizin hemen her yöresinde doğal olarak yetişmekle birlikte Gümüşhane, Tokat, Sivas, Erzincan, Erzurum, Kastamonu, Kars ve Van illerinin kuşburnu üretiminin ana merkezleridir. Bölgesel olarak en yüksek üretim Doğu, Kuzey ve kuzeydoğu Anadolu bölgelerindedir [29]. Tarım ve Orman Bakanlığı'nın organik tarımsal üretim verilerine göre ülkemizde kuşburnu üretiminin yıllara göre dağılımı Şekil 2.1'de grafik üzerinde gösterilmiştir. Standart bir üretimin olmamasından ve dikenli yapısı ile toplanmasının güç olmasından dolayı yıllara göre üretim miktarlarında dalgalanmalar olmuştur. Standart üretime geçmek için günümüzde çalışmalar mevcut fakat hala yöresel olarak üretimi yapılmak ve elle toplanmaktadır. Ülkemiz kuşburnu yetiştirilmesine uygun bir ülkedir. Üretim alanların artırılması ve makinelerle toplanması durumunda ciddi üretim miktarlarına ulaşabilecektir



Şekil 2.1. Türkiye'de yıllara göre kuşburnu üretimi [36]

## 2.2. Kuşburnu Kimyasal İçeriği ve Beslenme Açısından Önemi

Halkın genel olarak en iyi C vitamini kaynağının portakal, limon ve meyve suları gibi turunçgillerin olduğunu bilmektedir. Ananas, tatlı biberi brokoli, kıvırcık lahana, karnabahar, siyah kuş üzümü ve kuşburnu gibi yeterli miktarda C vitamini içeren çeşitli meyve ve sebzelerde yapılan araştırmada en yüksek C vitamini miktarının kuşburnunun sahip olduğunu bildirmiştir. Bu neden ile iskorbüt hastalığını önlemek için kullanılmıştır [37]. Ayrıca kuşburnu meyvesinin C vitamini (askorbik asit) miktarının portakal meyvesine göre yaklaşık 6 kat daha yüksek olduğunu bildirilmiştir [38].

Kuşburnu, özellikle C vitamini olmak üzere [39], A, P, K, B1 ve B2 [40], ve E vitamini [41], K, Ca, Na, Fe, Mg ve P gibi mineralleri [42], folik asit [43],  $\beta$ -karoten, likopen gibi karotenoidleri [44, 45] ana fenolik bileşenlerini oluşturan quercetin ve (+)-catechin gibi flavanoidleri [46], tokoferol, biyoflavonoidleri, meyve asitleri, tanen, pektin, şekerler, organik asitler, amino asitler ve vücudumuzun sentezleyemediği için insanların alması gereken uzun zincirli, çoklu doymamış yağ asitleri olan linoleik ve  $\alpha$ -linolenik esansiyel yağ asitleri [39] içerdiği bildirilmiştir. Fenolik bileşikler, C vitamini ve antioksidan aktivite ile birlikte değerlendirildiğinde, özellikle taze kuşburnu ve kurutulmuş kuşburnu meyvesi antioksidan kaynağı olarak kullanılabilmesi öne sürülmüştür. Bununla birlikte, kuşburnu ürünlerinin yüksek besin değeri ve terapötik özellikleri nedeniyle insan diyetinde olması gerektiği belirtilmiştir [20]. Diğer yaygın meyve veya sebzelerden daha yüksek oranda askorbik asit mevcut olup mineral (K, P) ve vitamin (C, A) içeriği nedeniyle zengin bir bileşime sahiptir. Ayrıca yabancı bir meyve olarak yüksek fenolik içeriği vardır [19].

Çeşitli diyet bitkileri üzerine yapılan bir araştırma, kuşburnularının en yüksek toplam antioksidan özellik göstermiş olup en yüksekten en düşüğe doğru sırasıyla; kuşburnu, ceviz, nar, karga üzümü, yabanmersini, böğürtlen, vişne, yabancı böğürtlen, yabancı çilek, ayçiçeği çekirdeği, kültür böğürtlen ve kızılıklık olduğu bulunmuştur [47, 48].

Farklı türdeki kuşburnu meyvelerinin karotenoid bileşimi yüksek performanslı sıvı kromatografisi ile incelenen bir çalışmada dokuz karotenoid belirlenmiş olup toplam karotenoid konsantrasyonlarında en fazla likopen ve  $\beta$ -karoten karotenoidlerin içerdiğini saptamışlardır [49]. Başka bir çalışmada likopen,  $\beta$ -karoten açısından iyi bir karotenoid kaynağı olmasının yanı sıra iyi bir E vitamini kaynağı da olduğu da saptanmıştır [50].

Likopenin besin alımına katkıda bulunan başlıca kaynak domates ve domates ürünleri olmasıyla birlikte yapılan bazı araştırmalarda taze kuşburnunda bulunan likopen miktarı, çoğu taze domatesten daha yüksek bulunmuştur. Bundan dolayı hammadde kaynağı olarak kuşburnu önerilmiştir [51]. Folat, çeşitli sağlık yararları kabul edilmiş, hücre replikasyonu ve büyüme için gerekli olan ve suda çözünebilen bir B vitamindir. Yapılan çalışmalarda sonuçlara dayanarak, kuşburnuların zengin bir folat kaynağı olduğu sonucuna varılmıştır [52].

Genel olarak kuşburnu, yüksek konsantrasyonlarda askorbik asit, fenolik bileşikler ve esansiyel yağ asitleri içerir. Rosaceae meyvelerinin önemli fizyolojik fonksiyonlara sahip olması, antioksidan, antimutagenik ve antikanserijenik aktivitelere sahip olduğu bilinen yaygın fenolik maddelerden kaynaklanabileceği dile getirilmiştir. [53]. Belirtilmesinde fayda olan kuşburnu meyvesinin ilginç bir özelliği, kimyasal bileşiminin çeşidine, büyüyen bölgeye, rakıma, iklime, olgunluğa, yetiştirme pratiğine ve saklama koşullarına bağlı olarak farklı olmasıdır. Uzun yıllar boyunca çeşitli araştırmacılar tarafından organik asitler, fenolikler, şekerler, suda çözünen vitaminler ve mineralleri açısından önemli farklılıklar olduğunu bildirilmiştir [39].

**Tablo 2.1.** Taze Kuşburnunun Kimyasal Kompozisyonu

<b>Bileşim öğeleri</b>					
Toplam KM (%)	38,85-40,4	29,6-58,5	32,4-56,9	22-40,32	[39] [54] [55] [56]
Suda Çözünür KM (%)	29,42-37,33	14-45	24,5-30,5	23,2-34,1	[39] [54] [55] [30]
Toplam asitlik (sitrik asit, %)	0,91-2,04	1,50-3,50	2,04-3,61	3,10±0,07	[39] [56] [57] [58]
pH	3,03-4,15	3,99±0,02	3,94	3,91±0,03	[57] [58] [59] [60]
Kül (%)	6,48-7,35km	3,47±0,20km	2,02±0,03	4,19±0,73 km	[19] [61] [58] [62]
Yağ (%)	1,2-1,6km	1,52-1,85	0,65±0,04km	1,43±0,18 km	[19] [39] [61] [62]
Protein (%)	6,71-8,44 km	2,72±0,05 km	1,6 km	4,12±0,02 km	[19] [61] [63] [62]
Karbonhidrat (%)	93,16±0,18 km	38,22	90,16±0,55km	39,0	[61] [63] [62] [64]
İndirgen şeker (g/100g)	09,09-18,67	20,58	17,85±0,90		[56] [59] [62]
Toplam Şeker (g/100g)	29,90±2,16 km	12,02-21,28	14,92-24,05	22,27 km	[61] [56] [65] [59]
Antioksidan aktivite					
DPPH (%)	90,58	88,7±1,9			[46] [66]
FRAP	983,4-2187,1 km (µmol FRAP g <sup>-1</sup> )	10,04-97,95 (mmol TE g <sup>-1</sup> )	9,22 km (mmol FRAP g <sup>-1</sup> )	38,55±0,95 (mmol TE g <sup>-1</sup> )	[67] [65] [59] [60]
TEAC (µmol TEAC g <sup>-1</sup> )	457,2-626 km	416,644±16,73			[67] [68]
ABTS (µmol TE g <sup>-1</sup> )	190-379	38,75±0,33			[69] [70]
Toplam fenolik içeriği (mg GAE g <sup>-1</sup> )	55-84 Km	73-96 km	10,81-62,98	8,44±0,01 km	[71] [39] [65] [66]

Askorbik asit (L-AA mg g <sup>-1</sup> )	10,74-25,57	24,96 km	3.32-16.04	12,52±0,07	[72] [59] [73] [70]
Toplam karotenoid (mg β-karoten 100g <sup>-1</sup> )	18,9-119,2 km	38,0 km	18,07±0,89	62,19±0,09	[71] [59] [68] [51]
Likopen (mg 100g <sup>-1</sup> )	28,23±1,63 km	7,51	6,8	1,3-17,6	[74] [46] [63] [75]
Lutein (mg 100g <sup>-1</sup> )	1,97±0,33 km	2,00	0,43-0,92		[74] [63] [49]
β-karoten (mg 100g <sup>-1</sup> )	14,52±1,63 km	1,29±0,26 km	4,26	2,35	[74] [61] [58] [63]
Toplam flavonoid (mg (+)-kateşin 100g <sup>-1</sup> )	3105 ±118	400,5±2,1	143-229 kuersetin	980±21	[61] [66] [76] [77]
Toplam antosiyanin (mg siyanidin-3-glukozit g <sup>-1</sup> )	0,4±0,3 km	0,0243-0,0372	0,031±0,01	0,032-0,038	[74] [65] [58] [78]
Kuersetin (mg 100g <sup>-1</sup> )	8,7±1,7 km	0,2-3,3	0,276		[74] [79] [46]
Kateşin (mg kg <sup>-1</sup> )	225,25-475,67	14,19			[79] [75]
Toplam tokoferoller (mg 100g <sup>-1</sup> )	9,25±0,64 km	3,5-25,5	20,62±0,45km	79,73±3,74	[61] [75] [62] [77]
α- tokoferoller (Vitamin E)	7,05±0,28 km	5,84	1,5-24,5	18,01±0,40 km	[61] [63] [75] [62]
<b><u>Mineraller</u></b> (mg kg <sup>-1</sup> )					
K	890,5-1023	5467-7700 km	1377,2	4290	[19] [39] [46] [63]
P	1850-2200	4860-5360 km	469,7	610	[19] [39] [46] [63]
Ca	133,3-146,7	1220-2867 km	3433	1690	[19] [39] [46] [63]

### 2.3. Kuşburnu Değerlendirilmesi ve Kullanım Alanları

Besin öğeleri bakımından zengin içeriğe sahip olan kuşburnu meyvesi, başta Avrupa ülkeleri olmak üzere ülkemiz ve diğer birçok ülkelerde gıda, ilaç ve kozmetik sanayiinde geniş bir kullanım alanına sahiptir. Özellikle İsveç, Polonya, Rusya ve Almanya'da gıda ve ilaç sanayinde yoğun olarak kullanılmaktadır [80]. Kuşburnu meyvesinde çok sayıda çekirdek olması ve içi tüylü olması taze olarak tüketilmesini güç hale (duruma) getirmesine rağmen tüketilebilmektedir. Fakat genel olarak meyvesi taze veya kurutulmuş şekilde ürünlere işlendikten sonra tüketilmektedir [39]. Kuşburnu taze veya kurutulmuş olarak reçel, jöle, marmelat, çay, nektar, meyve suyu, püre, meyveli içecekler, şarap, liköre işlenmek ve puding, fırınlanmış ürünler, şekerlemeler, ekstrüde gıdalarda, salata soslarında, çeşnilerde, aparatif gıdalarda, yoğurt gibi süt ürünlerde ve et gibi gıdalarda lezzet verici olarak kullanılmaktadır. Düşük askorbik asit içeriğine sahip meyve sularının zenginleştirmesinde doğal askorbik asit kaynağı olarak yararlanılmaktadır [29, 81-86, 88].

Türkiye'de 1990'lı yıllardan beri Gümüşhane, Tokat, Kastamonu, Samsun, İstanbul ve İzmir'de kurulu fabrikalarda mamuller üretilmeye başlanmıştır. Türkiye'de kuşburnu teknolojik boyutta; kuşburnu çayı, kuşburnu marmelatı, kuşburnu püresi, kuşburnu posası, reçel ve meşrubat, üretiminde hammadde olarak işlenmektedir [29, 81]. Ayrıca bölgesel olarak geleneksel yöntemler ile pekmez ve pestil gibi geleneksel ürünlere işlenmektedir [87, 88]. İsveç'te çoğunlukla, popüler bir ulusal yemek olan kuşburnu çorbasının ticari üretimi için kullanılmaktadır [90]. Nyponsoppa, İsveç mutfağında popüler bir kuşburnu çorbasıdır [18, 85]. Ticari olarak Ekströms Orijinal ve Ekstöms Prima adında iki kuşburnu çorbası üretilmektedir [52]. Kuşburnunda zararlı böcek ilacı ve ağır metallerin varlığına rastlanmadığından dolayı bebek maması formülasyonlarında kullanılmaktadır [91].

Kuşburnu bileşenlerinde katma değerli biyoaktif bileşiklerin yüksek içeriği, askorbik asit, karotenoidler, fenolik bileşikler, antiinflamatuar ajanlar ve çoklu doymamış yağ asitleri gibi çeşitli sağlığa yararlı bileşiklerin bulunması [92, 93] sağlıklı ve dengeli bir diyetin desteklenmesi ve dolayısıyla yaşam kalitesini artırılması için bir araç olarak gösterilmektedir [82]. Probiyotik içecekler, yoğurtlar ve besin takviyeli gibi gıdalarda ve son yıllarda kanıtlanmış sağlık özellikleri nedeni ile sağlık takviyesi olarak tescilli kuşburnu ve çekirdek tozu (Litozin<sup>R</sup>) üretiminde kullanılmaktadır [21, 22, 23] Danimarka'da kuşburnu özütü takviyeli probiyotik süt ürünü 'ROSALACT' (Hansen, Kopenhag) üretimi yapılmaktadır [94].

İnsanların doğal, lezzetli ve güvenli fonksiyonel gıdalara olan talebi artmaktadır. Kuşburnu ve bundan üretilen ürünler, besin bakımından zengin bir içeriğe sahip olması nedeni ile büyük bir potansiyele sahiptir [18]. Bundan dolayı son yıllarda kuşburnu kullanımı üzerine yapılan araştırmalar artmıştır.

Dondurma üretiminde kuşburnu marmelat kullanılarak hacim artışı sağlanmıştır [95]. Pişmiş burger köftelerinin soğuk depolanması sırasında meydana gelen protein oksidasyonu ile renk ve doku bozulmasını kuşburnu ekstraktı kullanılarak önemli ölçüde azaltılmıştır [96]. Meyveli yoğurt üretiminde kuşburnu ve *L. acidophilus* suşu ile yoğurtun duyuusal, beslenme ve sağlığa yararlı özellikleri iyileştirilmiştir [97].

Ekstrüde teknolojisi ile elde edilen mısır ekstrüdatlarda kuşburnu posası tozu takviye edilerek toplam polifenolik içeriği ve antioksidan düzeyi artırılmıştır. Bu da günlük insan beslenmesinde biyoaktif bileşik kaynağı olabileceği ileri sürülmüştür [98]. Kuşburnu meyve suyu üretiminde arta kalan meyve posasında hala biyoaktif bileşikler bulunduğu sonucuna varılmıştır. Fırıncılık ve pastane ürünlerinde özellikle beyaz undan yapılan ürünlerde meyve posası eklenmesi ile bileşiklerin içeriği vitamin ve fenolik bileşiklerin önemli ölçüde zenginleştirilmiştir. Kurabiye yapımında kuşburnu posası eklenmesi ile daha güçlü antioksidan potansiyeline ve artan diyet lif içeriğine sahip olmuştur [99].

Kuşburnu işletmelerinde yan ürün olan kuşburnu çekirdeği hayvan beslenmesinde kullanılmaktadır. Fakat lipid fraksiyonunda doymamış ve çoklu doymamış yağ asitleri içermesi ve cilt hastalıkları üzerindeki terapötik etkisinden dolayı çekirdek yağı kozmetik sanayisinde kullanılmaktadır [92, 100]. Ayrıca karbonhidrat, askorbik asit, çoklu doymamış yağ asitleri ve fitosteroller açısından zengin ve antioksidan aktiviteye sahip olduğu için araştırmaların bulguları, kuşburnu çekirdeği ve çekirdek yağının fonksiyonel gıda formülasyonlarında ve besin takviyesi katkı maddeleri olarak kullanılabilirliği söylenmektedir [101].

Asya Noodle'larına benzeyen ve Türkiye'de geleneksel bir tahıl ürünü olan Erişte'de kuşburnu çekirdek unu kullanılarak diyet lif, doymamış ve esansiyel yağ asitleri, antioksidan aktivitesi ve besinsel içeriği zenginleştirilmiştir [102]. Kuşburnu çekirdek tozu, soğuk depolama sırasında meydana gelen lipid oksidasyonunu önlemek için antioksidan ajan olarak kullanılmıştır. Kontrol örneklerine göre daha düşük tiyobarbitürik asit reaktif madde değerine sahip bulunmuştur. Köftelerde doğal bir antioksidan ajan olarak kullanılabilirliği ve dolayısıyla et ürünlerinde lipid oksidasyonu önlemek için çekirdek tozunun kullanılabilirliği ileri sürülmüştür [103].

## **2.4. Mikrodalga-ve dielektrik özellikleri**

### **2.4.1. Mikrodalgalar**

Mikrodalgalar, elektromanyetik spektrum bölgesinde kızılötesi radyasyon ve radyo dalgaları arasında bulunur. Daha spesifik olarak, mikrodalgalar, 300 MHz ile 300 GHz arasında değişen frekanslarda olup bu frekanslara karşılık gelen, 0.001 ile 1 m arasındaki dalga boyları sahip iyonize edici olmayan elektromanyetik dalgalarıdır [104].

Mikrodalga frekans aralığı içinde, iletişim (TV yayınları, cep telefonu, radar vb.) alanlarında kullanılan frekanslar da yer almaktadır. Dalgaların birbiri ile girişimini engellemek amacı ile ABD Federal İletişim Komisyonu (FCC) tarafından tıbbi, bilimsel ve endüstriyel alanlarda kullanma üzere özel frekanslar belirlenmiştir [105, 106]. Endüstriyel alanda kullanılmasına izin verilen frekanslar ve bunlara karşılık gelen dalga boyları Tablo 2.2'de gösterilmiştir [106].

**Tablo 2.2.** Federal İletişim Komisyonu tarafından kullanılmasına izin verilen frekanslar [106].

Center frequency (MHz)	Deviation (MHz)	Deviation (%)	Wavelength in free space (m)
915	13	1.421	0.328
2450	50	2.041	0.122
5800	75	1.293	0.052
24125	125	0.518	0.0124
61250	250	0.408	0.0049
122500	500	0.408	0.0024
245000	1000	0.408	0.0012

Gıda uygulamaları için onaylanmış ve en çok kullanılan frekanslar  $2450 \pm 50$  ve  $915 \pm 25$  MHz'dir. Ev tipi mikrodalga fırınlar 2450 MHz'de çalışmakta ve endüstriyel ısıtma sistemleri 2450 veya 915 MHz (İngiltere'de 896 MHz) kullanmaktadır [107].

Mikrodalgalar tanecik ve dalga özelliğine sahiptirler. Evrendeki tüm cisimler, mutlak sıfır sıcaklığın üzerinde, elektromanyetik dalgalar yayarlar. Tüm elektromanyetik dalgalar, dalga boyu ve frekansları ile karakterize edilir [108, 109]. Elektromanyetik dalgalar, enerji birimleri denilen foton halinde absorbe edilir. Bir fotonun taşıyabileceği enerji yayılmanın frekansına ve dalga boyuna bağlıdır [108]. Elektromanyetik dalgalar ile enerji transferi radyasyon mekanizması ile gerçekleşir. Radyasyon enerjisi ile frekans arasındaki ilişki aşağıdaki eşitlik 1 ile tanımlanmıştır.

$$E = h.f \quad (1)$$

Burada  $E$  radyasyon enerjisi,  $h$  Planck sabiti ( $6.33 \times 10^{-34} \text{ j/s}$ ) ve  $f$  elektromanyetik dalganın frekansıdır ( $\text{Hz}$ ) [110].

Elektromanyetik dalganın frekansı ne kadar küçük olursa materyale penetrasyon da o kadar fazla olur. Mikrodalganın frekansı ve dalga boyu arasındaki ilişki ters orantılı olup aşağıdaki eşitlik 2 ile tanımlanmaktadır.

$$f = \frac{c}{\lambda} \quad (2)$$

Eşitlikte verilen  $f$  elektromanyetik dalganın frekansı ( $Hz$ ),  $\lambda$  dalga boyu (m) ve  $c$  ışık hızı ( $c = 3 \times 10^8 m/s$ )'dir [110]. Mikrodalgalar havada yaklaşık ışık hızında hareket ederler, ancak bir gıda maddesinin içinde daha düşük hızda hareket ederler [109].

#### 2.4.2. Dielektrik özellikler

Gıdaların dielektrik özellikleri, dielektrik işlemeyi etkileyen temel ve kritik faktörlerdir. Çoğu gıda materyallerin dielektrik özellikleri çeşitli farklı faktörlere göre değişir. Tarımsal ürünler için en kritik faktör nem içeriğidir. Ayrıca, bu özellikler dielektrik ısıtma ve işleme uygulamalarında mikrodalga enerjisinin absorbe edilmesi ve gıda materyallerin ısınma davranışını belirler. Dielektrik (mikrodalga ve radyo frekans) ısıtma işlemi, gıda materyallerin sadece şekil, hacim, yüzey alanı ve hammadde bileşenleri de dahil olmak üzere fiziksel özelliklerden etkilenmekle kalmaz, aynı zamanda sıcaklık, nem içeriği, dielektrik frekansı ve yoğunluğun bir fonksiyonu olarak dielektrik özelliklerinden de etkilenir [111].

Materyaller, mikrodalgaları absorbe etme özelliklerine göre; (i) mikrodalgayı güçlü absorbe edenler yani yüksek dielektrik kaybı olan materyaller. (ii) Mikrodalga enerjisinin materyalde az miktarda azalarak geçtiği transparan (saydam) olan veya düşük dielektrik kaybı olan materyaller ve (iii) mikrodalgaları yansıtan opak veya iletken materyaller olmak üzere üç kategoriye ayrılır. Bu nedenle, materyalleri yukarıdaki üç kategoriye ayırmak için dielektrik özelliklerin bilinmesi gerekmektedir [112].

Dielektrik özellikler, dielektrik ısıtma sırasında materyallerin elektromanyetik enerjiyle nasıl etkileştiği hakkında bilgi veren ana parametrelerdir [107]. Mikrodalgalar bir materyale doğru yönlendirildiğinde, enerjinin bir kısmı yansır, bir kısmı yüzeyden iletir ve bu ikinci kısmın bir miktarı emilir. Bu üç kategoriye giren enerji oranları, dielektrik özellikler üzerinden tanımlanmıştır [113]. Gıdalar ne iyi elektriksel yalıtkan ne de iyi elektriksel iletken olarak kabul edilir. Bundan dolayı "kayıplı dielektrik materyaller" olarak kategorize edilir. Yani başka bir deyişle dielektrik özellikler, bir gıda materyalinin elektromanyetik enerjiyi emmesi, iletmesi ve yansıtması yeteneğini tanımlar [114].

Dielektrik özellikler olarak tanımlanan bu yetenekler, bağıl kompleks geçirgenlik (permitivite) ( $\epsilon$ ) ile ifade edilmektedir. Bağıl kompleks geçirgenlik, sırası ile dielektrik sabit ve dielektrik kayıp faktörü olan gerçek ve sanal (imajiner) iki kısımdan oluşur. Matematiksel olarak eşitlik 3'te görüldüğü gibi ifade edilir.

$$\epsilon = \epsilon' - j\epsilon'' \quad (3)$$



Burada  $\varepsilon'$  ve  $\varepsilon''$  sırası ile dielektrik sabiti (gerçek kısmı) ve dielektrik kayıp faktörü (sanal kısım) olarak ifade edilirken;  $j$  ise karmaşık bir sayı olup  $\sqrt{-1}$ 'e eşittir [106, 107, 113].

Dielektrik sabiti (vakum için  $\varepsilon'=1$ ), bir materyalin elektrik alana maruz kaldığında, materyal tarafından ne kadar enerjinin depolanabileceğinin bir ölçüsünü sağlar. Kısacası enerjinin depolama kabiliyetini göstermektedir [112, 115]. Dielektrik kayıp faktörü, materyalde depolanan elektrik enerjisinin ne kadarını termal enerjiye dönüştürebileceğini yani elektrik enerjisini kullanma kabiliyetini göstermektedir. Mikrodalga enerjisi, maruz bırakılan bir materyalden aşarken uğradığı enerji kaybı yani o materyalin dielektrik kayıp faktörü, gıda materyali için ne kadar yüksekse o gıda o kadar hızlı ısınır demektir [104, 107, 112].

Bir materyalin elektromanyetik alan varlığında ısıtılması dielektrik kayıp tanjant ile tanımlanır. Elektromanyetik alanda materyale sızan elektrik enerjisinin ısı olarak tüketilme miktarı hakkında bilgi vermektedir. Kayıp tanjant (veya enerji kayıp faktörü); dielektrik kayıp faktörün ( $\varepsilon''$ ) dielektrik sabitine ( $\varepsilon'$ ) oranı olmak üzere iki parametreden oluşur. Eşitlik 4'te gibi gösterilmektedir.

$$\tan \delta = \frac{\varepsilon''}{\varepsilon'} = \frac{\kappa''}{\kappa'} \quad (4)$$

Burada  $\kappa''$  ve  $\kappa'$  sırası ile  $\kappa' = \varepsilon' / \varepsilon_0$  ve  $\kappa'' = \varepsilon'' / \varepsilon_0$  olarak verilen bağıl dielektrik sabit ve bağıl dielektrik kaybı ifade ederken  $\varepsilon_0$  ise boş alanın elektriksel geçirgenliğini ( $\varepsilon_0 = 8.854 \times 10^{-12} \text{ F / m}$ ) tanımlamaktadır [108, 112].

Materyal tarafından absorbe edilen mikrodalga enerjisinin termal enerjiye dönüşümü sonucu materyal içerisinde ısı üretimi olmaktadır. Bu üretilen ısı eşitlik 5'te verilen denklem yardımı ile hesaplanmaktadır.

$$Q = 2\pi\varepsilon_0\varepsilon''fE^2 \quad (5)$$

$Q$ , birim hacim başına üretilen ısı miktarı ( $W / m^3$ );  $\varepsilon_0$ , boş alanın elektriksel geçirgenliğini ( $\varepsilon_0 = 8.854 \times 10^{-12} \text{ F / m}$ );  $\varepsilon''$ , materyalin dielektrik kayıp faktörü;  $f$ , elektromanyetik alanın frekansı ( $Hz$ ); ve  $E$ , elektrik alanın anlık şiddeti ( $V / m$ ) olarak tanımlanmaktadır [116, 117].

Gıda materyali tarafından emilen mikrodalga gücü, materyalin ısınmasına neden olduğundan gıdaların herhangi bir yerinde ve bir zaman aralığında ( $\Delta t, s$ ), sıcaklığındaki artışı ( $\Delta T, ^\circ C$ ) eşitlik 6'ta gibi hesaplanmaktadır [106, 116].

$$\rho C_p \frac{\Delta T}{\Delta t} = 2\pi \varepsilon_0 \varepsilon'' f E^2 \quad (6)$$

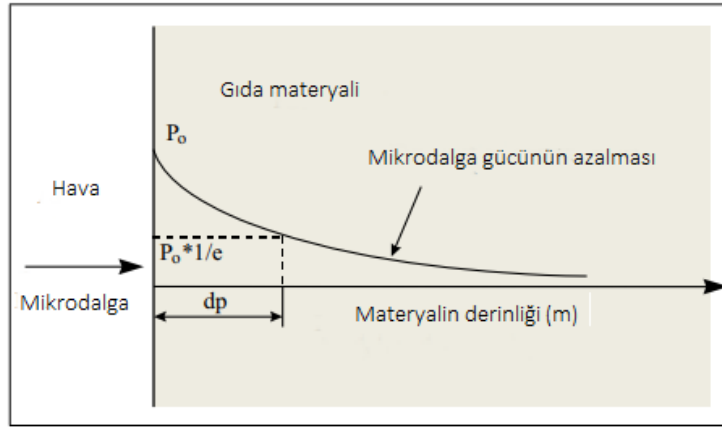
$\rho$ , materyalin yoğunluğu ( $kg/m^3$ ) ve  $C_p$ , materyalin özgül ısısı ( $J/kg^\circ C$ ) olarak tanımlanmaktadır. Eşitlik 6 görülmek üzere sıcaklıktaki artışın, dielektrik kayıp faktörü, elektrik alan şiddetinin karesi, frekansı ve işlem süresi ile orantılı olduğu açıktır [106].

Penetrasyon derinliği ( $d_p, m$ ), mikrodalga enerjinin ana ısıtma kaynağı olduğu gıda materyalinin etkin ısıtma boyutunu belirlemek için kullanılan önemli bir kavramdır [106]. Penetrasyon derinliği genellikle mikrodalga gücü seviyesinin  $1/e$  ( $e=2.718$ ) değerine ya da aktarılan değerlerin %36,8'ine düştüğü materyalin yüzey altındaki mesafe (m) (materyal içerisindeki derinlik) olarak ifade edilmektedir [107, 113]. Bazen, penetrasyon derinliği, mikrodalga gücünün materyale iletilen gücün %50'sine azaltıldığı mesafe olarak da tanımlanır [113]. Dielektrik özellikler, sıcaklık ve nemin bir fonksiyonu olarak değişmektedir [118]. Diğer taraftan, penetrasyon derinliği hem dielektrik sabiti hem de dielektrik kayıp faktörünün bir fonksiyonu olup eşitlik 7 ile hesaplanmaktadır [106, 116, 119].

$$d_p = \frac{\lambda_0}{2\pi \sqrt{2\varepsilon'} \left[ \sqrt{1 + \left(\frac{\varepsilon''}{\varepsilon'}\right)^2} - 1 \right]} \quad (7)$$

Burada  $\lambda_0$ , boş alanın dalga boyunu (m) (2450 MHz için  $\lambda_0=122.4 \text{ mm}$ ) ifade etmektedir.

Mikrodalga ısıtmanın hız ve hacimsel etkisi, mikrodalgaların materyale nüfuz etmesine bağlıdır ve dielektrik özellikler, penetrasyonun derecesini belirlemek için kullanılır. Mikrodalgalar bir materyal yüzeyinden geçtiğinde, başlangıç güç seviyesine ulaşırlar. Mikrodalgalar materyale nüfuz ettikçe, enerjilerinin bir kısmı materyal tarafından emildiği için güçleri azalır yani penetrasyon gücü mesafe ile azalmaktadır [107]. Penetrasyon derinliği mikrodalga frekansı ile ters oranda değişecektir; Aynı nemde, penetrasyon, 2450 MHz'ye kıyasla 915 MHz'de yaklaşık 2,7 kat daha yüksektir. Daha düşük frekanslarda, daha kalın materyaller daha fazla tekdüzellikle ısıtılabilir [110].



Şekil 2.2. Mikrodalga gücünün azalması ve penetrasyon derinliğinin tanımı [116].

#### 2.4.2.1. Gıda maddelerinin dielektrik özelliklerini etkileyen faktörler

Gıda ürünlerin dielektrik özellikleri, esas olarak kimyasal bileşimlerine göre belirlenmekle birlikte fiziksel yapılarından da etkilenir. Genel olarak, gıda ürünleri, organik madde, tuz ve su bileşenlerinden oluşur. Gıdaların belirli bir frekanstaki dielektrik kaybı, tuz ilavesiyle artar. Tuz karışımları, elektromanyetik alanın varlığında iletken olarak hareket ederler, bu nedenle permitivitede (elektriksel geçirgenlikte) bir azalma, dielektrik kayıp faktöründe bir artış gözlemlenir. Saf suyun dielektrik sabiti, frekansın azalması ile kısmen azalır. Benzer şekilde, nemli gıda materyallerin dielektrik kaybı, artan frekans ile artar [112]. Tuz, şeker ve karboksimetilselüloz (CMC) içeren çözeltiler için sıcaklık ve mikrodalga frekansları ile dielektrik özelliklerin varyasyonu araştırılmıştır. Elde edilen sonuçlara dayanarak, CMC'nin dielektrik özellikler üzerinde önemli bir etkisi olmadığı, fakat viskozite üzerinde bir etkisi olduğu sonucuna varılmıştır. Şeker çözeltileri için, dielektrik sabit, sıcaklık ve şeker konsantrasyonu ile artar. Bununla birlikte, dielektrik kayıp faktörü, şekerin polar olmayan doğasına bağlı olarak şeker konsantrasyonu ile azalır, ancak aynı zamanda dielektrik kayıp faktörünün sıcaklıkla arttığını da bulmuştur [112].

Suyun dielektrik özelliği, serbest veya bağlı halde olmasına bağlı olarak değişir. Elektromanyetik alanın varlığında, serbest formda bulunan sudaki polar molekülleri, bağlı formdaki sudan daha serbest bir şekilde hareket eder [112]. Dolayısıyla su içeriği dielektrik özellikleri etkileyen çok önemli bir faktördür. Örneğin, oda sıcaklığındaki serbest su için dielektrik sabiti 78 gibi yüksek bir değerdeyken, katı materyaller için bu değer yaklaşık 2'dir [109]. Yüksek su içerikli donmuş materyaller için, dielektrik kaybı erime bölgesinde sıcaklık artışıyla artabilir. Fakat Dondurulmuş ve erimekte olan gıda ürünlerini ısıtılırken gıda içerisinde hem soğuk hem de sıcak bölgeler mevcuttur ve dolayısıyla homojen bir sıcaklık dağılımı gözlenmemektedir. Un, ekmek, meyve ve sebze gibi gıdaların dielektrik özellikleri çoğu zaman su içerik miktarları ile ilişkilidir [112].

Sipahioğlu vd. [120], farklı meyve ve sebzelerin dielektrik özelliklerini, 2450 MHz'de 5–130 °C sıcaklık aralığında ölçtüler. Sarımsak dışındaki tüm meyve ve sebzelerin (havuç, brokoli, ıspanak, elma, muz, bezelye, vs.) dielektrik sabitleri, sıcaklık ve kül içeriği ile azalmıştır. Dielektrik kayıp faktörü, artan sıcaklıkla kuadrik olarak değişti: ilk önce azalan ve sonra artan. Kül içeriği dielektrik kayıp faktörünü arttırdı. Sarımsak ve patates sıra dışı sonuçlar verdi, Sarımsak dielektrik sabiti 55 ° C'ye kadar yükseldi ve daha sonra sıcaklık arttıkça azaldı bunlar sırasıyla inulin ve patates nişastası çözeltilerinin davranışları ile açıklanabileceği ifade edilmiştir.

Sun vd., yapmış olduğu araştırmada, gıda ürünlerinin dielektrik sabitinin sıcaklık artışı ile azaldığını, kayıp faktörü ise tuz içeriği yüksek olduğunda sıcaklıkla arttığını, ancak tuz içeriğinin düşük olması halinde sıcaklıkla azaldığını bildirmişlerdir [121]. Bezelye püresinin dielektrik özelliklerinin belirlenmesi için bir çalışmada, 915 MHz'de kayıp faktörünün sıcaklıkla arttığını, 2,450 MHz'de ise 25 ila 75 ° C arasındaki sıcaklıklarda minimum seviyeye ulaşana kadar artan sıcaklık ile azaldığını fark etmiştir [122]. Başka bir araştırmada sıcaklık 20 ila 65 ° C arasında arttığında dielektrik sabitinin arttığını, daha sonra 60 ila 95 ° C arasında neredeyse sabit hale geldiğini, kayıp faktörünün ise 25 ila 95 ° C arasında lineer bir şekilde arttığını ve hiçbir tuz bulunmadığında azaldığını gösterdi [121].

Öte yandan, birçok gıda ürünü birden fazla bileşene sahip. Bir gıdadaki bileşenler arasındaki dielektrik özelliklerdeki farklılıklar, diferansiyel ısıtmaya ve dolayısıyla sıcaklık heterojenliğine neden olacaktır. Bu, pastörizasyon ve sterilizasyon uygulamaları için bir gıda güvenliği sorununa yol açabilir ve soğuk noktaları bulmak ve buralarda yeterli ısınma ve ölümcüllüğün sağlanacağına dikkat etmek gerekir [119]

Gıda materyallerinin dielektrik özellikleri, parçacık büyüklüğü, yapısı ve materyalin yoğunluğu ile de değişebilir. Dielektrik özellikler, tanecikli veya parçacıklı durumda bulunan materyallerin içindeki hava-parçacık karışımının görünür yoğunluğundan da etkilenir [112]. Gözenekliliğin dielektrik özellikler üzerindeki etkisi, havanın düşük dielektrik özelliklerinden kaynaklanmaktadır. Havanın dielektrik sabiti 1 ve kayıp faktörü sıfırdır. Bu nedenle, hava mikrodalgalar için saydam olarak kabul edilir. Yüksek gözenekli malzemelerde daha fazla hava barındıracağı için dielektrik özellikleri daha düşüktür [109].

Genel olarak, ürün sıcaklığı donmuş halden 0 ° C'ye yükseltildiğinde, dielektrik sabit ve kayıp faktörü hızla artmaktadır. Daha sonra, donma noktasının üstünde, dielektrik sabit ve kayıp faktörü, artan sıcaklıkla birlikte düşer. Ancak, tuz konsantrasyonu arttıkça, iyonik etkiler bu düşüşü telafi edebilir ve jambon gibi yüksek tuz konsantrasyonuna sahip bir numune için dielektrik sabiti 0 °C'den 60 °C'ye yükselir. Gıdaların dielektrik sabitleri, nem içeriği azaldıkça azalma eğilimindedir. Şekerin önemli bir mikrodalga emici gıda maddesi olduğu şeker çözeltilerinin dielektrik özellikleri incelenmiştir. Glikoz konsantrasyonundaki artış, elektrik alanlarına cevap vermek için daha az su olduğu için şeker çözeltilerinin dielektrik sabitini

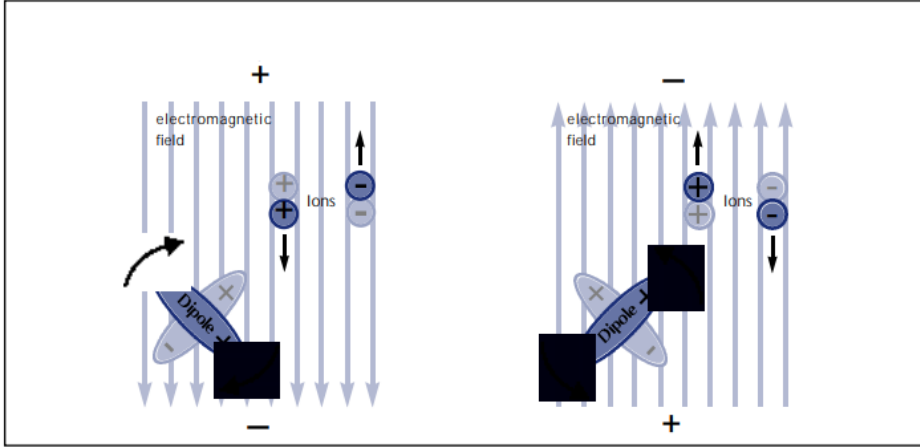
düşürmüştür. Kayıp faktörü-konsantrasyon ilişkisi sıcaklığa bağlıdır. Daha düşük sıcaklıklarda, kayıp faktörü belirli bir konsantrasyona kadar konsantrasyonla artar ve daha sonra azalır. Sıcaklıklar 40 °C'yi aştığında, kayıp faktörü tüm konsantrasyonlar için konsantrasyonla arttı. Bu, şekerin sıcaklığın artmasıyla çözünürlüğündeki artışa bağlı olabilir [110].

## 2.5. Mikrodalga ısıtmanın mekanizması ve temel prensipleri

Mikrodalgalar tek başlarına ısı yaratamamaktadır. Dolayısıyla mikrodalga enerjisi bir ısı şekli değildir. Isı, gıda gibi dielektrik materyal ile etkileşime giren elektromanyetik alanın ikincil etkisidir [123]. Elektromanyetik radyasyonun belirli frekanslarda dielektrik materyallerle etkileşimi sonucu ısı gerçekleşir. Mikrodalga radyasyonu, konveksiyon veya kondüksiyon mekanizmalarının aksine materyale doğrudan nüfuz ederek yüksek enerji verimliliği ve daha düşük ısıtma süreleriyle sonuçlanan hacimsel (volumetrik) ısı oluşumu gerçekleşir. Bu nedenle hacimsel (volumetrik) ısıtma olarak da adlandırılır [107]. Mikrodalgalar, gıda materyali hacmi boyunca mikrodalga, polar su molekülleri ve materyalin yüklü iyonları arasındaki tam etkileşim sonucu ısıyı hızla üretir [120]. Mikrodalga ısıtma doğrudan malzemenin dielektrik kaybı ile ilişkilidir. Bir materyali, yüksek frekanslı bir elektrik alanına yerleştirildiğinde enerjinin büyük bir kısmını absorbe eder ve sıcaklığın artmasına neden olur [106, 124]. Gıda materyali tarafından absorbe edilen, mikrodalga enerjisinin miktarı ve dağılımı, Maxwell denklemleri tarafından yönetilmektedir [106], dipolar moleküller gıda içerisinde gelişigüzel bir şekilde bulunurlar.

Mikrodalga enerjisinin ısıya çevrilmesine birçok mekanizma neden olmasıyla birlikte temel ve en önemli olarak dipol rotasyon ve iyonik kondüksiyon sonucu ısı üretimi meydana gelmektedir. Dipol rotasyon mekanizmasında, dipolar yapısı nedeniyle, çoğu gıda materyallerin ana maddesi olan su, dielektrik ısıtmasına neden olan birincil bileşendir [112, 125]. Ayrıca su gibi birçok molekül elektromanyetik alanda dipolar polarize olabilir. Diğer moleküller, elektrik alanından kaynaklanan stresler nedeniyle “indüklenmiş” dipollere dönüşebilir ve bunlarda dielektrik ısıtmada rol alır [111]. Gelişigüzel bir şekilde gıda materyali içerisinde bulunan dipol moleküller bir elektromanyetik alana maruz kaldığında, küçük mıknatıs gibi davranır ve elektromanyetik alanla hizaya girmeye çalışırlar. Ev tipi bir mikrodalga fırında üretilen elektromanyetik alan, 2450 MHz frekansı (veya saniyede 2450 milyon döngü) ile salınım yapar (elektrik alan yönü değişir); böylece bu iki kutuplu moleküller (veya moleküler mıknatıslar) alanı takip etmek için saniyede iki bin milyondan fazla hızla ileri ve geri (dönme eğilimi ile) hareket etmek zorundadırlar (Şekil 2.3). Bu süreçte moleküller birbirleri ile ve komşu moleküller ile olan etkileşimlerinden (sürtünmelerinden) dolayı elektrik alanda kinetik enerji dönüşümü olur. Kinetik enerjiye dönüşen mikrodalgaların enerjisi, ısı şeklinde serbest bırakılır, üretilen miktar,

gıda tarafından absorbe edilen enerjiyle orantılıdır. Diğer dipol molekülleri ısıtma işleminde yer alır, ancak gıda için en önemli dipol sudur [126].



Şekil 2.3. Salınimli elektromanyetik alan nedeniyle dipol ve iyonların hareketi [126].

İyonik kondüksiyon diğer önemli bir mikrodalga ısıtma mekanizmasıdır. İyonik çözeltiler bir mikrodalga alanına maruz kaldığında, iyonların bir yönde ilk önce akması zorunludur ve daha sonra hızla değişen alanla zıt yönde akar. Örneğin, sodyum klorür çözeltisinde, hepsi elektrik alanı tarafından kendi polaritelerinin tersi yönde hareket ettirilen sodyum, klorür, hidronyum ve hidroksil iyonları vardır. İyonlar ve diğer moleküller arasında meydana gelen çarpışmalar, hareketli iyonların kinetik enerjisinin termal enerjiye dönüşmesine neden olur. Bu olay, frekansa bağlı olarak milyonlarca kez meydana gelir ve çok sayıda çarpışmaya ve sürtünmenin enerji aktarılmasına neden olur. Yüksek bir iyon konsantrasyonuna sahip bir çözelti, daha sık iyonik çarpışmalara sahip olacaktır ve bu nedenle, daha düşük iyon konsantrasyonlarına sahip bir çözeltiden daha yüksek bir sıcaklık artışı meydana gelir [107, 111].

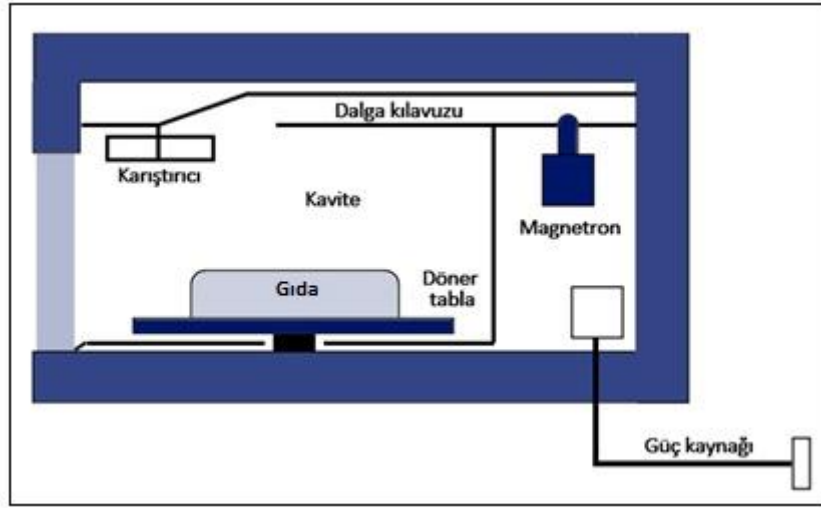
Gıda materyalleri genellikle %50-97 su içerir. Bu nedenle, yiyecek, mikrodalga enerjisi ile ısıtma ve kurutma için çok uygundur [123]. Tarımsal ürünlerde, dipolar polarizasyon, Mikrodalga aralığındaki numuneleri ısıtmak için en temel mekanizmadır [111]. İyonik kondüksiyon ise nispeten düşük mikrodalga frekanslarda ısı üretiminde dipolar rotasyondan çok daha güçlü bir etkiye sahiptir. Bu nedenle, tuzlar gibi iyonları içeren bir ürün, sadece su içerenlere göre mikrodalgalar tarafından daha hızlı ısıtılacaktır [119].

Materyalin içindeki zaman sıcaklık profilleri, elektromanyetik alanda elektrik enerjisinin absorbe edilmesi nedeniyle iç ısı oluşumundan kaynaklanır. Bu da sıcaklık artışına neden olarak çevresindeki diğer bileşenlerin de kondüksiyon ve/veya konveksiyon yolu ile ısınmasını sağlar. Mikrodalga enerjisiyle ısıtılan bir yiyeceğin yüzey sıcaklığı, ortam sıcaklığından ve buharlaşmanın soğuma etkisinden dolayı iç kısımdan daha serindir [110]. Gıda şekli, hacmi, yüzey alanı, bileşimi ve işleme ekipmanı mikrodalga ısıtmasında kritik faktörlerdir. Bu faktörler, emilen enerjinin miktarını ve dağılımını etkileyebilir. Bir ev tipi sisteminde, ısıtma oranı bir gıda

tabakasında kalınlık, kütle, özgül ısı ve dielektrik özellikler değiştikçe değişir; Küreler ve silindirlerde ısıtma, numunenin odak noktasında yoğunlaşmıştır. Isıtma homojenliğini iyileştirmek için mikrodalga fırınlarda bir döner tablaya mevcuttur [107].

## 2.6. Mikrodalga Sistem Elemanları

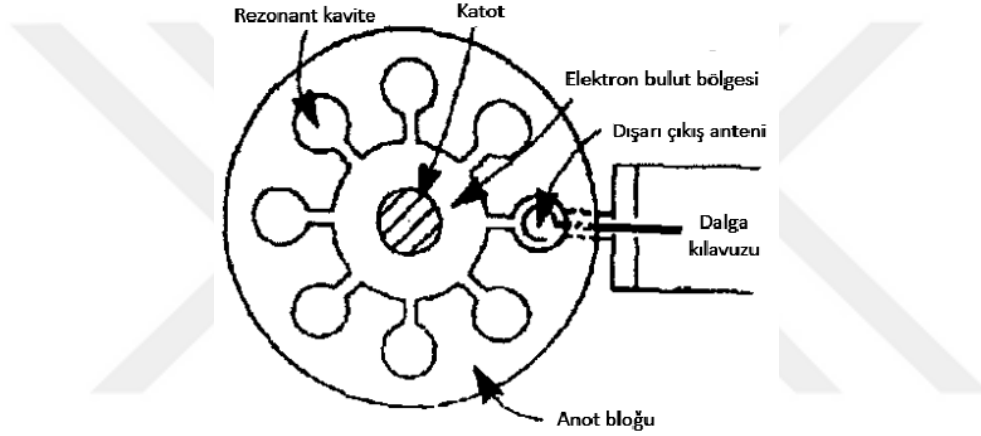
Tipik bir mikrodalga sistemi; mikrodalga güç jeneratörü (genellikle magnetron), dalga kılavuzu ve aplikatör (kavite) olmak üzere üç temel bileşenden oluşur [127, 128]. Sistem ayrıca ek bileşenlere de (örneğin, kontrol sistemi, tuner, sirkülatör vb.) sahip olabilir [124]. Tipik bir mikrodalga fırının şematik görünüşü şekil 2.4'te gösterilmiştir.



Şekil 2.4. Tipik bir mikrodalga fırın ve parçaları [126].

En önemli bileşen olarak, mikrodalga güç jeneratörü, güç kaynağı ünitesine bağlanır ve 50–60 Hz'lik alternatif akımı istenen yüksek frekanslı mikrodalga radyasyonuna dönüştürür. Bu dönüşüm tipik olarak güvenlik için korumalı ve harmonik radyasyonun sızmasını önlemek için bir magnetron ile elde edilir [126]. Magnetron, bir elektrik voltajını mikrodalga radyasyonuna dönüştüren, içinde vakum olan izole bir bakır tüp içeren çift elektrotlu silindirik bir diyottur. Yaygın magnetronlar eksen merkezinde metalik katot ile içi boş silindirik anot içeren dairesel simetrik tüplerden oluşur [127]. Tüp, bir tekerlek üzerindeki tekerlek telleri gibi merkeze doğru işaret eden bakır plakalar içerir. Bu düzeneğe “anot” olarak adlandırılır ve merkezde ise yüksek oranda negatif potansiyele sahip bir merkezi elektron yayan katot yer almaktadır (şekil 2.5) [128]. Magnetron, katottan anoduna doğru elektronların akışını kontrol ederek çalışır [127]. Yüksek voltaja (4000 V, doğru akım) tabi tutulduğunda katot serbest elektronları oluşturur ve anoda doğru çekilirler ve mikrodalgalar üretmek üzere enerjilerini verirler [128]. Üretilen

mikrodalgaları anten aracıyla dalga kılavuzuna yönlendirilir. Anten, ayarlanmış boşluklardan birine uzanan anoduna bağlı bir probdur. Mikrodalga enerjisini magnetrondan bağlı bir dalga kılavuzuna ileten antendir. Bir magnetronun güç çıkışı, tüp akımı (dc katot akımı) veya manyetik alan gücü ile kontrol edilebilir ve maksimum gücü genellikle anottun sıcaklığı ile sınırlıdır, ki bu erimeden korunmak zorundadır [127, 129]. Tipik olarak, magnetronlar yaklaşık %60 ile %65 verimlilikte çalışırlar [127]. Anot ve katodun ısıtılmasında oluşan aşırı enerji, yüzgeç kanatçıklar (2.45 GHz'de, hava soğutmalı anotlar yaklaşık 1,5 kW'a kadar kullanılabilir) veya sirküle eden bir su ceketini (6 kW'a kadar daha yüksek güç yoğunlukları için) ile çıkarılır [127, 129]. 915 MHz büyüklüğündeki mıknatıslar daha büyük boşluklara sahiptir (daha düşük rezonans frekansı daha büyük dalga boyu demektir) ve böylece birim başına daha yüksek güçlere ulaşabilirler [129].



Şekil 2.5. Mikrodalga üreten tipik bir magnetronun kısımları [127].

Elektromanyetik dalgaları, gıdanın ısındığı bölüm olan kaviteye (aplikatör) yönlendirmek için, dalga kılavuzları kullanılır. Prensip olarak, dalga kılavuzları, en pratik kullanımı olan, dikdörtgen ve dairesel sabit kesit alanına sahip içi boş iletken yapılardır. Dalga kılavuzları, mikrodalgalar gibi yüksek frekanslarda düşük kayıpların olması nedeni ile mikrodalga güç uygulamaları için kullanılır. İç ölçüleri ile hesaplanan minimum frekans değeri olan kesim frekansı (cut-off frequency), elektromanyetik dalga denklemlerinin uygun sınır koşullarında çözümü ile elde edilir. Kesim frekansı değerinin altında mikrodalgalar yayılım gösterememektedir. En yaygın dalga kılavuzu eni yüksekliğin iki katına eşit olan ve TE<sub>10</sub> modunda olan dikdörtgen kesitli dalga kılavuzudur [129].

Aplikatör, elektromanyetik enerjiyi dalga kılavuzu yardımı ile işlenecek gıda materyaline aktarıldığı yerdir. İşlenmiş örneğin yerleştirildiği boşluk (bölme) bir aplikatör olarak düşünülebilir [127]. Dalga kılavuzları da kendilerini aplikatör olarak kullanılabilir. Elektrik alanı bir dalga kılavuzunun merkezinde maksimumdur. Kavite aplikatörleri büyük bir uygulayıcı



sınıftır, kullanılan en yaygın türdür. Ev mikrodalga fırınları tipik bir örnektir [109]. Aplikatörün boyutu ve şekli: (1) çalışma frekansı; (2) işlenmiş malzemenin özellikleri, boyutu ve şekli ve (3) işlem tipi (parti ve sürekli ve istenen güç biriktirme kalıbı) bağlıdır. Çok çeşitli aplikatörler mevcuttur: şekiller dikdörtgen veya silindirik olabilir; alüminyum, bakır ve paslanmaz çelik malzemelerden yapılabilir; daha homojen ısıtma elde etmek için mod karıştırıcılar ve rotasyon cihazları kullanılabilir ve tasarımları tek ve çok modlu işlemlere dayanabilir. Elektromanyetik enerjinin iyi tanımlanmış geometrik modele(desene) mod denir. Tek modlu aplikatörde, elektrik alan deseni(modeli) iyi tanımlanmıştır, yüksek yoğunluklu bölgeler küçük bölgelerle sınırlıdır. Sonuç olarak, bu aplikatörler küçük hacimleri ısıtmak için idealdir [127]. Mikrodalgalar tarafından gıda örneğinin homojen ısıtılmasını kolaylaştırmak için, fırının içinde mümkün olduğunca çok sayıda "mod" oluşturmak gerekir [126]. Elektromanyetik alan şiddeti tepe ve çukurdan oluşan karmaşık desen(model) nedeniyle, materyalin bulunma yeri, ısıtma verimliliğini ve tekdüzeliğini etkiler [127]. Besinlerin homojen ısıtılmasını sağlamak için elektrik alanının ısıtma odasının içine eşit olarak dağıtılması önemlidir. Mikrodalga enerjisini dağıtmak için bazı mikrodalga ısıtmada, bir mod karıştırıcı (döner metalik bıçaklar) yardımcı olurken, diğerlerinde, gıda materyali bir döner tabla üzerinde döndürülerek, gıdadaki enerji dağılımını geliştirmek yani mikrodalgaya maruz kalmayan gıda alanları bırakmamak için kullanılır; birçok modelde ikisi de vardır. Modların çokluğu ve bu tür "çok modlu" fırınlardaki etkileşimleri, kaynağın kaynağına aktarılan enerjinin gıda tarafından daha verimli bir şekilde emilmesini sağlar [126, 128].

## 2.7. Kurutma

Kurutma; taze, işlenmiş veya yarı işlenmiş katı, sıvı ve yarı sıvı gıdaların bozulmaya neden olan mikroorganizmaların gelişimini ve/veya kimyasal reaksiyonların yavaşlatılması ve/veya durdurulması için suyun uzaklaştırılması işlemidir [130, 131].

Bir gıda ürünüde nemin uzaklaştırılması en eski koruma yöntemlerinden biridir. Dolayısıyla gıdaların kurutulması uzun süre gıdaları korumak için kullanılan son derece önemli bir gıda proses işlemidir. Kurutma işlemi, gıdaların raf ömrünü arttırmasının yanı sıra, hacminin genellikle küçülmesi ve ağırlığının azalması nedeni ile nakliye masraflarını azaltmakta, paketlemeyi kolaylaştırmakta, gıda tedarikinde daha ekonomik hale getirmekte ve gıdaların katma değerini arttırmaktadır [132]. Bunlara ek olarak, gıda endüstrisinde, kurutma, istenen bir fiziksel formu (örneğin toz, pul, granül) elde etmek, istenen renk, lezzet veya dokuyu elde etmek ve başka türlü mümkün olmayan yeni ürünleri üretmede de kullanılmaktadır [133].

Geankoplis'e göre [134], gıdalarda nem içeriğinin ağırlıkça yaklaşık %10'un altına düştüğünde mikroorganizmaların aktif olmadığını bununla birlikte genellikle, lezzet ve besin değerini korumak için de nem içeriğinin ağırlıkça %5'in altına düşürülmesi gerektiğini

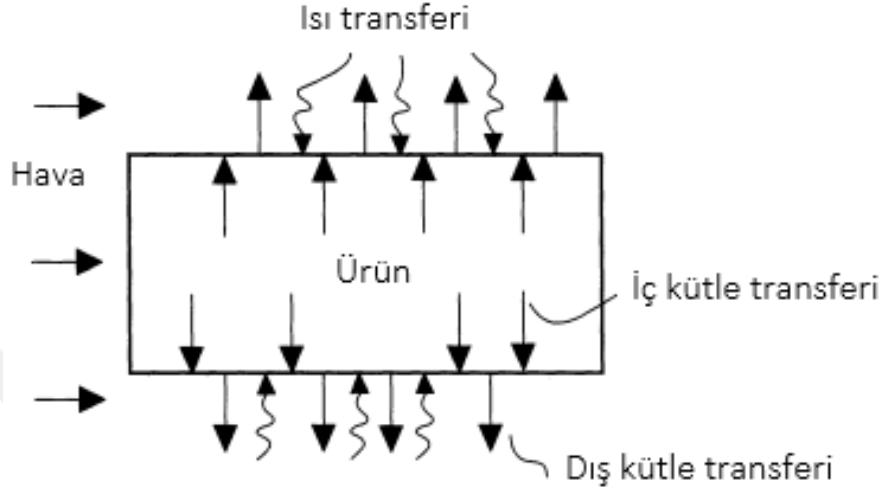
belirtmektedir. Gelişmiş ülkelerde toplam enerji tüketiminin; ABD, Kanada, Fransa ve İngiltere için %10-15'i, Danimarka ve Almanya için %20-25'i endüstriyel kurutma işlemlerine harcadığı rapor edilmektedir [135]. Mujumdar'a göre [135] Endüstriyel kurutucuların %85 'inden fazlası, kurutma ortamı olarak sıcak hava veya doğrudan yanıcı gazlar içeren konvektif tipteki kurutuculardır. Gıda materyalinin içerisinde bulunan nemi buharlaştırmak için ihtiyaç duyulan gizli ısı, belirli bağıl nem ve sıcaklığa sahip hava tarafından sağlanmakta ve buharlaşan nem belirli bir hıza sahip havanın vasıtasıyla gıda materyalinden uzaklaştırılmaktadır. Materyalin nemi ve dolayısıyla su aktivitesi azalmaktadır [136].

Materyalin bünyesindeki suyu uzaklaştırmak için termik kurutmaya tabi tutulduğunda iki eş zamanlı proses meydana gelmektedir. Bunlar; 1-Yüzey nemini uzaklaştırmak için ortamdan gelen enerjinin (Genellikle ısı olarak) aktarılması yani suyu buharlaştırılması için ısı transferi, 2- İç nemin materyal yüzeyine taşınması ve yüzeydeki su buharının materyalden uzaklaştırılması yani kütle transferi gerçekleşmektedir. Bu nedenle kurutma eş zamanlı ısı ve kütle transferine dayanan bir işlemdir. Nemi materyalden uzaklaştırmak için gerekli olan ısı enerjisi konveksiyon, kondüksiyon veya radyasyon yolu ile materyale transferi gerçekleşmektedir. Bazı durumlarda bu etkilerin birleşiminin sonucu olarak ısı transferi gerçekleşmektedir. Endüstriyel Kurutucular, kullanılan ısı transferinin ana yöntemine bağlı olarak tip ve tasarıma göre farklılık göstermektedir. Çoğu durumda ısı nemli materyalin yüzeyine ve daha sonra iç kısımlara iletilir. Bununla birlikte dielektrik ısıtmada (radyo frekans ve mikrodalga kurutma) ısınma materyal içinde olur ve dış yüzeylere doğru iletilmektedir [133].

### **2.7.1. Kurutma mekanizması**

Kurutma üründen nem alma işlemidir. Gıda ürünleri buhar basıncındaki farklılığa bağlı olarak havadaki veya çevresinden gelen nemi alabilen veya verebilen hidroskopik malzeme olduğu için nem daha yüksek bir buhar basıncından daha düşük buhar basıncına doğru taşınır. Kurutma işlemi, genel olarak sıcaklık, nem ve havanın akış hızı gibi üç faktör ile sağlanır. Kurutma havasından gelen ısı, gıda tarafından emilir ve suyun yüzeyden buharlaşması için gerekli gizli ısıyı sağlar [128]. Kurutma havası nemli ürün üzerinden geçtiğinde yüzeyde bulunan su molekülleri hava ile yüzey arasındaki buhar basıncı farkına bağlı olarak kurutma havasının sınır katmanına (kurutmaya karşı dış direnç) doğru yayılır ve hareketli olan hava ile taşınır [132]. Sınır katmanı hem ısı transferine hem de su buharının taşınmasına engel teşkil eder. Sınır katmanını kalınlığı esas olarak hava hızı tarafından belirlenir; hızı düşükse, sınır katmanı daha kalındır ve bu da hem ısı transfer katsayısının hem de su buharının taşınım hızını düşürür. Çünkü gıda yüzeyinden taşınan su buharı çevredeki havanın nemini artırır ve su buharı basınç gradiyentinde azalmaya neden olur ve dolayısıyla kurutma hızını düşürür. Hava ne kadar hızlı olursa daha ince bir sınır katmanı

meydana gelir ve kurutma hızı daha hızlı olur [128]. Kurutmanın ilk aşamalarında harici bir kurutma gerçekleşirken yüzey kuruduktan sonra dahili kurutma işlemine geçmektedir. Dahili kurutmada nemli ürün içerisinde bulunan su molekülleri kurutma havası ile temas halindeki gıda materyalinin yüzeyine (kurutma için iç direnç) doğru yol alır (Şekil 2.6) [132]. Havanın buhar basıncı ile gıda yüzeyindeki suyun buhar basıncı aynı değere ulaştığında kurutma durur [132].



Şekil 2.6. Kurutmada kütle transferi [132]

Kurumakta olan ürünün nem konsantrasyonu iç katmandan yüzeye doğru azalırken, sıcaklık değeri bunun tam tersine yüzeyden iç katmanlara doğru azalır. Yani ürünün içindeki nemin hareketi sırasında bu iki gradientin etkisi birbirine zıttır. Dolayısıyla konsantrasyon farkına bağlı olarak nem hareketi iç kısımdan yüzeye doğru hareket eder. Ayrıca ürünün katmanları arasındaki sıcaklık farklarına bağlı olan nem hareketinin yönü, sıcaklık değerleri dış katmanlarda (yüzeyde) daha yüksek olduğundan, dıştan iç kısımlara doğrudur. Nem ve sıcaklık gradientlerine bağlı olarak oluşan nem hareketleri birbirine zıt yönde olmasından dolayı, ürünün kuruması sırasında bu etkenlerden hangisi daha baskın olursa, nem o etkenin belirlediği tarafa doğru hareket eder. Genelde tarım ürünlerinin sıcak hava ile kurutulmaları sırasında, taşınan nem, nem konsantrasyon farklılaşması tarafından daha çok etkilendiği görülmüştür. Bu nedenle, nem, iç kısımdan yüzeye doğru taşınır. Diğer etken olan sıcaklık konsantrasyon farkından doğan ters etki kuruma hızını düşük oranda azalttığı için ihmal edilir [137].

Materyallerin kurutma davranışı, nem içeriği kaybının bir fonksiyonu olarak ölçülmesi ile karakterize edilebilir [135]. Şekil 2.7’te, sabit kurutma koşullarında hidroskopik bir gıda ürününün kurutulması sırasında tipik bir nem kaybı ve kuruma hız eğrisi niteliksel olarak gösterilmektedir [134]. Kurutma eğrisinin şekli birçok gıda ürünü için benzerdir. Kısa bir ilk dengeleme süresinden sonra (termal denge için), nem içeriği zamanla hızla ve neredeyse doğrusal olarak azalmaktadır. Ürünün nem içeriği azaldıkça kurutma yavaş gerçekleşmektedir.

Kurutma sırasında gıda ürünündeki yapısal değişikliklerden dolayı birden fazla azalan hız evresi olabilir [132].

Kurutma işlemi sabit hız evresi ve azalan hız evresi olmak üzere iki evreden oluşmaktadır. Aslında kurutmanın başlangıcında ısınma evresi de vardır, fakat ısınma evresinin süresi tüm kuruma süresine kıyaslanınca, çok kısa olduğu görülür. Bu nedenle, genellikle çok dikkate alınmaz ve kuruma eğrilerinde gösterilmez [137]. Şekil 2.7 'da gösterilen A' ve A noktaları sırası ile sıcak ve soğuk ürünü göstermektedir. Fakat başlangıçta ürünün sıcaklığı genellikle nihai sıcaklığından daha soğuk olduğu için başlangıç noktası A olarak alınmıştır [134]. Isınma evresinde ürünün yüzey sıcaklığı hızla yükselir ve ortam havası ile denge sıcaklığına ulaşır. Denge sıcaklığına ulaşıncaya kadar kuruma hızı giderek artar ve bu evrenin sonunda en yüksek değerine ulaşır [137]. Sıfır zamanında nemli ürünün başlangıç serbest nem içeriği A olan ürün bu evrenin sonunda, B noktasında, yüzey sıcaklığı denge değerine yükselir yani termometre sıcaklığına kadar ısınır [134].

**Sabit hız evresi:** Sabit hız kurutma evresi, Şekil 2.7b'de BC çizgisi olarak gösterilmiştir. Sabit hız kurutma evresinde, ürünün yüzeyi başlangıçta çok ıslaktır ve kurutma yüzeyi üzerinde sürekli bir nem tabakası (serbest nem) bulunmaktadır. Bu nem ürüne mevcut değil gibi davranır ve buharlaşma buradan gerçekleşir [134]. Su moleküllerinin ürünün iç kısmından taşınarak yüzeye ulaşma hızı, yüzeyden kurutma havasına taşınma hızına eşit veya daha yüksektir. Bu yüzden, ürünün iç kısmından su taşınımı sabit yüzey nemini muhafaza etmek için yeterince hızlı olduğundan, yüzeydeki su içeriği sabit olarak kabul edilir [132].

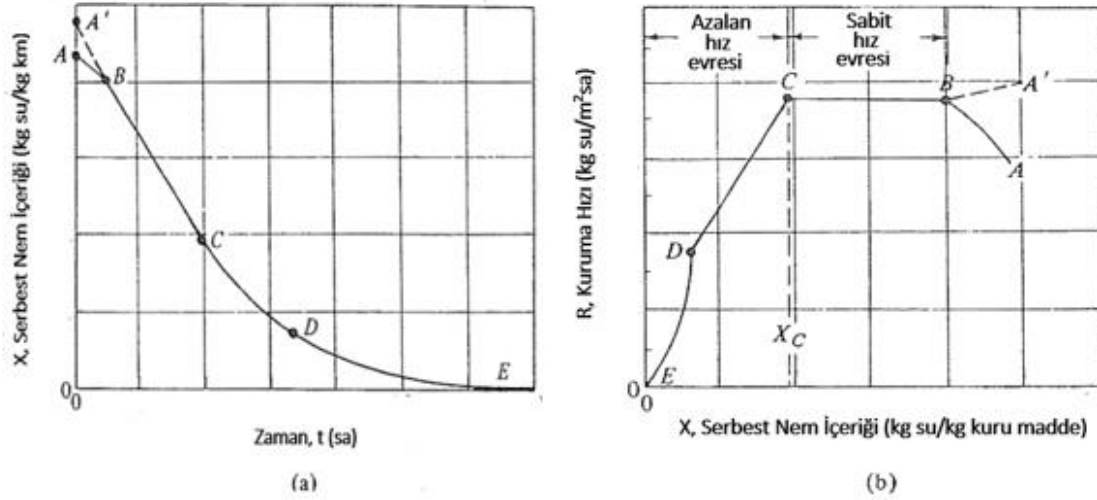
Sabit hız kurutma aşamasında, hız kontrol adımı, su buharının serbest nem-kurutma havası ara yüzeyi boyunca difüzyonu ve difüzyon için yüzeye taşınması hızıdır [135]. Sabit hızda kurutma için itici güç, ürün yüzeyindeki suyun buhar basıncı ile kurutma havasının buhar basıncı arasındaki farktır [132]. Ürün içerisindeki nem, yüzeyde buharlaştığı kadar hızlı bir şekilde yüzeye ulaştığı sürece sabit hız kurutma evresi devam eder. Ürünün iç kısımdan yüzeye nem taşınımı, yüzeydeki buharlaşmadan daha yavaş olduğu noktada bu evre sona erer. Bu noktada ürünün ortalama nem içeriği kritik nem içeriğine ( $X_c$ ) ulaşmıştır (Şekil 2.7b) [134].

Sabit hız evresinde kurutma hızını etkileyen diğer faktörler hava hızı, sıcaklık, bağıl nem, başlangıçtaki nem içeriği ve kurutma havasına maruz kalan yiyeceklerin yüzey alanıdır. Sabit hız evresi süresi (boyunca) ürüne aktarılan ısının tamamı, buharlaşan neme geçer. Böylece, ısı transfer mekanizmalarına bağlı olarak sıcaklık sabit bir değerde kalır [132]. Ürünün yüzey sıcaklığı, buharlaşan suyunun soğutma etkisi nedeni ile sabit hız evresinin sonuna kadar yaş termometre sıcaklığına yakın kalır [128].

**Azalan hız evresi:** Ürünün nem içeriği kritik nem içeriğinin ( $X_c$ ) altına düştüğünde kuruma hızı, denge nem içeriğinde sifıra ulaşınca kadar (ürün kurutma havası ile dengeye girer) yavaşça azalır ve bu evre azalan hız evresi olarak adlandırılır [128]. Azalan hız evresinde

yüzeyden kurutma havasına olan nem taşınım hızı, nemin yüzeyde yeniden doldurduğu hızdan daha hızlı olduğundan ürünün kuruma hızı azalmaya başlar [132]. Yani kurumakta olan ürünün yüzeyinden birim zamanda buharlaşarak ayrılan suya eşit miktarda su, iç bölgelerden yüzeye ulaşamaz [137]. Ayrıca yüzeyde yeterli su olmadığında yüzeydeki su aktivitesi değeri birin altına düşmeye başlar [138]. Artık ısı aktarımı, yüzeyde ısı transferi ve ürün içinde ısı kondüksiyonu (iletimi) ile oluşur [133]. Bu evrede, ürün sıcaklığı havanın ıslak termometre sıcaklık derecesinin üzerine yükselir [139]. Azalan hız evresi süresince, kuruma hızı kontrol eden faktörler değişir. Başlangıçta önemli kontrol faktörleri sabit hız evresine benzer olsa da daha sonra değişir. Kuruma hızı, nemin iç kısımlardan yüzeye difüzyonu ve daha sonra yüzeyden havaya kütle aktarımı ile kontrol edilir Yani nem hareketinin hızı (kütle transferi) baskın olarak kontrol edici faktör haline gelir [133, 138]. Buharlaşma yüzeyden uzaklaşır. Nemin uzaklaştırması gereken ısı ürün içinden buharlaşma ara fazına iletilir ve buhar ürün içinden hava akımına geçer [134]. Ayrıca bu evrede kuruyan ürünün dış yüzeyinde, ısıya az veya çok yalıtkan özellik gösteren bir tabaka oluşur. Bu tabakanın, ısının iç kısımlara gereğince iletilmesini engellediği göz ardı edilmemelidir [139]. Bu evre süresince kurutma koşullarına bağlı olarak gıda içinde bir nem profili oluşmaktadır [132]. Nem seviyesinin ortalama derinliği kademeli olarak arttığından ve kuruyan dış bölgelerin ısı iletkenliği çok küçük olduğu için kurutma hızı ısı kondüksiyonundan giderek daha fazla etkilenir. Kurutma ile nem konsantrasyonu düştükçe, nemin ürün içerisindeki hareket hızı azalır. Kurutma hızı öncekine göre çok daha hızlı azalır ve nem içeriği kurutma hava nemi için denge değerine ( $X^*$ ) düşene kadar devam eder ve daha sonra durur [135].

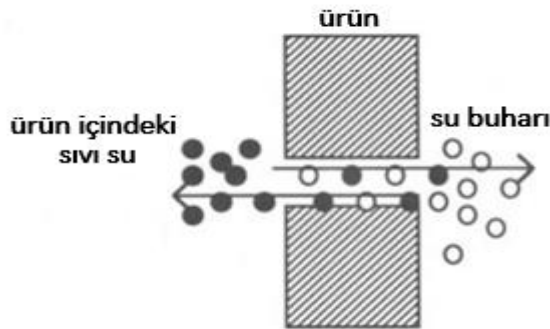
Hidrooskopik ürünlerde çoğunlukla iki azalan hız evresi vardır. Birinci azalan hız evresi, kuruma hızının C noktasından D noktasına ulaşmaya kadar azaldığı, genellikle lineer olan, eğridir (Şekil 2.7). Birinci azalan hız evresi, yüzeyden kurutma havasına nem taşınım hızı, nemin yüzeyde yeniden doldurduğu hızdan daha hızlı olduğundan yüzey kurumasının başladığı evredir. Bu evrede yüzey sıcaklığı yavaşça artar, çünkü evaporatif soğutma hala gerçekleşir. İkinci azalan hız evresi, yüzey kuruduktan sonra başlar. Isı artık ürün iç kısmadaki neme aktarılır. Yavaş yavaş buharlaşan nem, ürün içinden havaya doğru taşınır. Bu evrede buharlaştırılacak suyun buharlaşma ısı saf suyun buharlaşma ısısından fazladır Burada çok az evaporatif (buharlaştırmalı soğutma) soğutma gerçekleştiği için yüzey sıcaklığı hızla artar ve sonunda yüzey sıcaklığı kurutma havası sıcaklığına yaklaşır [131, 132, 134, 138].



**Şekil 2.7.** Tipik kurutulan bir gıdanın nem içeriği-zaman (a) ve kuruma hızı- nem içeriği (b) grafikleri [134].

Azalan hız evresinde ürün içindeki suyun hareketi farklı mekanizmalarla açıklanabilir. Nem, ürün içinde çeşitli şekillerde taşınabilir ve kurutma koşullarına bağlı olarak bu taşınma mekanizmalardan biri ve birkaçı etki edebilir. Örneğin, azalan hız evresinin ilk aşamasında, sıvı difüzyonu, iç kütle transferinin kontrol mekanizması olabilirken, kurutma işleminin ikinci aşamasında, buhar difüzyonu ve termal akış kombinasyonu kurutmayı kontrol edebilir [132].

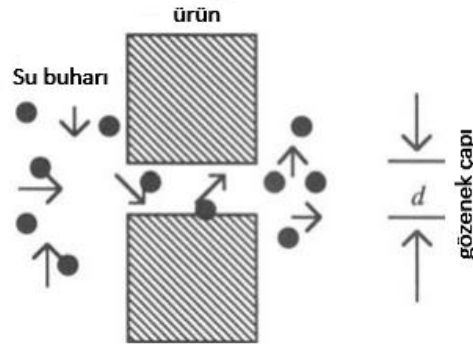
1-Sıvı difüzyonu: Sıvı difüzyonu, nem konsantrasyon farkından dolayı su hareketidir. Yüzeydeki nem içeriği, ürünün iç bölgelerindeki nem içeriğinin altına düştüğünde, nemin yüzeye difüzyon ile taşıyacak konsantrasyon farkından doğan itici güç sayesinde yüzeye sıvı difüzyonu gerçekleşir. Difüzyonun meydana gelme hızı, gıda ürününün yapısına, sıcaklığa ve yüzey ile yığın arasındaki itici güç konsantrasyon farkına bağlıdır. Sıvı su yüzeye ulaşır ve bu noktada Şekil 2.8'de gösterildiği gibi buharlaşır [128, 132].



**Şekil 2.8.** Su buharı taşınım sıvı difüzyon mekanizması [140]

2-Buhar difüzyonu: Ürünün yüzeyinin alt tabakasında (iç kısımlarda) buharlaşma meydana gelir. Hava boşluklarında bulunan buhar formundaki su molekülleri, oluşan buhar basıncındaki farklılıklardan (buhar basınç gradyanlarının neden olduğu) dolayı ürünün içinden kurutma

havasına difüzyonu gerçekleşir [128, 132, 135]. Ürün içindeki su buharı hareketi Şekil 2.9'de gösterildiği gibi Knudsen difüzyon mekanizması açısından açıklanabilir. Gözeneklerin büyüklüğü ve miktarı ve katı matrisin geometrisi, buhar difüzyonunu etkiler [131].



**Şekil 2.9.** Su buharı taşınımının buhar difüzyon mekanizması [140]

3.kapiller akış: Yüzey gerilim kuvvetlerini etkisi ile sıvı ve katı arasındaki moleküler çekim sonucu kapiller akış oluşur [141]. Yüzey gerilimi kuvvetleri ürünün yapısı içindeki nem hareketliliğini, özellikle gözenekli bir yapıya sahip olanları etkiler [128, 132]. Gözenekli ürün matrisinin yapısı ve yönelimine bağlı olarak, kapiller akış, diğer mekanizmalarla nem göçünü artırabilir ya da engelleyebilir [132]. Gözenekli bir ürün, birbirine bağlı gözenekleri ve değişen gözenek boyutlarındaki kanalları içerir. Su buharlaştıkça, ürünün derinliklerinde gözenekler sıvı su menisküslerini oluşturur. Bu, su ve ürün arasındaki ara yüzey gerilimiyle kapiller kuvvetleri oluşturur. Bu kapiller kuvvetler, gözenekler boyunca suyun yüzeyine taşınması için itici güç sağlar. Küçük gözenekler büyük gözenekler tarafından geliştirilenlerden daha büyük kuvvetler geliştirir [134]. Kapiler akış, kurutmanın temel mekanizmalarından biri olarak kabul edilmiştir [131, 141].

4.Basınç akışı: İç buharlaşma hızı, üründen çevreye buhar taşıma hızını geçtiğinde hidrostatik basınç farklılıkları oluşur. Bu basınç farkı, ürünün iç kısımdan kurutma havasına doğru nem göçüne neden olur [132, 135].

5.Termal akış: Ürün yüzeyi ile iç kısımları arasındaki sıcaklık farkları, özellikle kurutma işleminin azalan hız evresinde önemli, ürün yüzeyine doğru nem geçişine neden olur [132].

## 2.7.2. Sıcak Hava ile Kurutma

Sıcak hava ile (konvektive kurutma) ve güneşte kurutma teknikleri, meyve ve sebzelerin kurutulmasında yaygın olarak kullanılan geleneksel yöntemlerdir. Güneş enerjisi ile kurutma,

çoğu tropikal ülkelerde ürünleri kurutmak için yaygın kullanılan yöntemlerdir [142, 143]. Fakat bu teknik hava şartlarına bağlı olması, gerekli kurutma süresinin uzun olması ve istenilen nem seviyesine kurutulmaması gibi problemlere sahiptir [142-44]. Her ne kadar güneş enerjisi ile kurutma ekonomik avantajlar sağlasa da ürün kalite parametreleri ve gıda güvenliği ile ilgili konuların izlenebilmesi ve kontrol edilebilmesi zordur [145]. Bu nedenle, ürünlerin daha kısa sürede kurutulmasını sağlayarak, hijyen ve homojen kuru ürün elde etmek için farklı tekniklerin gelişmesini teşvik etmiştir [142, 143].

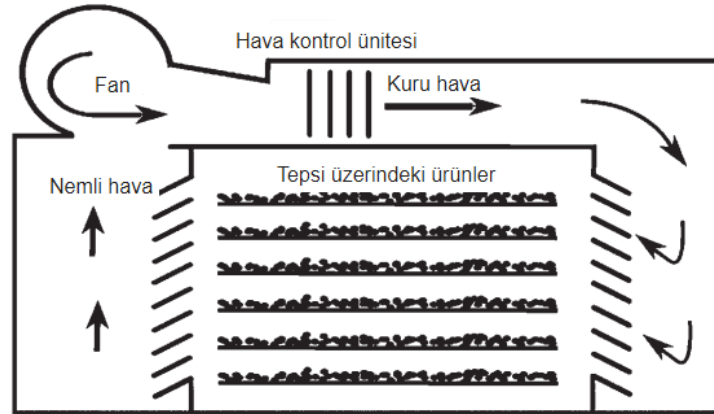
Günümüzde, güneşte kurutmaya benzese de daha hijyen ve kontrollü bir kurutma yöntemi olan sıcak hava ile kurutma, uzun kurutma süreleri ve yüksek hava sıcaklıkları gerektirmesine rağmen, gıda endüstrisinde en ekonomik ve yaygın olarak kullanılan yöntemdir [146, 147]. Sıcak hava ile kurutma sistemlerinde ısı, kurutucu ortamdan gıdaya konveksiyon yolu ile aktarılır. Kurutma işlemi, ürünün üzerinde sıcak havanın geçtiği kapalı ortamda gerçekleşir. Üründen nem buharlaşması için ısı sağlamak üzere sıcak olan (belirli hız ve bağıl nemde) hava akımından enerji sağlanır ve aynı zamanda buharlaştırılmış nem, hava akımı ile üründen uzaklaştırılır [148]. Dışardan alınan taze hava, kurutucunun ısıtma ünitesinde ısıtılır ve ısınan hava, kurumanın gerçekleştiği üniteye nemli ürün ile karşılaştırılır. Bu karşılaşma sırasında nemli olan ürünün suyu sıcak havaya buhar olarak taşınacaktır ve nemlenen hava soğuyacaktır. Kullanılan havanın bir kısmı atılır, geriye kalan havaya; atılan miktar kadar taze hava ile karıştırılıp, yeniden ısıtılır ve kullanılır. Bu işlem aralıksız olarak bu şekilde devam eder [140].

Gıda sanayi sektörlerinde birçok kurutucu tipi kullanılmıştır. Meyve ve sebzelerin kurutma işlemlerinde yaygın olarak kullanılan kurutucular; Kabin (tepsi) kurutucular, tünel kurutucuları ve konveyör (bant) kurutuculardır. Bu kurutucular arasında en yaygın olarak kullanılan, basit ve ekonomik tasarımı sayesinde tepsi kurutucudur [144].

Genel olarak tepsili kurutucular, bir fan, bir hava ısıtıcısı, ürünün konulacağı tepsiler ve bu tepsilerin bulunduğu bir üniteneden oluşan yalıtımlı bir kabinden (odadan) meydana gelir. Kabin içinde bulunan tepsiler sabit veya hareketli olabilir. Ürünler, tepsilerin üzerinde kabul edilebilir bir kalınlıkta yayılır. Isıtılmış hava, fan yardımı ile tepsilerin bulunduğu yere aktarılır. Ürünün ısınması, tepsiler boyunca sıcak hava akımı, ısınmış tepsilerden iletimle veya ısınmış yüzeylerden radyasyonla gerçekleşebilir. Buharlaşan nem hava akımı ile uzaklaştırılarak ürün kurutulur. Ayrıca bir tartım sistemi, numune tepsilerine doğrudan monte edilir. Kurutma sırasında buharlaşan nemden dolayı oluşan ağırlıktaki değişimleri bir veri edinme programı yardımı ile bilgisayara kaydedilir [144, 145, 149]. Şekil 2.10 'da tipik bir tepsi kurutucu gösterilmiştir [150]. Küçük kabin kurutucular laboratuvarlarda kullanılırken, daha büyük üniteler ağırlıklı olarak dilimlenmiş veya doğranmış meyve ve sebzeleri kurutmak için endüstriyel kurutucular olarak kullanılır [149].



Yaygın olarak kullanılan diğer bir kurutucu tünel kurutuculardır. Tepsi kurutucuların gelişmesi olarak kabul edilir [144]. Tepsiler bir arabaya bağlanır ve sıcak havanın, ürüne paralel, ters yönde veya çapraz yönde aktığı bir tünel boyunca hareket ederler. İlk tepsili araba istenen nem içeriğine ulaştığında kurutucudan çıkarılır ve trenin sonuna yeni bir araba yüklenir. Bu sistemin avantajı otomatik ve sürekli işlem olmasıdır. Endüstriyel uygulama için çok uygundur. Bu yöntem ile genellikle kayısı, şeftali, armut, elma, incir vb. kurutmalar için kullanılır [144, 151].



Şekil 2.10. Tipik bir tepsi kurutucu [150]

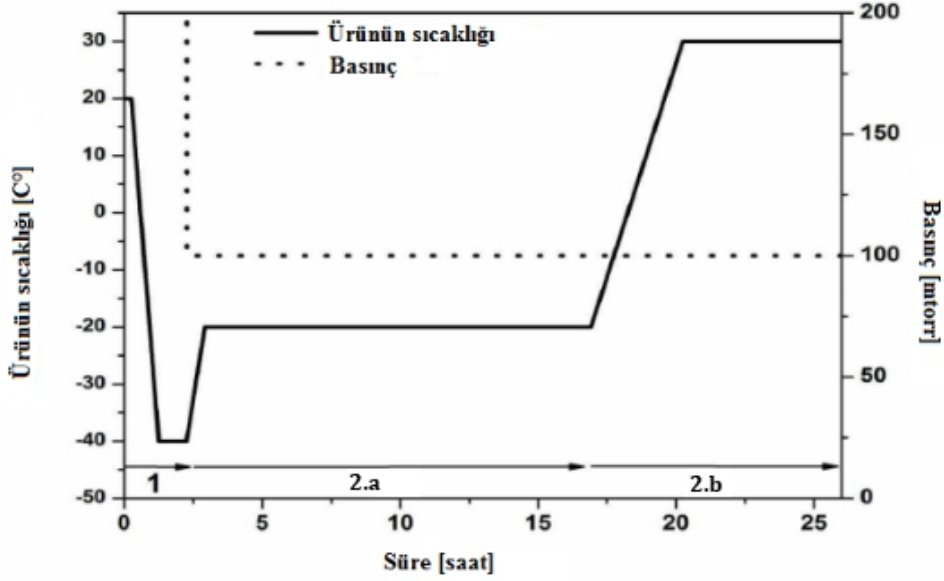
En fazla enerji tüketen kurutma işlemlerinden biridir. Ana dezavantajı, taze gıda maddelerine kıyasla sıcak hava ile işlenmiş gıdaların kalitesinin düşük olmasıdır [152]. Sıcak hava ile kurutma yönteminde; kurutma süresinin uzun ve yüksek sıcaklıklarda olması üründe kimyasal ve enzimatik reaksiyonlar gerçekleşmesi için yeterli zaman sağlar [153]. Yüksek sıcaklıkta ve uzun süre kurutulan ürünün su kaybetmesinin ardından; renk kaybı, gözeneklilikteki azalma (büzülme) ve çökme olarak adlandırılan hacimsel değişimler, yapışkanlıkta artış gibi ürünün fiziksel yapısı üzerinde olumsuz etkiler meydana gelir. Bu olay, malzemenin katı matrisi artık kendi kütlelerini destekleyemediğinde gerçekleşir [146, 152]. Ayrıca, renk, lezzet (tat ve aroma) ve doku ile ilgili kalite kayıplarına neden olmakla birlikte, rehidrasyon yetenekleri genellikle zayıftır. Sert bir dış kabuk oluşumu ve çatlaklar oluşması sıcak hava ile kurutma yönteminde ana sorunlardır [123, 146, 154, 155].

Jankovié vd. [156] ve Maskan vd. [157] yapmış olduğu çalışmalara göre, çilek ve kivi için %80'e varan sıcak hava ile kurutma sırasında şiddetli büzülme rapor etmiştir. Çeşitli tarım materyalleri için sıcak hava ile kurutma sırasında %20 ile %60 arasında değişen önemli bir C vitamini kaybının olduğu bulunmuştur [158, 159]. Sıcak hava ile kurutma sırasında fenolik içerikte ve antosiyanin konsantrasyonunda (%20'den%80'e) bir düşüş olduğunu bildirilmiştir [160, 161]. Ayrıca, hava ile kurutulmuş karnabahar ve patateslerde farklı işlem sıcaklıklarında zayıf rehidrasyon yeteneği rapor edilmiştir [154].

### 2.7.3. Dondurarak kurutma

Dondurarak kurutma veya liyofilizasyon, materyallerde bulunan donmuş suyu süblimasyon ve desorpsiyon ile uzaklaştırıldığı bir dehidrasyon veya kurutma yöntemidir [162]. Süblimasyon, buhar basıncı ve buz yüzeyi sıcaklığının, saf suyun basınç-sıcaklık faz diyagramında gösterilen (4.48 mmHg, 0 °C) değerleri altında olduğu zaman meydana gelir [163]. Bu yöntem 19'uncu yüzyılın sonlarına doğru bilinmesine rağmen 2.Dünya savaşının sonlarına kadar endüstriyel bir sürece dönüşmemiştir [164]. İlk olarak 1940'larda kuru plazma ile kan ve kan ürünlerinin üretimi için geliştirilmiş ve daha sonra antibiyotik ve biyolojik maddeler endüstriyel ölçekte liyofilizasyon ile hazırlanmıştır [165]. Gıda endüstrisinde, 1950'lerin sonlarına doğru kullanılmaya başlanmıştır. Diğer yöntemler ile kurutulan gıdalar ile karşılaştırıldığında dondurarak kurutulan ürünlerin üstün kalitesi bu yöntemle olan ilgiyi arttırmıştır [164]. Bu nedenle, kurutma yöntemleri arasında yüksek kaliteli kuru ürün elde etmek için referans yöntem olarak kabul edilmiştir [166]. Tipik bir dondurarak kurutucu; kurutma bölgesi, yoğunlaştırıcı (kondansör), vakum pompası ve ısı kaynağından oluşur. Isıtma kaynağı süblimasyon gizli ısıyı sağlar ve sıcaklığı -30 ile 150 °C arasında değişebilir [163].

Dondurarak kurutma işlemi genel olarak 2 temel aşamadan oluşur: (1) materyalin dondurulması ve (2) materyalin düşük basınç altında süblimasyon ile kurutulması aşamalarından oluşmaktadır [165]. Kurutma işlemi ise birincil ve ikincil kurutma olmak üzere iki aşamadan oluşur. Dondurma aşamasının amacı, materyalin hareketli olan suyunu dondurmaktır. Bunun için materyalin donacağı en düşük noktayı üreten sıcaklık ve bileşim kombinasyonu olan ötektik noktasının altındaki bir sıcaklığa soğutulmalıdır. Birincil kurutmada, dondurulmuş materyalin sıcaklığı, ötektik sıcaklığın altında tutmak şartı ile dondurulmuş suyu süblimasyon yolu ile uzaklaştırmak için belirli vakum koşulları altında ısıtılır [162]. Süblimasyon için gerekli ısıyı çoğunlukla kondüksiyon ve radyasyon yolu ile aktarılır. Süblimasyon sonucu yayılan su buharı bir vakum pompası yardımı ile genellikle düşük sıcaklıkta (tipik olarak -35 ile -50 °C) tutulan kondenserlerin yüzeyine taşınarak buz kristalleri olarak yoğunlaştırılır ve daha sonra bu buz kristaller eritilerek uzaklaştırılır [164, 167, 168]. Birincil kurutma sonunda materyal içindeki toplam suyun %90 yani serbest suyun tamamı olmakla beraber bağlı suyun bir kısmı süblimasyon ile uzaklaştırılır ve yaklaşık olarak %15 nem içeriğine düşer [162, 169]. İkincil kurutma, bağlanmış suyu (donmamış su) desorpsiyon yolu ile kuru tabakalardan uzaklaştırılır. Son materyalde yaklaşık %1-3 arasında nem kalır [163, 164, 169]. Düşük basınç korunurken, kurutucudaki sıcaklığı ortam sıcaklığına yükseltmesi ile desorpsiyon sağlanır [169].



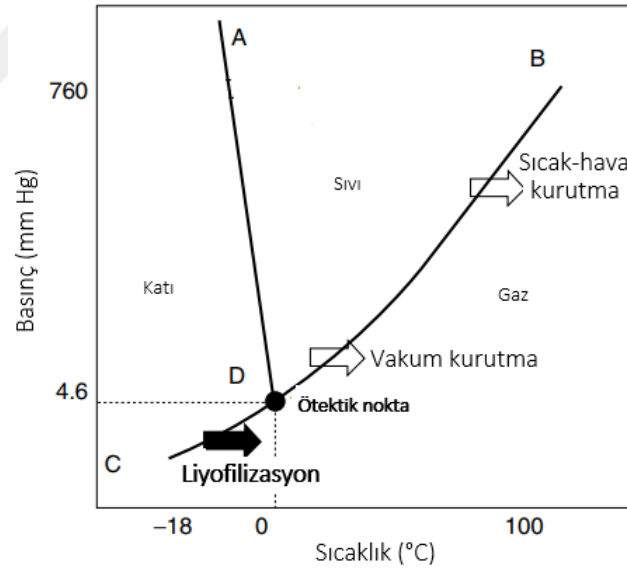
Şekil 2.11. Dondurarak kurutma evrelerinin şematik gösterimi. 1) Dondurma, 2.a) Birincil kurutma ve 2.b) İkincil kurutma [170].

Dondurarak kurutma tekniği, geleneksel kurutma teknikleri ile karşılaştırıldığında, birçok avantajı bulunmaktadır [166]. Dondurarak kurutma düşük sıcaklıkta gerçekleştirilir ve ısıya duyarlı besin maddelerine verilen termal hasar en aza indirilmiş olur. Ayrıca kurutma işlemi, materyalin katı halinde ve vakum altında gerçekleştiği için büzülme ve diğer yapısal değişiklikler büyük ölçüde önlenir [164]. Bu teknik ile kurutulan ürünlerin dokusu iyi korunur. Açık gözenekli yapısı nedeni ile hızlı rehidrasyon ve yüksek dehidrasyon kapasitesine [169] ve düşük yoğunluğa sahiptir. Dondurarak kurutulmuş materyallerin rehidrasyon oranı, sıcak hava ile kurutulanlardan 4-6 kat daha yüksek olduğundan, hazır çorba ve yemek gibi dondurularak kurutulmuş gıdaları kaliteli yapar [171]. Ancak bu yöntem sonucu kurutulan materyaller kırılgandır ve mekanik hasarlara karşı korunması gerekir. Renk, görünüş, şekil, tat ve lezzet gibi başlangıçtaki hammadde özelliklerini büyük oranda muhafaza ederler [163, 164, 166, 169]. Uçucu aroma bileşikleri, besin matrisinde sıkışıp kaldıkları için süblimasyon sonucu oluşan su buharına geçmezler, böylece %80-100 oranlarında aromanın tutulması mümkün olduğu belirtilmiştir. Kurutulmuş materyallerin proteinler, nişastalar ve karbonhidratlarında sadece küçük değişiklikler meydana gelir. Bununla birlikte, materyalin açık gözenekli yapıya sahip olması, oksijenin girmesine ve lipitlerin oksidatif bozulmasına neden olabilir. Bu nedenle bozulabilecek gıdaları, inert bir gazda paketlenmesi gerekebilir. Dondurarak kurutma sırasında askorbik asit ve tiamin içeriklerindeki azalma makul ölçüde ve diğer vitaminlerde meydana gelen kayıpların da ihmal edilebilir düzeyde olduğu bildirilmiştir [169].

Materyali dondurmak, donmuş olan materyalin süblimasyonunu gerçekleştirmek, su buharını yoğunlaştırmak ve sistemdeki vakum basıncını korumak için enerji gerekir. Suyu tek bir

basamakta uzaklaştıran hava ile kurutma yöntemleri ile karşılaştırıldığında, uzun çalışma süreleri gerektirmesi ve çok miktarda enerji tüketmesi bunu pahalı bir yöntem yapar [163]. Hem sermaye (vakum teknolojisi) hem de işletme masrafları çok maliyetlidir. Endüstriyel ölçekte, Flink, dondurarak kurutma tekniğinin işletme maliyeti, sprey-kurutma tekniğinkinden 4-5 kat daha yüksek olduğunu, tek-aşamalı buharlaştırıcı tekniğinden 8-10 kat daha yüksek olduğunu [166, 172] ve hava ile kurutma tekniğinden 4-8 kat yüksek olduğunu bildirmiştir [171, 172].

Dondurarak kurutma işleminin pahalı olması, ilaç, biyoteknolojik ve gıda endüstrileri tarafından üretilen yüksek katma değerli ve ısıl işlemlere duyarlı ürünleri kurutulmada kullanmaya yöneltmiştir [163]. Daha çok tüketicilerin üstün kalite için daha yüksek fiyatlar ödemeye istekli olduğu, hassas aromaları veya yapıları olan pahalı gıdaları (örneğin kahve, mantar, bitki ve baharatlar, meyve suları, et, deniz ürünleri, sebze ve askeri rasyonlar veya seferler için tam yemekler) kurutmak için kullanılır. Ek olarak, gıda işlemede kullanılan mikrobiyal kültürler, inokulum oluşumundan önce uzun süreli depolama için de dondurularak kurutulur [169]. Dolayısıyla ancak pahalı, yüksek katma değerli ve termal işlemlere duyarlı materyallerde kullanılması ekonomik hale getirebilir [162, 166].



Şekil 2.12. Saf suyun sıcaklık-basınç faz diyagramı [173].

#### 2.7.4. Vakumlu kurutma yöntemi

Vakumlu kurutmanın temel amacı, ortam koşullarındaki kaynama noktasından daha düşük sıcaklıkta nemin uzaklaştırılmasını sağlamaktır (Şekil 2.12). Su 100 ° C'de 1 barda kaynar, ancak basınç 40 mbar'a düşürülürse, kaynama sıcaklığı 28,96 ° C olacaktır [115]. Azaltılmış basınçlar, suyun daha düşük sıcaklıklarda buharlaşmasına neden olur, bu da yalnızca az miktarda

kimyasal, duyuşsal ve beslenme değişikliklerine neden olur [173]. Ayrıca, ürünün kurutma ortamı ile doğrudan temas halinde olduğu doğrudan kurutucularla karşılaştırıldığında, vakum kurutucunun daha düşük bir maksimum kurutma sıcaklığı vardır. Vakumla kurutmanın önemli bir özelliği kurutma sırasında havanın olmaması (düşük oksijen seviyesi) oksidasyon reaksiyonların ortaya çıkmasını önler, bu da hava veya yüksek sıcaklığa maruz kalmanın bir sonucu olarak bozulabilecek ve/veya kimyasal olarak değişebilecek malzemenin kurutulması için bu işlemleri cazip hale getirir [115, 174, 175]. Oríkasa vd. [173], kivi meyvesinin vakum-kurutmanın askorbik asit ve renk değişimi açısından Sıcak hava kurutmaya göre üstün olduğunu bulmuştur. Fakat vakumla kurutma işleminin kurutma süreleri (48 saate kadar), tüm kurutma işlemlerinin en uzunları arasındadır. Bunu sınırlayan ana etken enerji iletimidir Sıcak hava mevcut olmadığından, kontak plakaları, radyasyon ısısı veya mikrodalgalar yaygın olarak kullanılmaktadır. Mikrodalgalar, ısıtma sisteminin hacimsel karakteri nedeniyle, bu sistemde enerjiyi iletmenin etkili bir yoludur. Bu, özellikle azalan hızda kurutma periyodunda yardımcı olur ve tüm kurutma işlemlerinin en kısa işlem sürelerinden birine neden olur.

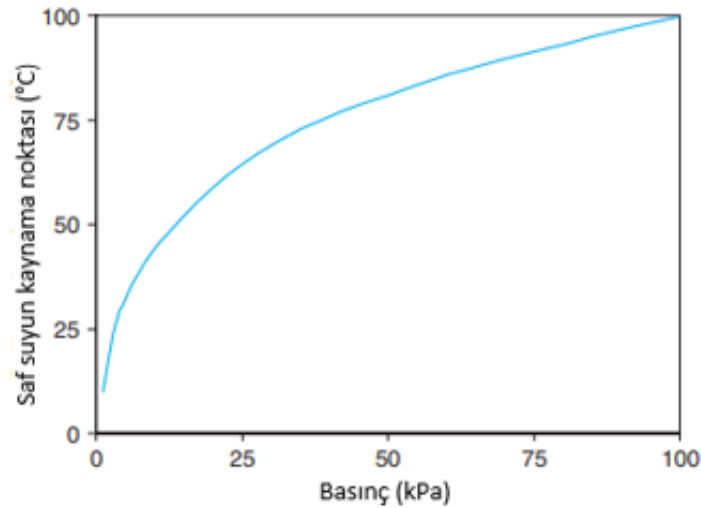
#### **2.7.5. Mikrodalga-vakum kurutma**

Mikrodalgalar materyallere doğrudan nüfuz edebilir, absorbe edilen mikrodalga enerjisi daha sonra ısıya dönüşür, bu da tüm ürünün hızlı ve hacimsel bir şekilde içten dışa doğru ısınmasına neden olur. Isı taşınım hızı, konveksiyonun çok düşük olduğu geleneksel ısıtma yöntemine kıyasla mikrodalga enerjisi kullanıldığında önemli ölçüde artmaktadır. Bunun sonucunda hızlı sıcaklık artışına ve dolayısıyla suyun hızla buharlaşıp hızla kaçan buharın dışa doğru akmasına neden olur. Bu da kurutma hızını arttırılmasına neden olur. [115, 176, 177]. Bununla birlikte, geleneksel kurutma yöntemlerinde, yüzeyden materyalin iç kısmına ısı transferi, kalınlık boyunca sıcaklık gradyanı nedeniyle uzun bir süreye mal olmaktadır. Ürünün dış tabakası önce kurur ve zamanla sert bir tabaka haline gelerek kurutma işlemini engelleyen zayıf bir ısı iletkenine neden olur. Isı ve kütle aktarım yönleri zıttır [176]. Bu da sertleşen dış tabakadan dolayı suyun materyalden uzaklaşmasını geciktirir ve kurumanın uzun süreler almasına neden olur. Mikrodalga, materyaller için daha kısa bir kurutma süresi, kurutulmuş örnekler için daha hızlı rehidrasyon oranı ve daha az su bulunan yerlerde veya ısıtmanın gerekli olmadığı yerlerde (seçici ısıtma) minimum ısıtma dahil olmak üzere, geleneksel kurutma yöntemine (sıcak hava ile) göre birçok farklı özelliklere sahiptir [177].

Hızlı ve düşük sıcaklık dehidrasyonu ve yüksek kaliteli ürünler için bir vakum ortamı ile birlikte mikrodalga enerjisinin potansiyeli uzun zamandır araştırılmaktadır Mikrodalgada vakumla kurutma, suyun üçlü noktasının üstünden ve atmosfer basıncından (0.61-101.33 kPa) daha düşük olan mutlak basınçta (oda basıncı) mikrodalga enerjisi ile ısı üreterek gerçekleştirilen

bir kurutma işlemidir. Mikrodalgaların ısıya dönüşme verimliliğini tanımlayan mikrodalga gücü ve dielektrik özellikleri, öncelikle mikrodalga işlemlerinin kuruma hızını belirler. Böylece optimum koşullarda mikrodalga kuruma işlemi çok hızlı gerçekleşebilir. Ne yazık ki, ortam basıncında mikrodalga enerjisinin emilmesiyle kurutma çoğu gıda ürünü için çok yüksek bir sıcaklıkta gerçekleşir çünkü yiyecekler hızla suyun kaynama noktasına kadar ısıtılır [110].

Diğer taraftan, parçacıkların aşırı ısınmasına ve biyoaktif bileşiklerin istenmeyen bozulmasına neden olabilir [175]. Mikrodalgaların-vakum altında kullanılması, mikrodalga ısıtma sırasındaki basıncın azaltılması suyun kaynama noktasını azaltır. Böylece kurutma sıcaklığı düşerek ürün sıcaklığının nispeten düşük kalmasını sağlayarak ısıya duyarlı ürünlerin kalitesine bağlı kimyasal reaksiyonlar engellenerek veya önlenerek bozulmasının önüne geçilebilir [110, 115, 175, 177]. Basıncın suyun kaynama noktası üzerindeki etkisi Şekil 2.13'de gösterilmiştir. Şekil 2.13 saf suyun kaynama noktasını temsil ederken, gıdalardaki sulu çözeltiler daha yüksek kaynama noktalarına sahip olacaktır [110].

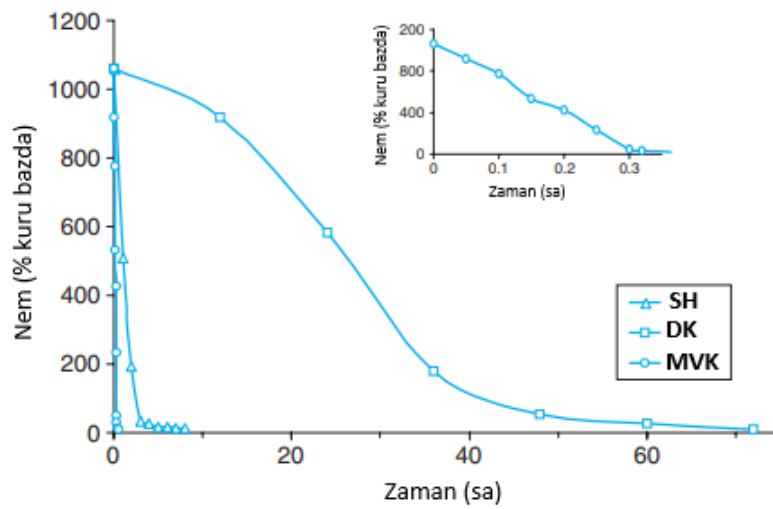


Şekil 2.13. Basıncın suyun kaynama noktası üzerindeki etkisi [110].

Kısaca elektromanyetik mikrodalga enerjisi, ısı enerjisine dönüştürüldüğü gıdaların içine girer ve hızlı bir ısıtma mekanizması sağlar. Vakum ise ürünün sıcaklığını düşük tutan suyun kaynama noktasını düşürür, ayrıca materyalin kurutma hızını arttıran bir basınç gradyanı oluşturur [110, 175, 176]. Bununla birlikte, vakum durumunda ortamda havanın olmaması (oksijen seviyesinin düşük olması) ve düşük basınçta hızlı bir kuruma gerçekleştiği için oksidasyona duyarlı gıda bileşenlerinde oksidasyon reaksiyonlarının ortaya çıkmasını önleyebilir [110, 174, 175]. Bu nedenle, kurutma işlemi daha düşük sıcaklıklarda daha kısa sürede gerçekleştirdiği için Mikrodalgaların hızlı ısıtılmasını ve vakumun düşük sıcaklıkta işlenmesini birleştirmek fikri birçok araştırmacı tarafından araştırılmıştır [115, 176].

Mikrodalga-vakum kurutmanın hız oranı, kurutma işlemi karakterize eden üç farklı

kurutma hız bölgesinin her birindeki etkilere bağlanabilir. Birinci; İlk olarak mikrodalga enerjisine maruz kaldığında, ürünün sıcaklığı suyun kaynama noktasına ulaştığı kısa bir artış hız bölgesi vardır. Bu sıcaklık, sistemin basıncına bağlı olacaktır. Sıcak hava kurutma ile karşılaştırıldığında, bu artan hız bölgesinde mikrodalgaların verimli enerji transferi nedeniyle mikrodalga-vakum kurutma ile daha hızlı gerçekleşir. İkincisi; serbest su sabit bir hızda sürüldüğü sabit hız bölgesidir. Ürünün sıcaklığı bu bölgede nispeten sabittir, suyun buharlaşmasının gizli ısı, kaynama noktasında sıcaklığı korur. Bu sabit hız bölgesinde, hava kuruma ile meydana gelenden daha düşük nem seviyelerine kadar ulaşabilir ve bu da kurutma süresini azaltır. Şekil 2.14'te, havayla kurutulmuş havuçların kurutma hızı, işlem ilerledikçe azalırken, mikrodalga vakum eğrisinin eğimi çok az değiştiği görülmüştür.



**Şekil 2.14.** SH, MV ve DK yöntemleri ile kurutulmuş havuç dilimlerinin kurutma eğrileri (Küçük grafik: MVK yöntemi ile kurutulmuş havuç dilimleri genişletilmiş kurutma eğrisidir) [110].

Üçüncüsü, daha sıkı bir şekilde bağlanmış olan suyun çıkarılmasıyla nem kaybının hızının düştüğü azalan hız bölgesidir. Bu azalan hız bölgesi, geleneksel sıcak hava ile kurutma işlemlerinin en çok zaman alan bölgesi olabilmektedir. Sıcak hava ile kurutma işleminde, zamanın üçte ikisinin nem oranının son üçte birini çıkarılmasına ayrılacağı tahmin edilmektedir. Mikrodalga vakumla kurutma, bu düşme hızında iki nedenden ötürü önemli bir avantaj sağlayabileceği düşünülmektedir: (1) sabit hız bölgesinde daha fazla nem kaybolduğundan bu bölge azalabilir ve (2) mikrodalgada vakumla kurutma işleminde meydana gelen suyun yerinde buharlaştırılması, hava ile kurutma sırasında ortaya çıkan sıvı suyun difüzyonundan çok daha hızlı olasıdır [110].

Son yıllarda Mikrodalga-vakum Kombine, meyveler, sebzeler ve tahıllar da dahil olmak üzere yüksek kaliteli kuru gıda ürünleri elde etmek için potansiyel bir yöntem olarak incelenmiştir [177]. Sonuçlar, mikrodalga- vakum kurutma işleminin, kurutulmuş ürünlerin

kalitesini iyileştirmek için alternatif bir yol olduğunu göstermektedir Portakal tozu, kızılıık, patates, muz ve havuç gibi çeşitli ürünler için başarıyla kullanılmıştır [115]. nceki saplamalar, mikrodalga vakum yönteminin sadece kurutma süresini kısaltmakla kalmayıp, enerji tkretiminde azalmaya yol açtığını, aynı zamanda ürün kalitesini de (yani, renk, büzülme ve besin içeriği) geliştirdiğini bildirmişlerdir [177]. Mikrodalga vakum kurutma, fenolik bileşiklerin, antosiyaninlerin ve antioksidan kapasitenin muhafaza edilmesi açısından sıcak hava konvektif kurutmadan nispeten daha iyi olduğu bulunmuştur. Bu yöntem, kızılıığın ve yaban mersininin kurutma işleminde başarıyla kullanılmıştır [175].

### **2.7.5.1 Mikrodalga-vakum kurutmanının avantajı ve dezavantajı**

Konveksiyon veya iletim mekanizmalarının aksine, mikrodalga radyasyonu materyalin içinde hacimsel ısı oluşumuna neden olmaktadır. Mikrodalgalar, hızlı enerji transferine izin verir ve materyale doğrudan nüfuz ederek, tüm ürünü hızlı ve homojen bir şekilde ısıtır. Materyal içinde ısı üretildiği için geleneksel ısıtmadan daha verimlidir. Bu teknoloji, kısa ısıl işlem süresi, yüksek enerji verimliliği ve iyileştirilmiş gıda kalitesi gibi geleneksel ısıtmaya göre önemli avantajlara sahip olduğu için gıda endüstrisinde birçok uygulamada kullanılmaya başlamıştır. Yüksek sıcaklığa maruz kalma daha kısa olması, besin maddelerin ısıl bozulması önemli derecede azalır ve gıda kalitesi faktörlerinin korunması artar. Böylece vitaminler ve proteinler gibi ısıya duyarlı bileşenlerin daha az bozulmasına neden olduğu belirtilmektedir. Bunun yanı sıra lezzet, duyuusal özellikler ve gıdaların rengi korunduğu dile getirilmişidir. Hacimsel ısıtma ve buharlaşma aynı zamanda suda çözünebilir bileşenlerin yzeyeye gn azaltır ve rehidrasyonu kolaylaştırır ve i gözenekliliği artırabilir. [107, 175, 178].

Mikrodalga ile ısıtma, geleneksel ısıtmadan daha verimlidir, çünkü yiyecekler içinde ısı üretilir. Yüksek güçlü magnetronların verimine bağlı olarak (900 MHz'de %85, 2.450 MHz'de %80), mikrodalga sisteminin genel verimliliği çok yüksek olduğundan enerji tasarrufu sağlar [107]. Gıdaların mikrodalga ile kurutulması, konvektif (sıcak hava) kurutmayla karşılatırıldığında, kurutma süresinde %25-90'lara varan azalma ve 4-8 kat kuruma hızında bir artış olduğu bildirilmiştir [119]. Sıcak hava ile kurutmada, hem bir faz değişimi yoluyla suyun giderilmesi için gereken enerjiden hem de kurutma işleminin düşme hızı periyodu sırasında düşük ısı aktarım verimliliğinden yüksek enerji sarfiyatı gerçekleşir. Azalan hız periyodunda, kurutulan ürün yüzeyi, yüksek ısı ve kütle aktarım direncine sahip bir tabakaya neden olduğundan ve sıcaklık gradyanı, nem gradyanının ters yönünde olduğundan kurutma zor gerçekleşir. Buna ek olarak, azalan hızı periyodunda, nem içeriği düşüktür, bu nedenle su molekülleri daha yüksek bir buharlaşma entalpisine sahiptir ve bu moleküllerin buharlaştırma yoluyla uzaklaştırılması daha yüksek enerji gerektirir. Geleneksel sıcak hava ile kurutma



yöntemleriyle kuruturken, bu düşük ısı ve kütle aktarım verimliliği, faz değişimi (suyun) için yüksek enerji ihtiyacı ile birleştiğinde, uzun süreli kuruma süresi ve dolayısıyla nihai ürünlere ciddi bir kalite düşüşüne neden olacağı bildirilmiştir [119]. Geleneksel (sıcak hava ile) kurutmada ürünün dış yüzeyi önce kurur ve dış tabakada kurutma işlemini engelleyen zayıf bir ısı iletkeni oluşmaktadır. Dış yüzeyden materyalin iç kısmına ısı transferi, bölüm boyunca sıcaklık gradyanı nedeniyle zamana mal olmaktadır. Ayrıca kuruyan yüzey, yüksek ısı ve kütle aktarım direncine sahip bir tabakaya neden olduğundan kuruma zor gerçekleşir. Mikrodalga kurutma altında, iç ısı oluşumu nedeni ile iç sıcaklıkta ve buhar basıncında bir artışa yol açar, bu her ikisi de yüzeye doğru sıvı akışına teşvik eder, böylece kurutma hızını arttırır. Uygulanan enerjinin daha fazlası, hedef materyal içinde ısıya dönüştürülür, çünkü enerjinin havaya, fırın duvarlarına, konveyöre ve diğer parçalara aktarılması, düşük dielektrik sabitlerine göre minimumdur. Bu, önemli ölçüde enerji tasarrufu sağlayabilir. Geleneksel kurutmada başlangıçta yüzey kurummasının aksine mikrodalga kurutmada yüzeye nem difüzyonu ile nem birikmesi nedeniyle kılıf sertleşmesi önlenemez [115].

Genel olarak mikrodalga kurutmanın avantajlarına bakacak olursak: (1) hızlı ısıtmadan dolayı kuruma işleminin hızı arttırılır; (2) materyal boyunca homojen ısıtma oluşabilir. Her zaman doğru olmasa da, çoğu zaman hacimsel ısıtma etkisi, geleneksel ısıtma sistemlerinde meydana gelen büyük sıcaklık radyanlarından kaçınarak, homojen ısıtma gerçekleşmektedir; (3) enerji dönüşümü verimliliği yüksek (ısı transferi yerine enerji transferi gerçekleşir); (4) daha hassas ve daha hızlı proses kontrolü; (5) ekipmanın alan gereksinimleri genellikle daha az olduğu için alan tasarrufu sağlar; (6) seçici ısıtma meydana gelir (nemli parçalar kuru olanlardan da fazla ısınabileceğinden); (7) enerji emilimi, kalan nem içeriği ile orantılıdır ve kendi başına kolayca kontrol edilebilir (8) ürün kalitesi geliştirilebilir (besin değeri, renk ve orijinal lezzet büyük ölçüde korunabilir); (9) istenen kimyasal ve fiziksel etkiler üretilebilir [175, 179].

Ortam basıncında mikrodalga enerjisi ile yapılan kurutma, çoğu gıda ürünü için çok yüksek bir sıcaklıkta gerçekleşir çünkü yiyecekler hızla suyun kaynama noktasına kadar ısıtılır. Mikrodalga teknolojisini vakumla birleştirerek mikrodalga ısıtmanın hızından faydalanarak, daha düşük sıcaklıklarda kurutma işlemi yapılabilir. Vakum ekstra, kurutmak ürünün içi ile dışı arasındaki basınç gradyanını arttırır [110]. Böylece mikrodalga destekli vakumlu kurutma, yalnızca mikrodalga ısıtmanın avantajlarını (hızlı ısıtma, hacimsel ısıtma, yüksek verim, iyi kontrol edilebilirlik vb.) değil, aynı zamanda suyun kaynama noktasını düşüren bir avantaja sahip bir teknoloji olur. Vakum ortamı ile enerji verimliliğini arttırır ve nihai ürünlerin yüzeyinde yanmış nokta oluşumunu azaltır. Ayrıca, bu yeni işleme teknolojisi, genleşme oranını artırabilir ve son ürünün dokusunu geliştirebilir [179]. Vakumlu mikrodalga kurutma işleminde, ısı ve kütle aktarımı aynı yönde olduğundan nem aktarma koşullarını sadece mikrodalga kullanımına göre daha da geliştirilebilir. Vakumlu mikrodalga teknolojisi nem gradyanlarını artırabilir ve kuruma

hızını arttırabilir. Vakum altında kurutmanın diğer önemli bir özelliği kurutma sırasında vakum hücresinde havanın bulunmaması veya çok az miktarda bulunması oksidasyon reaksiyonlarını azaltır. Bu nedenle vakumlu mikrodalgada kurutma işlemi daha düşük sıcaklıklarda daha kısa sürede ve havanın olmadığı ortamda gerçekleştirebileceğinden ısıya duyarlı ve okside olabilen materyallerin işlenmesi için uygun bir işleme yöntemi olabilir [115, 175].

Mikrodalda ısıtmanın avantajlarının yanında birtakım dezavantajları da mevcuttur. MW ısıtmanın önemli bir sorunu, büyük ölçüde dielektrik kayıp faktörleri ile sonuçlanan yüksek sıcaklıklara sahip yerlerde büyük MW güç emilimi veya ısı üretimi nedeniyle termal kaçaktır. Mikrodalga ısıtma sırasındaki ısıl kaçaklara bağlı üniform olmayan ısıtma, ürün kalitesindeki bozulmanın arkasındaki temel faktörlerden biridir. Bununla birlikte, mikrodalga gibi dielektrik ısıtmanın, ürün durumlarına (boyut, şekil, konum ve dielektrik özellikler) ve ekipmanlarına (kavite boyutu, elektromanyetik alan, güç ve elektrot konfigürasyonu) bağlı olarak çeşitli bölgelerde sıcak noktaların mevcudiyetinden sakınılması zor olabilir. Bu faktörler, üniform olmayan bir elektrik alanı dağılımına yol açarak, üniform olmayan sıcaklık dağılımına neden olabilir [111].

Gıda ürünlerinin köşeleri veya kenarları boyunca aşırı sıcaklığın olması, özellikle kurutma işleminin son aşamalarında kavurucu etkenlerin ve istenmeyen lezzetlerin üretilmesiyle sonuçlanabilir. Bu, mikrodalga fırında son ürün sıcaklığının kontrol edilmesindeki güçlükten kaynaklanırken, sıcak hava kurutmasında ürün sıcaklığı asla sıcak hava sıcaklığını geçmez [112]. Bununla birlikte, Vakumlu mikrodalga uygulamasının sektör seviyesinde ilerlemesi, yüksek başlangıç sermayesi yatırımı ve konvansiyonel kurutma yöntemleri ile karşılaştırıldığında büyük işletme maliyeti nedeniyle nispeten yavaş olmuştur. Yüksek nemli meyveler ve sebzelerin işlenmesi durumunda daha büyük vakumlu mikrodalga ekipman büyüklüğü gereklidir, çünkü ekipman ölçeği kurutma yükleriyle orantılıdır (su içeriği kaldırılacaktır) [175].

### **3. MATERYAL ve YÖNTEM**

#### **3.1. Materyal**

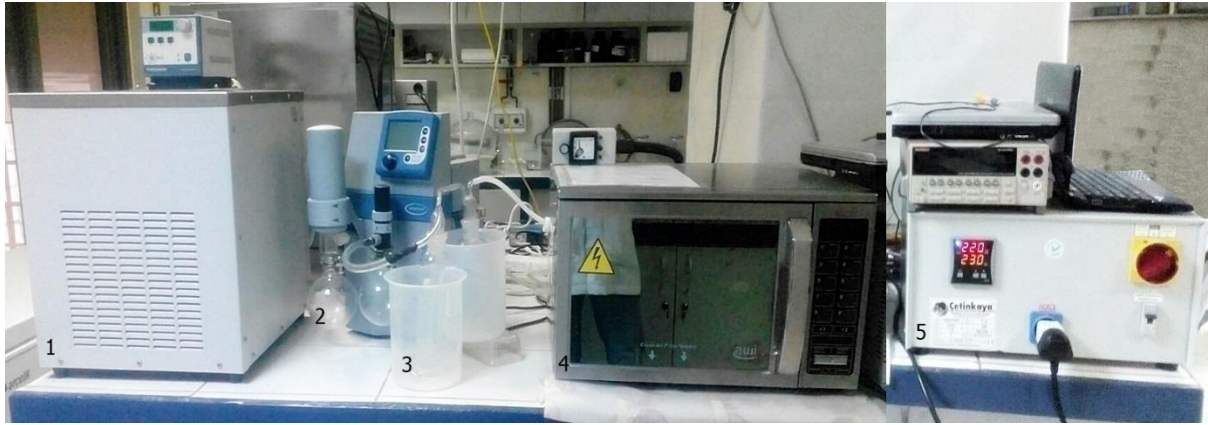
##### **3.1.1. Hammadde**

Araştırma materyalini oluşturan hasat olgunluğundaki kuşburnu (*Rosa canina* L.) meyvesi, doğal olarak yetiştiği Mersin ilinin Mezitli ilçesine bağlı Fındıkpınarı kasabasında toplanmıştır. Aynı gün içerisinde toplanan kuşburnu meyvesi çöp ve sap kısımları ayıklandıktan sonra geniş bir zeminde karıştırılmış ve deneylerde kullanmak üzere kilitli buzdolabı poşeti içerisinde kurutma işlemine kadar -24 °C' de muhafaza edilmiştir. Bu ön işlemin yapılmasının nedeni, kuşburnu tanelerinden deneyler boyunca homojen bir örnekleme yapılmasını sağlamak ve örneklerin soğukta depolamayla (+4°C) uğrayabileceği zararları ortadan kaldırmaktır. Her deney öncesinde derin dondurucudan çıkarılan kuşburnu örnekleri oda sıcaklığında çözdürülmüştür. Çözdürülen örnekler 2 tekrarlı (ikişer tekerrür halinde) kurutma işlemine tabi tutularak yaş baza göre nem içeriği %10'nun altına düşürülmüştür.

Sigma Aldrich firmasından Folin-ciocalteu's phenol-reagent 2N, TPTZ (2.4.6-Tri(2-pyridyl)-s-triazine), etanol, trolox (6-hidroksil-, 5, 7, 8, tetrametilokroman-2-karboksilik asit), glasiyal asetik asit, Sodyum asetat trihidrat, hidroklorik asit %37, DPPH (2,2-difenil-1 pikrihidrazil) serbest radikal, İsoLAB chemicals firmasından metanol, Merck firmasından ferrik klorür, asetat buffer, Ksilen, sodyum karbonat, metafosforik asit, Carlo Erba firmasından gallik asit, 2,6-diklorofenolindofenol, Demir (III) klorür Heksahidrat, temin edilmiştir ve uygun koşullarda çalışmalar süresince saklanmıştır.

##### **3.1.2. Mikrodalga-vakum Fırın**

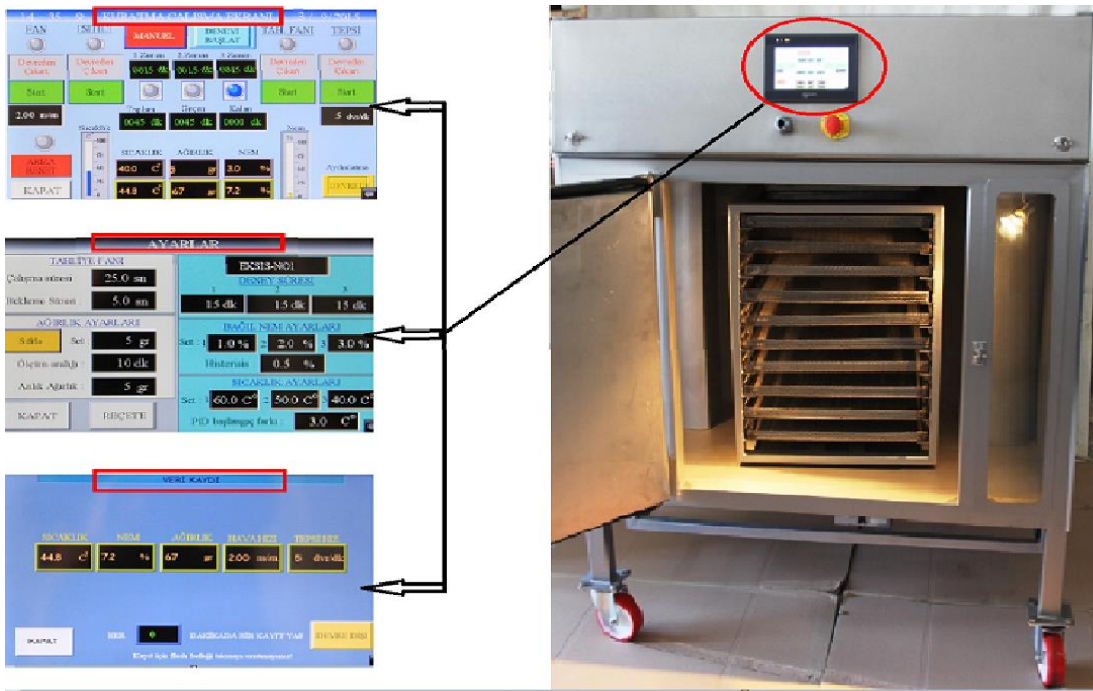
Kurutma deneylerinde, gücü ayarlanabilen (maksimum güç 1.8 kW) 2450 Mhz'deki ev tipi mikrodalga fırın (AWI, İngiltere) ve vakum oluşturmak için buna kombine edilmiş, farklı basınçlara ayarlanabilen, vakum pompası (Vacuumbrand PC 510 NT, Almanya) ile tasarlanan mikrodalga-vakum fırın kullanılmıştır. Vakum ortamı sağlamak için mikrodalga fırının kavitesine yerleştirilen ve vakum pompasına bağlanabilen özel üretilmiş cam desikatör (Labor İldam, Ankara) bulunmaktadır. Mikrodalgaların örneğe daha homojen nüfus etmesi için desikatör içerisine döner tabla (Nordic Ware, A.B.D) yerleştirilmiştir. Ayrıca mikrodalga-vakum fırınında çıkan nemli sıcak havanın yoğuşmasını sağlamak için +2 °C soğutulmuş sirkülatörlü su banyosu (PolyScience) kullanılmıştır. Deneyde kullanılan mikrodalga-vakum kurutma sisteminin şekil 3.1'de verilmiştir.



Şekil 3.1. Mikrodalga-vakum kurutma sistemi

### 3.1.3. Laboratuvar Tipi Döner Tepsili Kurutucu

Kurutma deneylerinde laboratuvar tipi döner tepsili kurutucu (Eksis, Isparta/Türkiye) kullanılmıştır. Kurutucu genel olarak elektrik ısıtma sistemi (5 kW), dönebilen kurutma arabası (raflar) içinde 10 adet teflon kaplamalı delikli alüminyum tepsi, devir kontrollü sirkülasyon fan sistemi, hız kontrollü raf döndürme sistemi ve PLC kumanda panosundan oluşmaktadır. PLC panosunda ise ana menüde bulunan şekil 3.2'de görülmek üzere çalışma sayfası, ayarlar ve veri kaydı giriş menüleri bulunmaktadır. Burada istenilen hava hızı, hava sıcaklığı, tepsi devir sayısı, ağırlık değişimine göre istenilen süre aralığında veri kaydetme ve nem (havanın nem içeriği) ayarlanmaktadır.



Şekil 3.2. Laboratuvar tipi döner tepsili kurutucu ve çalıştırma ekranı

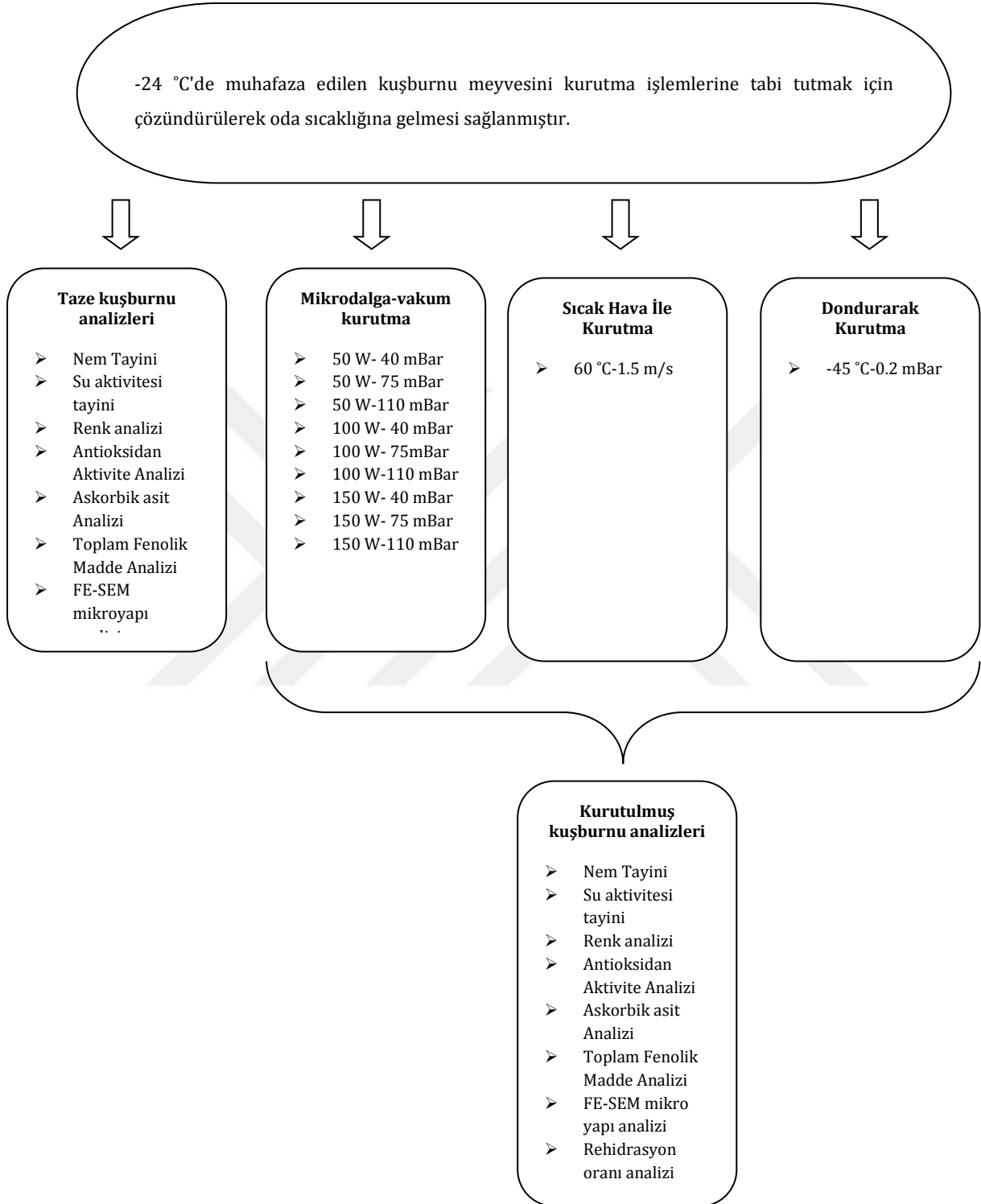
### 3.1.4. Dondurarak kurutucu (Liyofilizatör)

Dondurarak kurutma işlemi Mersin Üniversitesi, Gıda Mühendisliği bölüm laboratuvarında bulunan liyofilizatörde (Cryodos-50, Telstar, Terrasa, İspanya) gerçekleştirilmiştir (şekil 3.3). Liyofilizatör, minimum -50 °C sıcaklığında ve minimum 0.04 mbar vakum basıncında kullanılabilir. Liyofilizatör Şekil 3.3 'te görülen; (1) kurutma haznesi, (2) sekiz musluklu kondenser, (3) vakum pompası ve (4) tahliye borusu olmak üzere dört temel parçadan oluşmaktadır.



**Şekil 3.3.** Laboratuvar tipi liyofilizatör ((Cryodos-50, Telstar, Terrasa, İspanya)

### 3.2.Yöntem



Şekil 3.4. Çalışmada yapılacak deneylerin özet gösterimi

### 3.2.1. Mikrodalga-Vakum Kurutma Deney Düzenegi

Tez kapsamında kullanılan mikrodalga-vakum kurutma deney düzenegi şekil. 3.5'te görüldüğü üzere; regülatör (Akım dengeleyici), modifiye edilmiş gücü ayarlanabilen laboratuvar ölçekli ev tipi mikrodalga fırın, özel üretilmiş cam desikatör, döner tabla, tuzak yoğuşturucular, vakum pompası ve sirkülasyonlu soğuk su banyosu parçalarından meydana gelmektedir.

Regülâtör (Akım dengeleyici); Elektrik şebeke geriliminde belirli zamanlarda düşme ve yükselme gibi dengesizlikler meydana gelebilmektedir. Bu dengesizlikler verim kaybına sebep olabilmektedir. Bu olumsuzlukları engelleyerek mikrodalga fırına sabit bir enerji aktarmasını sağlamak için kullanılmaktadır. Ayrıca gerilimin ani düşmesi ve yükselmesinden dolayı cihazların hasar görmesinin önüne geçilmesi sağlanmaktadır. Mikrodalga fırın; üst bölgesine monte edilmiş güç düğmesinden gücü ayarlanabilen ve maksimum gücü 1.8 kW olan modifiye edilmiş 2450 mHz laboratuvar ölçekli bir mikrodalga fırın (AWI, İngiltere) kullanılmıştır. Vakum ortamı sağlanabilmesi için mikrodalga kavitesine ortalayacak şekilde yerleştirilmiş özel üretilmiş cam desikatör bulunmaktadır. Mikrodalga enerjisi örnek tarafından homojen (tekdüze, üniform) olarak absorbe edebilmesi için döner tabla kullanılmıştır. Döner tabla üzerine, içinde örnek bulunan sepeti koyup cam desikatör içine yerleştirilmektedir. Yoğuşturucu tuzaklar; desikatör ile vakum pompasını birbirine bağlayan borunun orta bölgesi(tarafına) bağlanmıştır. Vakum pompasına bağlı yoğuşturucu olmasına rağmen iki yoğuşturucu tuzak daha bağlanmıştır. Bunun nedeni vakum pompasının çalışma verimini düşmesini engellemek ve bozulma riskini ortadan kaldırmaktır.

Desikatör içerisinden gelen sıcak nemli havanın yoğuşmasını sağlamak için yoğuşturucu tuzaklar beherlerin içine konulmuş ve geri kalan boş kısım soğuk suyla doldurulmuştur. Suyun soğuk kalabilmesi için ihtiyaç duyuldukça behere buz konulmaktadır. Böylece sıcak nemli hava ilk önce bu yoğuşturucularda yoğuşması sağlanmıştır. Buradan kurtulan sıcak nemli hava vakum pompasında (Vacuubrand PC 510 NT, Almanya) bulunan yoğuşturucuda yoğuşmaktadır. Vakum pompası mikrodalga kavitesinde bulunan desikatöre boru ile bağlanmıştır. Mikrodalga enerjisi tarafından ısıtılan örneklerde çıkan sıcak suyun hava ile birlikte uzaklaştırılması için kullanılmaktadır. Ayrıca Sürkülasyonlu soğuk su banyosu (PolyScience) da vakum pompası tarafından çekilen sıcak nemli havanın vakum pompasına bağlı haznede yoğuşmasını sağlamaktadır.

Mikrodalga-vakum kombine kurutucu ile gerçekleştirilen kurutma işlemi; üç farklı mikrodalga güçte (50 W, 100 W ve 150 W) ve üç farklı mutlak basınçta (40 mbar, 75 mbar ve 110 mbar) olmak üzere farklı güç-basınç parametrelerinde gerçekleştirilmiştir. Mikrodalganın 50 W'ın altındaki güçlerde kuruma işleminin oldukça uzun sürdüğü ve gücün 150 W üstünde gerçekleştirildiğinde ise kuşburnu örneklerinde sıcaklığın çok yükseldiği, tanelerde renk

kararmaların meydana geldiği ve yanmaların gerçekleştiği ön denemeler sonucunda tespit edilmiştir. Bu nedenle mikrodalga güçleri 50 W ile 150 W aralığında seçilmiştir.

Mikrodalga-vakum kurutma işleminin endüstriyel uygulamalarındaki en büyük zorluk, vakumda plazma boşalmasına bağlı olarak oluşan arkın üstesinden gelmektir. Ark, materyalin kuru zarı üzerinde büyük enerji kayıplarına ve aşırı ısınmaya neden olur. Bu nedenle, mikrodalga-vakum kurutmada arki önlemek için uygun vakum basıncını ve mikrodalga güç seviyesini seçmek önemlidir [106]. Kurutma hızını arttırmak için ya materyal miktarı azaltılabilir ya da mikrodalga gücü artırılabilir. Fakat aşırı yüksek güç yoğunluğu, özellikle odadaki mikrodalgayı absorbe eden materyalin miktarı az ise vakum odasında mikrodalga arkına veya plazma deşarjına neden olabilmektedir. Bundan dolayı pratik olarak, 10 000 W/kg'dan daha yüksek güç yoğunlukları, mutlak basıncın 4-10 kPa olduğu orta dereceli vakum sistemlerinde sıklıkla arka yol açacağı bildirilmiştir [110, 115]. Bu bilgiler ışığında seçilecek mutlak basınç ve mikrodalga güçleri kritik öneme sahip olmaktadır.

Yapılan çalışmalarda genel olarak vakum seviyesi arttıkça (mutlak basınç düştükçe) kuruma işleminin daha kısa sürdüğü gözlemlenmiştir. Fakat, mutlak basınç 40 mbar'ın altına düşmesi durumunda ark oluşma riski mevcuttur. Bu riski ortadan kaldırmak, kurumanın hızlı gerçekleşmesini sağlamak amacı ile Mikrodalga vakum kurutma işlemleri genel olarak 40-100 mbar mutlak basınç aralığında yapılmaktadır [180]. Bununla birlikte literatürdeki mevcut çalışmaların incelenmesi sonucu [16] ve kurumanın düşük sıcaklıkta gerçekleştirebilmek için yukarıda belirtilen mutlak basınçların seçilmesinde etkili olan diğer faktörler olmuştur.

Deneylerde kullanılan mikrodalğanın sisteme aktardığı mikrodalga gücü belirlenmesi için mikrodalga güç ölçümünde Uluslararası Mikrodalga Güç Enstitüsü (IMPI 2-L, International Microwave Power Institute) testi uygulanmıştır. Bu test; mikrodalga fırının kavite merkezine, içinde toplam 2000±5 g oda sıcaklığındaki su bulunan 2 adet 1-L cam beher yan yana gelecek şekilde yerleştirilip ısıtılması ile gerçekleştirilmiştir. Mikrodalga fırın 2 dakika 2 saniye çalıştırılmıştır. Bu süre zarfı sonunda beherlerde bulunan suyun son sıcaklığı hemen ölçülmüştür. Her beherdeki suyun sıcaklık değişimi hesaplanarak mikrodalga fırının aktarılan gücü bulunmuştur. Güç ölçümü tekrar yapılmış ve bu güçlerin ortalaması alınmıştır [181]. Bu test sonucunda hesaplanan sisteme aktarılan güç değerleri Tablo 3.1 verilmiştir. Güç aşağıdaki verilen eşitlik kullanılarak hesaplanmıştır:

$$P = \frac{mc_p(\Delta T_1 + \Delta T_2)}{2\Delta t} \quad (8)$$

Burada;  $\Delta T_1$  ve  $\Delta T_2$  her iki beherde bulunan suda meydana gelen sıcaklık artışı ( $^{\circ}\text{C}$ ),  $m$  toplam su kütlesi (kg),  $C_p$  suyun özgül ısısı ( $\text{J}/\text{kg}^{\circ}\text{C}$ ) ve  $\Delta t$  mikrodalga ısıtma süresi (s)'dir.



**Tablo 3.1.** Mikrodalga fırının ayarlanan ve sisteme aktarılan güç değerleri

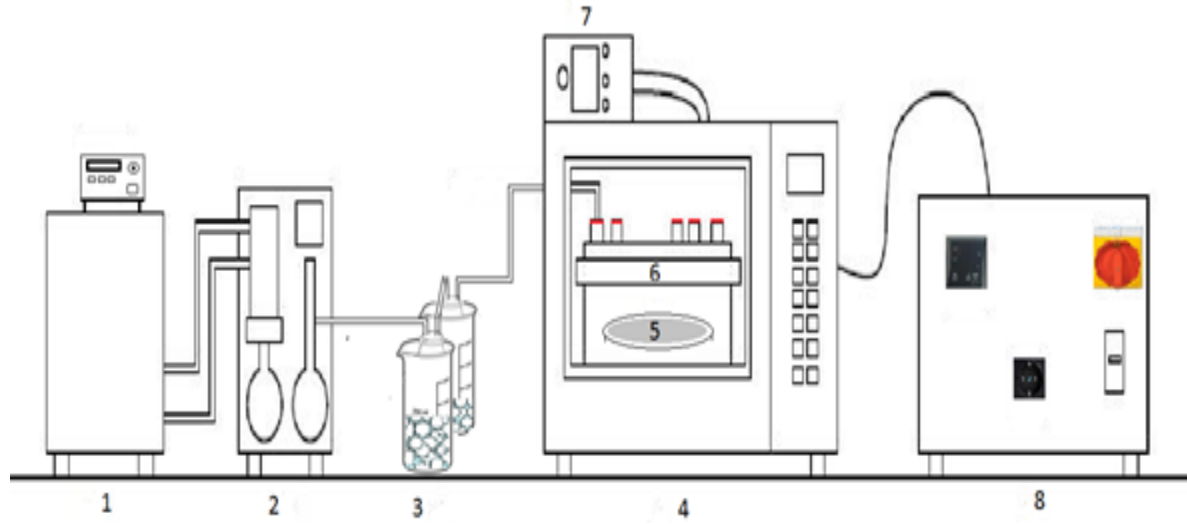
Ayarlanan mikrodalga fırının Güç değerleri (W)	Sisteme aktarılan güç değerleri (W) (IMPI 2-L Testi)
180	50
270	100
360	150

### 3.2.2. Kurutma Yöntemleri

Yapılan çalışma kapsamında; dondurarak kurutma, sıcak hava ile kurutma (60°C-1,5 m/s) ve mikrodalga-vakum kurutma (farklı basınç ve güç parametrelerinde) olmak üzere üç farklı yöntem ile kurutma gerçekleştirilmiştir. Kurutma işlemine hazırlamak için dondurulmuş kuşburnu çözündürüldü ve kurutma işlemlerinden önce materyalin başlangıç nem içeriğini belirlemek için nem analiz cihazı (Şekil 3.9, Ma 60.3Y, Radwag, Polonya) ile nem tayini yapılmıştır. Materyalin başlangıç nem içeriği %43,66±1,88 (yaş bazda) olarak ölçülmüştür. Genellikle kurutulmuş gıdalarda, mikrobiyal aktiviteyi sınırlandırmak yani mikrobiyal büyüme (çoğalma) için suyun kullanılabilirliğini sınırlandırılmak amacıyla nem içeriği %10'nun altındaki değerlere düşürülmektedir [182]. Bundan dolayı kurutma işlemlerinde, materyalin nem içeriği bu değerlerin altında istenilen seviyelere ulaşıldığında sonlandırılmıştır. Kurutma deneyler 2 tekrarlı olarak gerçekleştirilmiş ve bu kurutma işlemlerinde elde edilen değerlerin ortalamaları alınarak hesaplanmıştır. Kurutma işlemleri sonucunda elde edilen kurutulmuş kuşburnu örnekleri kilitli buzdolabı poşetine doldurulup cam kavanozlara konulmuştur. Analizlerde kullanılmak üzere -24°C'deki dondurucuda muhafaza edilmiştir.

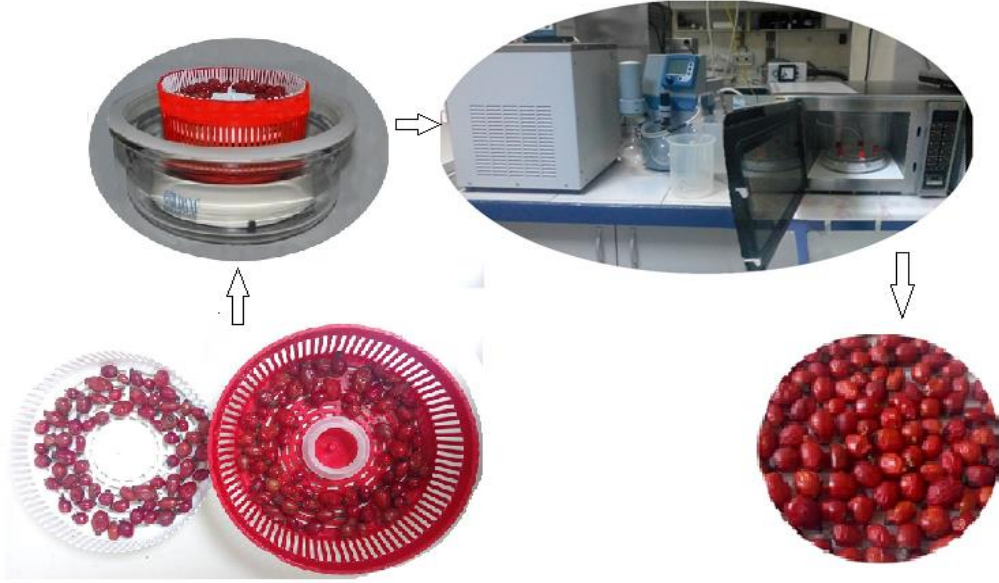
#### 3.2.2.1. Mikrodalga-Vakum Kurutma

Kurulan mikrodalga-vakum kurutma sistemi ile kuşburnu kurutma deneyleri yapılmıştır. Mikrodalga-vakum kurutma sistemi sekiz parçadan oluşmaktadır. Bunlar; sistem mutlak basıncını ayarlamak için (2) vakum pompası (Vacuubrand PC 510 NT, Almanya), vakum pompası tarafından çekilen sıcak su buharını yoğunlaştırmak için +2 °C'ye ayarlanmış (1) sirkülatörlü su banyosu (PolyScience), (3) yoğunlaştırma tuzakları (yoğuşurma ünitesi), (4) laboratuvar tipi mikrodalga fırın (AWI, İngiltere), materyalin homojen şekilde ısınmasını sağlamak için kurmalı bir (5) döner tabla (Nordic Ware, A.B.D), (6) vakum ortamı için desikatör, (7) mikrodalga güç ayarlayıcı ve mikrodalga fırına gelen elektrik enerjisini sabitlemek için (8) regülatör (Çetinkaya, B1102216-2, Türkiye) ve. Deneylerde kullanılan kurutma sisteminin şematik gösterimi Şekil 3.5'de verilmiştir.



**Şekil 3.5.** Mikrodalga-vakum kurutma sisteminin şematik görünümü

Kurutma işlemine başlamadan önce  $-24\text{ }^{\circ}\text{C}$ 'de muhafaza edilen kuşburnu örnekleri çözüldürülmüştür. Çözüldürülmüş  $160,1\pm 0,28$  gram kuşburnu örneği, her katına eşit miktarda olacak şekilde iki katlı sepete (Şekil 3.6) konulmuştur. Her iki katta bulunan örneklerin birbirinden etkilenmemesi için ve örnekte çıkan sıcak su buharını vakumlanması sırasında örneklerin aynı derecede etkilenmesi için sepetlerin arası bir aparat yardımı ile yükseltilmiştir. Durmadan yaklaşık 18 dakika çalışan kurlmalı döner tabla ayarlanarak cam desikatör içine yerleştirilmiştir. Kuşburnu örnekleri içinde bulunan sepet desikatör içinde kurulmuş döner tabla üzerine yerleştirilmiştir. Kurutma işlemi sırasında her 15 dakikada bir kabin tartımı  $0,10$  miligrama kadar duyarlı dijital hassas terazi (Radwag, PS 360.R2, Polonya) yardımı ile manuel olarak alınmıştır. Ayrıca her 15 dakikada bir tartım almadan hemen önce termal kamera ile sıcaklıkları ölçülmüştür. Kuşburnu örneği istenilen nem içeriğine (yaş bazda %10'nun altına) gelene kadar kurutma işlemi devam edilmiştir. Kurutma işlemine son verildikten sonra soğumuş olan örnekler kilitli plastik poşetler içine konulmuştur. Örneğin içinde bulunan poşetler de cam kavanozlara konularak kimyasal analizler için  $-25\text{ }^{\circ}\text{C}$ 'de ve diğer analizler için de  $+4\text{ }^{\circ}\text{C}$ 'de muhafaza edilmiştir.



Şekil 3.6. Mikrodalga-vakum kurutma sisteminde kuşburnunun kurutulması

### 3.2.2.2.Sıcak Hava ile Kurutma

Bu tez çalışmasında kullanılan kurutma yöntemlerden biri de sıcak hava ile kurutma yöntemidir. Mersin Üniversitesi Gıda Mühendisliği Bölümü laboratuvarında bulunan laboratuvar tipi döner tepsili kurutucu (Eksis, Isparta, Türkiye) kullanılmıştır. Kurutucunun sıcaklığı 60°C, hava hızı ise 1.5 m/s olarak ayarlanmıştır. Kurutma işlemine başlamadan önce kurutucu ortam sıcaklığının 60°C'ye gelmesi sağlanmıştır. Çözündürülmüş 160 g kuşburnu meyvesini 80'ar g olmak üzere kurutucunun iki tepsisine yerleştirilmiştir (Şekil 3.7). Kuşburnu meyvesi istenilen neme (yaş bazda %10'un altına) düşmesi için kurutulması gereken süreyi ön deneme sonucunda karar verilmiştir. Belirlenen süre baz alınarak kurutma işlemi sonlandırılmıştır.



Şekil 3.7. Laboratuvar tipi döner tepsili kurutucuda kuşburnunun görüntüsü

### 3.2.2.3.Dondurarak Kurutma

Dondurarak kurutma (liyofilizasyon) işlemi için şekil 3.3 'teki liyofilizatör (Cryodos -50, Telstar, Terrasa, İspanya) kullanılmıştır. Kurutma işlemi öncesi kondenser sıcaklığı minimum sıcaklığa (-45) ayarlanmıştır. Kurutmak için dondurulan kuşburnu örnekleri şekil 3.8'de görüldüğü gibi kurutucu tepsilerine yerleştirilmiştir. Tepsiler kurutma haznesine konularak kapağı kapatılmış ve vakum açılarak basınç 0.2 mbar mutlak basınca ayarlanmıştır. Kuşburnu meyvesinin nem miktarı %10 (yaş bazda)'un altına düştüğünde kurutma işlemi sonlandırılmıştır.



**Şekil 3.8.** Dondurarak kurutucu kurutulan kuşburnunun görüntüsü

### 3.2.3.Kuşburnu Örneklerine Yapılan Analizler

#### 3.2.3.1.Nem İçeriği ve su aktivitesi Ölçümü

##### Nem İçeriği

Taze ve kurutulmuş numunelerin nem içeriğini belirlemek için %0,0001 nem okuma hassasiyetine sahip olan halojen ısıtmalı nem analiz cihazı (Şekil 3.9'te Ma 60.3Y, Radwag, Polonya) kullanılmıştır. Nem tayin cihazının veri tabanında farklı örneklere ait programlar bulunmaktadır. İstenilen örneğe ait Nem içeriği belirlenmek için örneğe ait uygun program seçilebilmektedir. Nem oranının zamana karşı grafiği ve nem içeriği ölçüm sonucu ekran panelinde göstermektedir.



**Şekil 3.9.** Halojen ısıtmalı nem tayin cihazı (Ma 60.3Y, Radwag, Polonya)

### Su aktivitesi Ölçümü

Taze ve kurutulmuş numuneler, 0.03-1.00 su aktivitesi (aw) ve 5-45 ° C sıcaklık aralığında ölçüm yapabilen, tekrarlanabilirliği  $\pm 0.002$  aw (0,2% rh) ve doğruluğu  $\pm 0.01$  aw (0,1-0.95 aw aralığında) olan su aktivitesi tayin cihazı (Labswif-aw, Novasina, Lachen, İsviçre) kullanılmıştır (Şekil 3.10).



**Şekil 3.10.** Su aktivitesi tayin cihazı (Labswift-aw, Novasina, Lachen, İsviçre)

### 3.2.3.2. Toplam Fenolik Madde Tayini

#### Ekstraksiyon:

Taze ve farklı yöntemler ile kurutulan kuşburnu örnekleri öğütücü (Blue House, BH258CG) ile öğütülmüştür. Öğütülen örneklerden belli bir miktarda tartım alındıktan sonra ekstraksiyon işlemine tabi tutulmuştur. Bu amaçla Gökmen vd. [183], tarafından önerilen yöntem modifiye edilerek ekstraksiyon işlemi yapılmıştır. Ekstraksiyon işlemi üç kademedede

gerçekleştirilmiştir. Falkon tüpüne alınan yaklaşık 1 g öğütülmüş kuşburnu örnekleri üzerine 10 ml metanol:su (70:30, v:v) karışımı eklenip vortekslenmiştir. Vortekslenerek iyice karışımı sağlanan örnek 5000 rpm'de 3 dakika boyunca santrifüjlenmiştir (JP Selecta, Medifriger BL-S, İspanya). Falkon tüpündeki üst faz (süpernatant) yeni bir falkon tüpüne aktarılıp kalan kalıntıya ikinci ve üçüncü kademe olarak yeniden 5 mL metanol:su (70:30, v:v) karışımı ilave edilerek birinci kademedeki işlem basamakları aynı şekilde uygulanmıştır. Üç kademe sonunda bir falkon tüpüne toplanan 20 mL süpernatant kaba filtre kağıdıyla süzülerek filtre edilmiştir. Filtre edilen örnek ekstraktları aynı günde analize etmek üzere +4 derecede saklanmıştır.

### **Toplam Fenolik Madde Analizi**

Örnek ekstraktlardaki toplam madde miktarı, Folin-Ciocalteu metodunu esas alınarak Gökmen vd. [184], tarafından modifiye edilen yöntemle göre yapılmıştır. Kuşburnu örneğimizin ekstraktı fazla miktarda fenolik bileşik içermesi nedeni ile uygun oranlarda (1/4) seyreltilerek analiz için hazır hale getirilmiştir. Seyreltilen örnek ekstraktlardan 50 µL alınarak üzerine 350 µl damıtık su ilave edilmiştir ve vorteks yardımı ile karıştırılmıştır. Bu karışım üzerine 1.6 ml 0.2 N folin-ciocalteu reaktifi eklenmiş ve vortekslenerek 5 dakika bekletilmiştir. Son aşama olarak %20 sodyum karbonat çözeltisinden ( $\text{Na}_2\text{CO}_3$ ) 1.6 ml eklenip tüpler tekrar vortekslenmiştir. Elde edilen bu karışım 2 saat boyunca oda sıcaklığında ve karanlık ortamda bekletilmiştir. Bu süre sonunda tüpler 5000 rpm'de 5 dakika santrifüj edilmiştir. Santrifuj (JP Selecta, Medifriger BL-S, İspanya) edilen örnekler spektrofotometrede (Agilent Technologies, Cary 60 UV-Vis, ABD) 765 nm dalga boyunda şahide karşı absorpsanları okunmuştur. Okunan absorpsan değerleri kalibrasyon eğrisinden elde edilen formülde yerine konularak toplam fenolik bileşik içeriği gallik asit eşdeğeri cinsinden hesaplanmış ve mg GAE/g örnek şeklinde ifade edilmiştir.

Deneyler 2 tekrarlı olarak gerçekleştirilmiş ve elde edilen sonuçların ortalaması alınarak rapor edilmiştir.

### **Standart Hazırlama:**

Örnek ekstraktlarının toplam fenolik madde miktarını hesaplamak için gallik asit standartı kullanarak kalibrasyon (standart) eğri çizilmiştir. Bu amaçla belli konsantrasyonda hazırlanan gallik asit stok çözeltisinden farklı konsantrasyonlarda (100, 200, 300, 400, 500, 600, 700 ve 800 mg GA/L) çözeltiler hazırlanmıştır. Bu farklı konsantrasyonlardaki çözeltilerin her birine örnek ekstraktlara uygulanan analiz aşamaları uygulanmış ve aynı şekilde 765 nm dalga boyunda sekiz farklı konsantrasyonların absorpsan değerleri ölçülmüştür. Absorban değerleri gallik asit konsantrasyonlarına karşı grafiği çizilmiş ve elde edilen verilere lineer regresyon



uygulayarak gallik asit eğrisi çizilmiştir. Bu eğriyi tanımlayan eşitliğe ulaşılmıştır. Standart (kalibrasyon) eğriyi tanımlayan eşitlik yardım ile örnek ekstraktların gallik asit eşdeğeri cinsinden konsantrasyonları bulunmuştur. Bulunan konsantrasyon değerlerine uygulanan seyreltme oranları ile çarpılarak örnek ekstraktlardaki toplam fenolik madde miktarı hesaplanmıştır.

### 3.2.3.3. Antioksidan Aktivite Tayini

Gıdaların antioksidan aktivitesini belirlemek için çok sayıda farklı analiz yöntemleri bulunmaktadır. Farklı antioksidan aktivite değerlendirme yöntemleri kullanarak yapılan karşılaştırmalı değerlendirme, kabul edilen tüm yöntemlerin yüksek oranda ilişkili olmadığını ve bu nedenle birden fazla yöntem ile antioksidan aktivitenin değerlendirilmesi gerektiği rapor edilmiştir. Ayrıca belirli bir numunenin toplam antioksidan kapasitesini doğru yansıtacak bir antioksidan kapasite yöntemi bulunmadığı dile getirilmiştir [185]. Kesin sonuçları sağlayabilecek tek bir yöntem yoktur ve en iyi çözüm tek boyutlu bir yaklaşım yerine çeşitli yöntemler kullanmaktır [186]. Bitki ekstraktların antioksidan aktivitesi fitokimyasal ve oksidasyon işlemlerin karmaşık kompozisyonuna bağlı olarak sadece bir yöntem kullanarak değerlendirilemeyeceğini ileri sürülmüştür [187]. Çünkü her yöntemin kendine ait avantajı ve dezavantajı bulunmaktadır. Örneğin DPPH yönteminde DPPH reaktifi sulu ortamda çözülmez yalnızca alkol gibi organik ortamda çözülebilir. Bu da hidrofilik antioksidanların varlığını yorumlanmasına engeldir [188]. Sulu ortam DPPH'in bir kısmını kuagüle olmasına neden olur dolayısıyla çözücünün su içeriği antioksidan aktiviteyi azaltan önemli bir sınırlamadır [189]. FRAP yönteminde ise karotenoidler ve glutatyon gibi tiyol (-SH içeren grup) antioksidan aktivitelerini saptayamaz [190]. Antioksidan özellik göstermeyen bazı bileşikler demiri indirgeyerek sonucun olması gerekenden daha yüksek çıkmasına neden olabilmektedir [191].

Dolayısıyla bu çalışmada kuşburnu ekstraktların antioksidan aktivitesini belirlemek amacıyla FRAP ve DPPH yöntemleri olmak üzere iki farklı yöntem kullanılmıştır. Bu yöntemler için kullanılan ekstraksiyon yöntemi toplam fenolik madde miktarı belirlemede kullanılan ekstraksiyon yöntemi ile aynıdır. Deneyler 2 tekrarlı olarak gerçekleştirilmiş ve elde edilen sonuçların ortalaması alınarak rapor edilmiştir.

### **FRAP (Demir (III) İyonu İndirgeyici Antioksidan Güç) Yöntemi**

Kuşburnu ekstraktların antioksidan aktivitesi Benzeie ve Strain tarafından geliştirilen yöntem temel alınarak belirlenmiştir. Yöntemin temeli, düşük pH'da Fe<sup>+3</sup>'ün TPTZ (2,4,6-tripiridil-triazin) ile reaksiyonu sonucu [Fe (III)-TPTZ]<sub>2</sub>Cl<sub>2</sub> kompleksinin oluşmasına neden olur. Oluşan bu demir tuzu oksidan olarak kullanır ve ortamdaki antioksidan varlığında bu kompleks mavi renkli Fe (III)-TPTZ kompleksine indirgenir. Oluşan renkli çözelti 593 nm'de maksimum absorbans verme ilkesine dayanmaktadır [192, 193].

Asetat buffer (0.3 M, pH 3.6), 40.8 g C<sub>2</sub>H<sub>3</sub>O<sub>2</sub>Na.3H<sub>2</sub>O 'nun 1 L ultra saf su içinde çözdürüldü ve glasiyel asetik asit ile pH'si 3.6'ya ayarlanması ile hazırlanmıştır. TPTZ(2,4,6-tripiridyl-s-triazine) çözeltisi, 7.5 ml 40 Mm HCl çözeltisi içinde 23,4 mg TPTZ'nin çözülmesi ile hazırlanmıştır. Ferrik çözeltisi, ultra saf su ile iron (III)chloride hexahydrate (FeCl<sub>3</sub>.6H<sub>2</sub>O) kullanarak hazırlanmıştır. Son olarak FRAP reaktifi; asetat buffer, TPTZ ve ferrik çözeltisini 10:1:1 oranlarında karıştırarak hazırlanmıştır

Uygun oranlarda seyreltilen kuşburnu ekstraktından 200 µL deney tüpüne alınmıştır. Üzerine hazırlanan FRAP reaktifinden 1.8 mL eklenmiş ve reaksiyonu başlatmak için vortekslenmiştir. Falcon tüpleri 37 °C'deki su banyosunda 10 dakika bekletilip absorbansları 593 nm dalga boyunda şahide karşı okunmuştur. Okunan absorbans değerleri kalibrasyon eğrisinden elde edilen formülde yerine konularak ekstraktların antioksidan aktiviteleri troloks eşdeğeri cinsinden hesaplanmış ve µmol TEAC (Trolox Eşdeğer Antioksidan Kapasitesi) /g örnek şeklinde ifade edilmiştir.

Standart kalibrasyon grafiğini çizmek için önceden hazırlanan belli konsantrasyondaki troloks stok çözeltisinden farklı konsantrasyonlarda troloks çözeltisi hazırlanmıştır. Hazırlanan bu yedi farklı konsantrasyondaki çözeltilere, örnek ekstrakta uygulanan analiz aşamaları uygulanmıştır. Okunan absorbans değerler troloks konsantrasyonlarına karşı grafiğe aktarılmış ve eğri çizilerek bu eğriyi tanımlayan eşitliğe ulaşılmıştır. Bu eşitlik yardımı ile örnek ekstraktların konsantrasyon değerlerine ulaşılmış ve bulunan bu değerlere uygulanan seyreltme oranları ile çarparak örnek ekstraktların antioksidan aktivitesi hesaplanmıştır.

### **DPPH (2,2-Difenil-1-pikrilhidrazil (DPPH) radikal süpürme kapasitesi) Yöntemi**

2,2-Difenil-1-pikrilhidrazil (DPPH) serbest radikali mor renkli kararlı bir radikal olup 515 nm dalga boyunda maksimum absorbans vermektedir. Yöntemin temel prensibi bu mor renkli DPPH radikali antioksidan maddenin hidrojeni ile birleşerek indirgenmiş DPPH-H'i oluşturmakta ve mor renk antioksidan miktarına bağlı olarak arttıkça sarıya dönüşmektedir. Yani örnek



ekstraktlarındaki antioksidanların, serbest radikali yakalama yeteneği(kabiliyeti) ölçülerek antioksidan aktivite ölçme prensibine dayanmaktadır [194, 195].

Bu çalışmadaki kullanılan DPPH süpürücü aktivite analizi Brand-Williams ve arkadaşları tarafından rapor edilen yöntemine göre yapılmıştır [196]. DPPH (80µM) çözeltisi, günlük taze olarak metanol ile hazırlanmış ve 15 dakika süreyle sonike edilmiştir. Falkon tüplerine örnek ekstraktlardan 400 µL ilave edilerek üzerine 2800 µL 80µM DPPH çözeltisi eklendi. Reaksiyonu başlatmak için vortekslenmiştir. Ardından örnekler 60 dakika boyunca ortam sıcaklığında karanlık ortamda bekletilmiştir. Süre sonunda 515 nm dalga boyunda köre karşı absorbansları okunmuştur. Okunan absorbans değerleri standart kalibrasyon eğrisinden elde edilen formülde yerine konularak ekstraktların antioksidan aktiviteleri troloks eşdeğeri cinsinden hesaplanmış ve µM TEAC (Trolox Eşdeğer Antioksidan Kapasitesi) /g örnek şeklinde ifade edilmiştir.

Standart kalibrasyon grafiğini çizmek için farklı konsantrasyonlarda troloks çözeltisi hazırlanmıştır. Hazırlanan bu yedi farklı konsantrasyondaki çözeltilere, örnek ekstrakta uygulanan analiz aşamaları uygulanmıştır. Okunan absorbans değerler troloks konsantrasyonlarına karşı grafiğe aktarılmıştır. Çizilen eğriyi tanımlayan eşitlik bulunmuştur. Bu eşitlik yardımı ile örnek ekstraktların konsantrasyon değerlerine ulaşılmış ve bulunan bu değerlere uygulanan seyreltme oranları ile çarparak örnek ekstraktların antioksidan aktivitesi hesaplanmıştır.

#### **3.2.3.4. Askorbik Asit Tayini**

Askorbik asit tayini Cemeroğlu vd. [197] önermiş olduğu spektrofotometrik yöntem ile yapılmıştır. Yöntemin ilkesi örnek ekstrakta bulunan askorbik asitin 2,6-dikloroindofenolü indirgeyerek rengini gidermesi temeline dayanmaktadır. Yani askorbik asit bulunan ortama eklenen boya çözeltisinin (2,6-diklorofenolindofenol) rengi askorbik asit miktarı ile doğru orantılı olarak giderilmektedir. Geri kalan indirgenmemiş 2,6-diklorofenolindofenol, ksilen tabakasına nüfuz etmesi sağlanmaktadır. Bu ksilen tabakasının absorbans değeri ölçülerek örnek ekstrakttaki askorbik asit miktarı saptanmaktadır. Deneyler iki tekrarlı olarak gerçekleştirilmiştir.

#### **Ekstraksiyon**

Ekstraksiyon üç kademe gerçekleştirilmiştir. Birinci kademesinde yaklaşık 3 gram kuşburnu örneğini 30 mL %6'lık metafosforik asit (HPO<sub>3</sub>) çözeltisi içinde porselen havanda öğütülmüş ve falkon tüpüne aktarılmıştır. Falkon tüpü vortekslenip 4650×g'de 3 dakika süresince santrifüjlenmiştir. Santrifüjlenme sonucunda falkon tüpündeki üst faz (süpernatant) başka bir

falkon tüpüne aktarılmıştır. Kalan kalıntıya (pellet) ikinci kademe olarak 15 ml %6'lık metafosforik asit ( $\text{HPO}_3$ ) çözeltisi eklenip vortekslenmiştir ve tekrar 4650×g'de 3 dakika süresince santrifüjlenmiştir. Falkon tüpündeki üst faz(süpernatant) diğeri ile birleştirilmiştir. Üçüncü kademedede ise ikinci kademenin tekrarı yapılmıştır. Bütün süpernatantlar birleştirilip 5000×g'de 5 dakika süresince santrifüjlenerek içindeki kalan kalıntılardan kurtarılmış ve üst faz (süpernatant) kaba filtre kağıdında geçirilerek süzölmüştür. Süzölme sonucundaki oluşan fitratlar analizde kullanılmıştır. Havanın öğütme sırasında ısınmasını engellemek için etrafı buz kütlesi ile sarılmış ve hava ile temasını engellemek için üst yüzeyi mümkün olduğu kadar kapatılmıştır. Öğütme süresi her örnek için aynı tutulmuştur.

### **Analiz**

Falkon tüpüne 3 mL kuşburnu örneğinin filtratından alınmıştır. Şahit için bir başka falkon tüpüne ise filtrat miktarına eşdeğer miktarda (3 mL) %6'lık  $\text{HPO}_3$  çözeltisi alınmıştır. Her iki falkon tüpüne içindekilerin hacmine eşit miktarda pH'sı 4.0 olan asetat tampon çözeltisi konulmuştur. Buna takiben derhal her iki tüpe de 0,5 ml 2,6-diklorofenolindofenol çözeltisi eklenip hafifçe vorteks yardımı ile karıştırılmıştır. Ardından derhal her iki tüpe 5 ml ksilen eklenip tüpün ağzı kapatıldıktan sonra kuvvetli bir şekilde vorteks yardımı ile karışımı sağlanmıştır. Falkon tüplerin içeriği 4000 rpm'de 5 dakika süresince santrifüjlenerek katmanlarına ayrılmıştır. Her iki tüpteki renkli ksilen katmanı dikkate alınarak 500 nm dalga boyunda ksilene karşı spektrofotometrede absorbansları okunmuştur. Şahit tüpünün absorbans değeri ile örnek tüpünün absorbans değeri arasındaki fark alınmıştır. Bulunan absorbans değeri farkından elde edilen standart (kalibrasyon) eğrisine ait denklem yardımı ile örnek ekstraktın askorbik asit konsantrasyonu bulunmuştur. Bulunan konsantrasyon değerine uygulanan seyreltme oranı ile çarparak örnek ekstraktındaki askorbik asit miktarı hesaplanmıştır.

### **Askorbik asit standart eğrisinin hazırlanması**

Standart (kalibrasyon) eğrisini elde etmek için standart olarak L-askorbik asit kullanılmıştır. L-askorbik asit, %6'lık metafosforik asit ( $\text{HPO}_3$ ) çözeltisinde çözündürölüp 100 ml'ye tamamlanarak 1 mg/ml konsantrasyonda askorbik asit standart çözeltisi elde edilmiştir. Askorbik asit standart çözeltisi %6'lık  $\text{HPO}_3$  çözeltisi ile seyreltilerek 2, 4, 6, 8, 10 ve 15 mg/L konsantrasyonlarında çözelti elde edilmiştir. Askorbik asit içeren bu standart çözeltilerin her birine örnek ekstrakta uygulanan analiz işlemleri sırası ile aynı şekilde uygulanmıştır. Aynı anda şahit için de standart askorbik asit çözeltisi yerine %6'lık  $\text{HPO}_3$  çözeltisi kullanarak örnek ekstrakta uygulanan işlemler sırası ile uygulanmıştır. Her birinde elde edilen renkli ksilen tabakasının absorbansı ksilene karşı okunmuştur. Her konsantrasyonun absorbans değeri

şahidin absorbans değerinden çıkarılmıştır. Her konsantrasyon için saptanan absorbans farkı askorbik asit konsantrasyonlarına (mg/L) karşı grafiğe aktarılarak askorbik asit standart (kalibrasyon) eğrisi elde edilmiştir. Elde edilen bu eğriyi tanımlayan eşitliğe ulaşılmıştır. Standart (kalibrasyon) eğriyi tanımlayan eşitlik yardım ile örnek ekstraktların L-askorbik asit eşdeğeri cinsinden konsantrasyonları bulunmuştur. Bulunan konsantrasyon değerlerine uygulanan seyreltme oranları ile çarpılarak örnek ekstraktlardaki askorbik asit miktarı bulunmuştur.

### 3.2.3.5. Renk Ölçümü

Renkler; objektif, hassas, doğru ve tekrarlanabilir bir şekilde belirlenebilmesi yani rengi standart tanımlanması için sayılar ile ifade edilmesi gerekir. Bu amaçla renkleri sayısal değerler ile tanımlamak için farklı sistemler geliştirilmiştir. Bu konuda önemli çalışmalarda bulunan Uluslararası Aydınlanma Kurumu (Commission Internationale de l'Eclairage, CIE) tarafından CIELAB ( $L^*a^*b^*$ ) ve CIELCH ( $L^*C^*h^*$ ) uluslararası standart renk ölçüm sistemleri geliştirilmiştir [194, 195]. Deneylede CIELAB ( $L^*a^*b^*$ ) ve CIELCH ( $L^*C^*h^*$ ) üç boyutlu renk ölçüm sistemi ile çalışan renk faresi (CM2C, Color Savvy Sistemleri Ltd., A.B.D) kullanılmıştır.

Kurutma koşullarının kuşburnu örneklerin renk değişimi üzerine etkisini incelemek amacıyla taze ve farklı yöntemlerle kurutulmuş kuşburnunun renk değerleri ölçülüp (belirlenip) renk değişimi hesaplanmıştır. Bu amaçla örneklerin renk değerleri renk faresi (CM2C, Color Savvy Sistemleri Ltd) cihazı ile ölçülüp CS-connect yazılım programı aracılığıyla bilgisayara ortamında değerlendirilmiştir. Renk ölçümü yapılmadan önce renk ölçüm cihazının referans kartı ile kalibre edilmiştir. Taze ve her kurutma deneylerinden sonra rastgele seçilen yedi farklı örneğin ve her örneğin 3 farklı noktasından renk değerleri belirlenmiştir. Elde edilen değerlerin ortalaması alınarak rapor edilmiştir.

Taze ve kurutulmuş kuşburnu örneklerin renk değerlerini tespit etmek için renk faresi (CM2C, Color Savvy Sistemleri Ltd) cihazı kullanılmıştır (Şekil 3.11). Renk analiz cihazı temel olarak renk faresi, renk faresi ve bilgisayar arasındaki bağlantıyı sağlayan ara kablo ve bunu destekleyen yazılım (CS-connect) parçalarından oluşmaktadır.



Şekil 3.11. Renk faresi cihazı (CM2C, Color Savvy Sistemleri Ltd.)

CIELAB ( $L^*a^*b^*$ ) ve CIELCH ( $L^*C^*h^*$ ) Renk ölçüm Sistemleri değişkenleri aşağıda açıklanmaktadır. Ayrıca şekil 3.12’de koordinatlar üzerinde değişkenler gösterilmiştir.

CIELAB ( $L^*a^*b^*$ ) renk sistemi;

$L^*$ (açıklık): Rengin açık ve koyu olduğunu veya parlaklığını belirtir ( $L^*=0$  siyah ve  $L^*=100$  beyaz)  
 $a^*$ (kırmızılık/yeşillik):+  $a^*$  yönde kırmızılık ve -  $a^*$  yönde yeşillik arttığını belirtir (+60=kırmızı ve -60=yeşil)

$b^*$ (sarılık/mavilik): + $b^*$  yönde kırmızılık ve - $b^*$  yönde yeşillik arttığını belirtir (+60=sarı ve -60=mavi)

CIELCH ( $L^*C^*h^*$ ) renk sistemi;

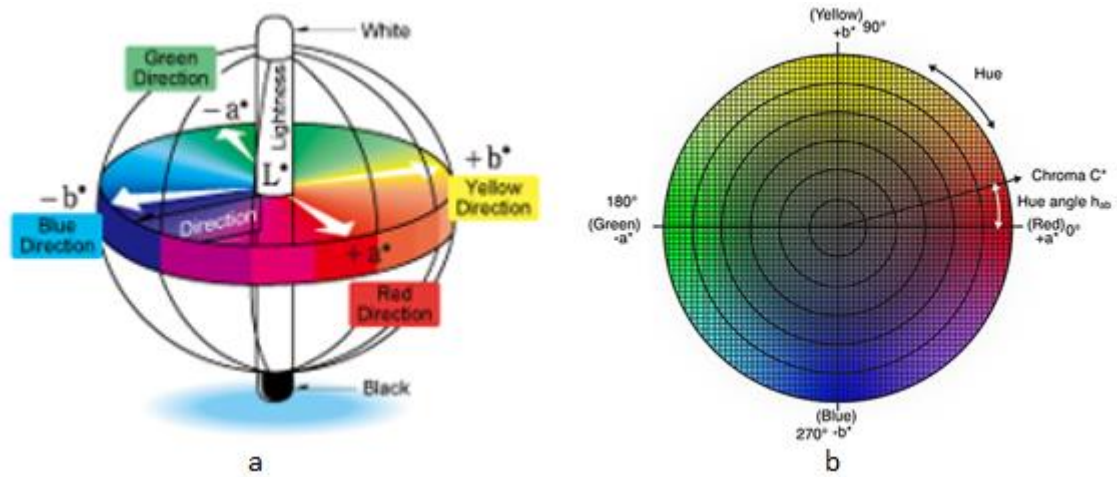
CIELCH renk sistemi  $L^*$ ,  $C^*$  ve  $h^*$  değişkenleri ile ifade eder. Her iki renk sisteminde  $L^*$  değeri aynıdır ancak, kroma( $C^*$ ) ve hue( $h^*$ ) değerleri  $a^*$  ve  $b^*$  değerlerinden hesaplanır.

$C^*$  kromunun değeri ortada 0'dır ve merkeze olan uzaklığa göre artar ve değeri maksimum 60 olur. Ortadaki renkler gri (donuk) ve çevreye doğru hareket ettikçe daha doymuş (canlı) hale geliyor. Chroma doygunluk olarak da bilinir. Aşağıdaki eşitlik 8’te hesaplanmaktadır [198].

$$C^* = \sqrt{a^{*2} + b^{*2}} \quad (8)$$

Hue açısı ( $h^*$ ), bir nesnenin rengini algılama şeklimizdir, +  $a^*$  ekseninden başlar ve derece cinsinden ifade edilir. Hue açısı  $0^\circ$  +  $a^*$  (kırmızı) eksenini,  $90^\circ$  +  $b^*$  (sarı) eksenini,  $180^\circ$  -  $a^*$  (yeşil) eksenini ve  $270^\circ$  -  $b^*$  (mavi) eksenini üzerinde bulunur. Aşağıdaki eşitlik 9’da hesaplanmaktadır [198].

$$h^* = \tan^{-1}\left(\frac{a^*}{b^*}\right) \quad (9)$$



**Şekil 3.12.** CIE L\*a\*b\* renk koordinatları (a) ve CIE L\*C\*h renk çarkı (b) [199, 201]

CIELAB (L\*a\*b\*) renk sisteminde iki örneğin renk farkını, toplam renk değişikliği ( $\Delta E^*$ ) eşitliğini kullanarak tek bir değerle ifade edilebilmektedir [198].

$$\Delta E^* = \sqrt{\Delta L^{*2} + \Delta a^{*2} + \Delta b^{*2}} \quad (10)$$

Bu eşitlikte;  $\Delta L^*$ =İki nesnenin L\* değerleri arası farkı,  $\Delta a^*$ =İki nesnenin a\* değerleri arası farkı ve  $\Delta b^*$ =İki nesnenin b\* değerleri arası farkı ifade eder. Şekil 10'da renk farkları gösterilmiştir [198].

### 3.2.3.6. Rehidrasyon oranı analizi

Kurutma koşullarının rehidrasyon yeteneği üzerine etkisini incelemek amacıyla farklı yöntem ile kurutulan kuşburnu örneklerine rehidrasyon oranı analizi yapılmıştır. Rehidrasyon oranı analizi Giri vd. [202], tarafından önerilmiş yöntemine göre yapılmıştır.

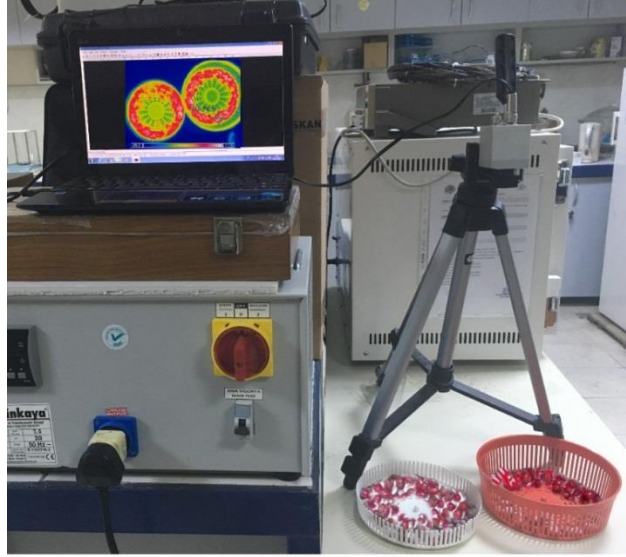
Bu amaçla 100 ml'lik beherlere 50 ml distile su konulmuş ve oda sıcaklığında dengeye gelmesi için bekletilmiştir. Oda sıcaklığında dengeye gelen distile suya yaklaşık 2 g kurutulmuş kuşburnu örneği konulmuş ve beher üzeri kapatılmıştır. Örnekler, rehidrasyonun ilk üç saat boyunca 30 dakika aralıklarla ve üçüncü saatten sonra değişen aralıklarla tartımı alınmıştır. Tartım almak için su içinden çıkarılan örneklerin üzerindeki fazla suyu kâğıt havlu ile uzaklaştırılmıştır. Sabit tartıma gelene kadar rehidre edilmiştir. Meydana gelen ağırlık değişimleri sonucunda rehidrasyon oranları ölçülmüştür. Deneyler iki tekrar olarak yapılmış ve elde edilen değerlerin ortalaması alınmıştır. Rehidrasyon oranı, rehidre edilmiş numunelerin ağırlığının kuru numunenin ağırlığına oranı olarak tanımlandı.

### 3.2.3.7 Alan Emisyonlu Taramalı Elektron Mikroskobu (FE-SEM) ile mikro yapı Analizi

Farklı kurutma koşullarının kuşburnu örneklerinin mikroyapılarına (gözenekli yapılarına) olan etkisini incelemek için Mersin Üniversitesi İleri Teknoloji ve Araştırma Merkezinde (MEİTAM) bulunan alan emisyonlu taramalı elektron mikroskobu (FE-SEM, Supra 55, Zeiss, Germany) kullanarak mikroyapılarında meydana gelen değişimler görüntülenmiştir. Bu amaçla numune tutucusuna (stublara) uygun boyutta kuşburnu örneğinin meyve etinden parçalar alınmıştır. Örnek parçalarının kesit alanını (Et kalınlığının kesit alanından) inceleyebilecek şekilde çift taraflı karbon bant ile numune tutucusuna (stublara) sabitlenmiştir. Taramalı elektron mikroskobunda (SEM) görüntü alabilmek için örneğin iletken olması gerekmektedir. Bu nedenle numune tutacağına yerleştirilen örnek parçalarının iletkenliğini sağlamak ve görüntü kalitesini yükseltmek için Q150R ES model (Quorum Technologies Ltd., Ashford, Kent, England.) kaplama cihazında yüksek vakum altında ince bir platin tabakası ile kaplanmıştır. Ardından kaplanmış olan örnekler SEM ünitesine yerleştirilmiş ve vakuma alınmıştır. Taramalı elektron mikroskobu, görüntü oluşumu sağlamak için 5 kV potansiyel fark ve yüksek vakum altında çalıştırılmıştır. Görüntü, bu potansiyel fark altında hızlandırılan elektronların incelenecek örneği uyarması sonucunda çıkan sinyalleri detektörlerin algılaması ile oluşmaktadır. Her örnek için 500x ve 1500x büyütme oranında görüntü alınarak mikro yapıdaki değişimler gözlemlendi.

### 3.2.3.8. Sıcaklık Ölçümü

Mikrodalga-vakum kurutma işlemi esnasında fiber optik termometre (sıcaklık problemleri) kullanılarak numunelerin sıcaklığının doğrudan ölçülmesi, işlemde kullanılan kurutucuya ilişkin teknik zorluklar nedeniyle mümkün değildi. Ayrıca mikrodalga ısıtmada homojen bir sıcaklık dağılımı göstermemesi (sıcaklığın her noktada farklı gösterdiğinde) ve örneğimizin taneli yapıda olmasından dolayı tek noktada ölçülen sıcaklığın tüm örneği temsil etmesi beklenemez. Termal kamera ile örneğin tüm yüzeyi için sıcaklık dağılımı elde edilebilmektedir. Bu şekilde ölçülen sıcaklığın, kurutma işlemi sırasında ortaya çıkan örneklerin iç sıcaklık değişimlerinin gözlenmesinde yardımcı olabileceği varsayılabilir. Bundan dolayı Mersin Üniversitesi Gıda Mühendisliği Bölümünde bulunan infrared termal kamera (PI200, Optris, Almanya) kullanılarak sıcaklık ölçümleri gerçekleştirilmiştir (Şekil 3.13).



**Şekil 3.13.** Termal kamera ile sıcaklık ölçüm düzeneği

Mikrodalga-vakum kurutma işlemi boyunca 15 dakika aralıklarla kurutucudan çıkarıldıktan hemen sonra örneklerin yüzey sıcaklığı infrared termal kamera (PI200, Optris, Almanya) ile ölçülmüştür. USB kablosu ile Bilgisayara bağlanan termal kameranın anlık görüntüsü PI connect yazılım programı aracılığıyla dijital ekranında görülüp örneklerin yüzey sıcaklık dağılım görüntüsü kaydedilmiştir.

Infrared termal kamera ile sıcaklık ölçümü şekil 3.13'te gösterilen kurulmuş sıcaklık ölçüm düzeneği ile gerçekleştirilmiştir. Infrared kamera ile sıcaklık ölçümünde kritik noktalardan biri emisivite değeridir. Bu değerinin yanlış girilmesi ölçülen sıcaklığın yanlış değerlendirmesine sebep olur. Bu nedenle emisivite değerinin yazılım programına doğru şekilde girilmesi gerekmektedir. Literatür araştırması sonucu gıdaların termal sıcaklık ölçümlerinde emisivite değeri 0,95 olarak belirlenmiş olup bu çalışmada bu değer kullanılmıştır [203, 204].

### 3.2.3.9. İstatistiksel Analiz

Kimyasal ve fiziksel (Renk, RO) tüm deneysel verilerin ortalamalar arasındaki anlamlı farklar ( $p < 0.05$ ), tek yönlü ANOVA (one way ANOVA) ve Duncan testi ile değerlendirildi. Veriler ortalama  $\pm$  SD olarak ifade edildi. Her ortalama örnek arasındaki fark,  $p < 0.05$ 'te istatistiksel olarak anlamlı kabul edildi. Mikrodalga-vakum ile kurutulmuş örneklerde bağımlı (mutlak basınç, güç ve mutlak basınç\*güç etkileşiminin) değişkenlerin etkilerini değerlendirmek için two way ANOVA (çift yönlü varyans) analizi %95 güven aralığında yapılmıştır. Deneysel verilerin istatistiksel analiz, SPSS sürüm 18.0 paket programı kullanılarak varyans analizine (ANOVA) tabi tutulmuştur.

## 4. BULGULAR ve TARTIŞMA

#### 4.1. Kuruma Eğrileri, nem İçeriği ve Su Aktivesi Ölçümü

Mikrodalga-vakum (MV) kurutma, dondurarak kurutma (DK) ve sıcak hava (SH) ile kurutma olmak üzere üç farklı yöntem ve MV yönteminin farklı koşullarında kurutulmuş kuşburnu örneklerin kuruma süreleri, son nem içerikleri ve son su aktivite değerleri Tablo 4.1 verilmiştir. MV kurutma yönteminde üç farklı mutlak basınç ve üç farklı mikrodalga güç ile kurutma işlemi yapılmıştır. Farklı yöntemlerle yapılan kurutma işlemlerinde, hedeflenen nem içeriği olan %10'nun altına düşene kadar kurutma işlemi yapılmıştır. Kurutma süreleri; MV, SH ve DK olmak üzere sırası ile 75-195, 960 ve 2880 dakikadadır. MV kurutma, sıcak hava kurutmaya göre %79.7-92.2 ve dondurarak kurutmaya göre %93.2-97.4 oranında kurutma sürelerini kısaltmıştır.

**Tablo 4.1.** Taze kuşburnu ve farklı yöntem ve/veya farklı parametrelerde kurutulan kuşburnunun kuruma süreleri, nem içerikleri (% yaş bazda) ve su aktivitesi değerleri.

Kurutma Yöntemleri		Kurutma süresi (dak)	Nem içeriği (% yaş bazda)	Su aktivitesi
Taze kuşburnu			43,83±0,155	0,92±0,0002
Mikrodalga -vakum kurutma				
Mikrodalga Güç (W)	Mutlak Basınç (mbar)			
50	40	165	5,78±0,19	0,32±0,01
50	75	180	5,99±0,28	0,33±0,01
50	110	195	6,91±0,28	0,37±0,01
100	40	105	5,54±0,32	0,31±0,03
100	75	120	5,34±0,34	0,32±0,04
100	110	135	5,54±0,32	0,31±0,01
150	40	75	5,02±0,28	0,28±0,01
150	75	75	4,37±0,05	0,25±0,03
150	110	75	4,73±0,04	0,30±0,02
Sıcak hava ile kurutma (60 °C-1,5 m/s)		960	9,08±0,35	0,46±0,04
Dondurarak kurutma		2880	4,88±0,09	0,21±0,01

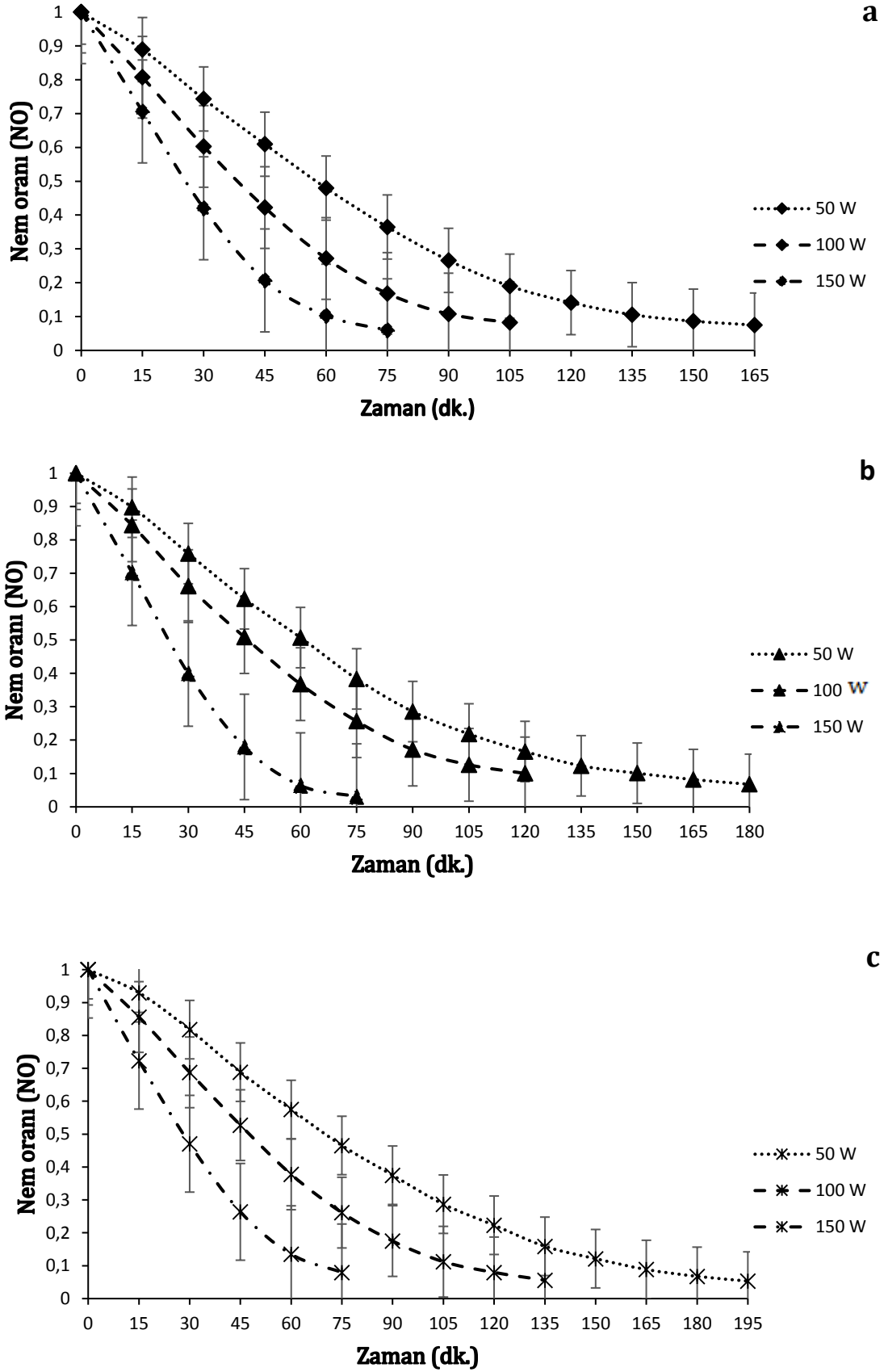
Sabit mutlak basınç altında farklı güçlerde kurutulmuş kuşburnu örneklerinin kuruma eğrileri Şekil 3.14a, b, c' de verilmiştir. Bu eğriler, mutlak basınç değerleri (40, 75 ve 110 mbar) sabit kaldığında, kuruma süresine karşı nem oranlarının (MR) 50, 100 ve 150 W'lık farklı mikrodalga güçlerdeki değişimini göstermektedir. Farklı mikrodalga güçlerin, kuşburnunun kuruma özellikleri üzerindeki etkisi açıkça görülmektedir. Hedeflenen nem içeriği değerine indirmek için gereken kurutma süresinin mikrodalga güç seviyesine bağlı olduğu (alakalı olduğu) doğrudan şekil 3.14'deki grafiklerde görünmektedir. Bunun ile birlikte, en kısa kuruma süresi 150 W, en uzun kuruma süresi ise 50 W güçte gerçekleşip güç arttıkça kurutma sürenin azaldığı



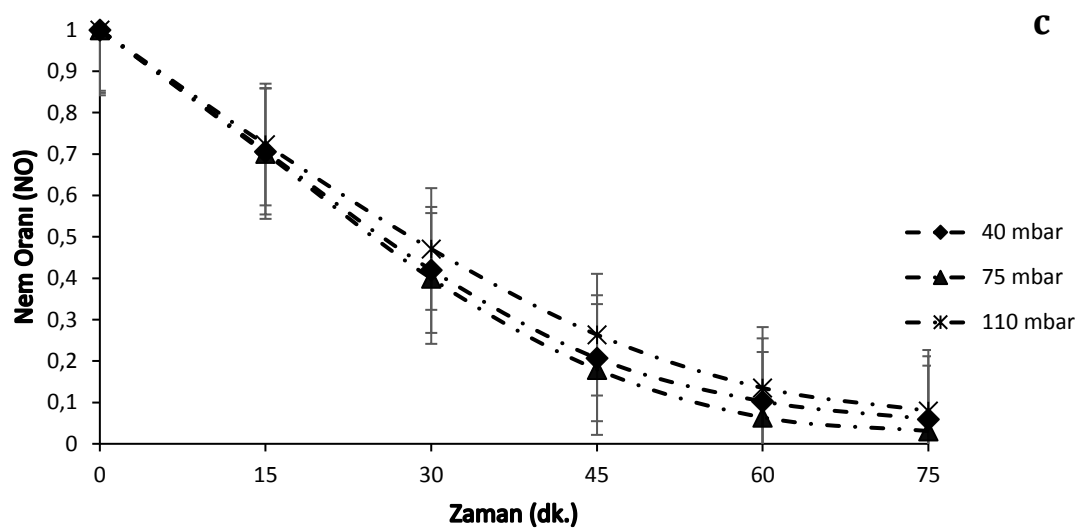
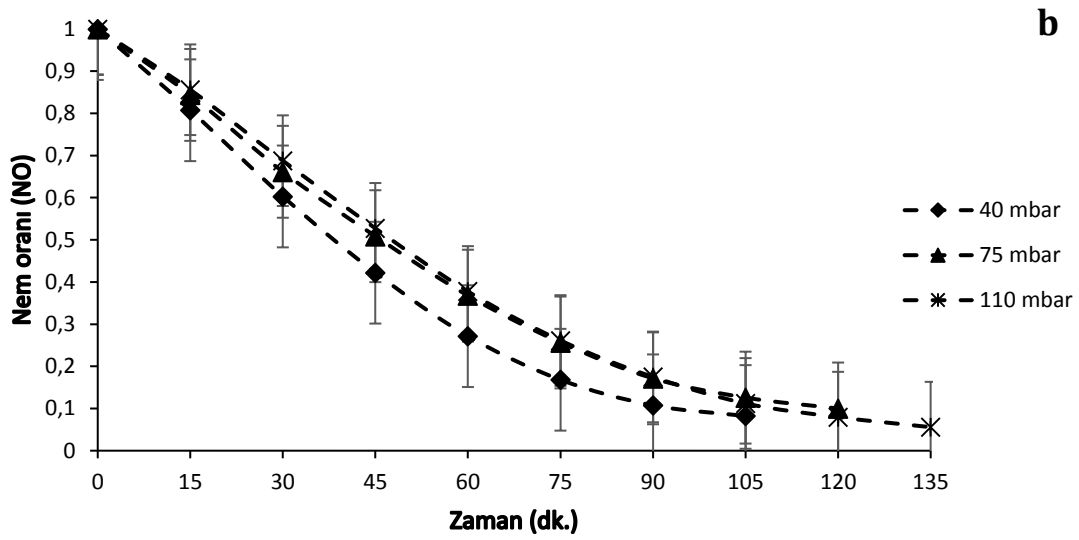
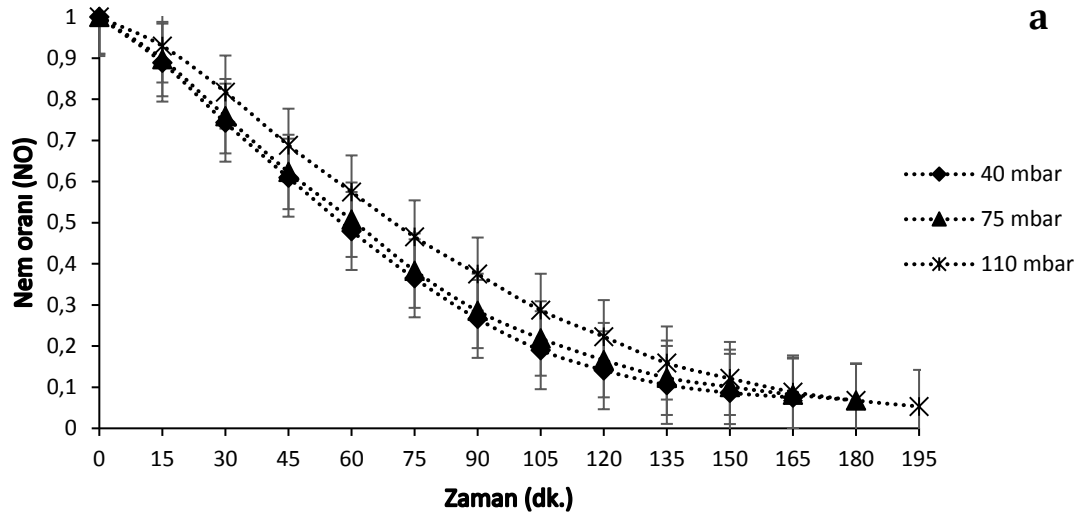
tespit edilmiştir. 40 mbar sabit mutlak basınç altında 50, 100 ve 150 W güçlerde gerçekleşen kurutma işlemi süreleri sırasıyla 165, 105 ve 75 dakika, 75 mbar sabit mutlak basınç altında aynı güçlerde sırasıyla 50, 120 ve 75 dakika ve 110 mbar sabit mutlak basınç altında yine aynı güçlerde sırasıyla 195, 135 ve 75 dakikadır. Sonuçlar, sabit basınç seviyesinde, kütle transferinin (nem kaybı) daha yüksek mikrodalga güç seviyesinde daha hızlı meydana geldiğini göstermiştir. Çünkü daha yüksek mikrodalga güç ile numune içinde daha fazla ısı üretilmesi, merkez ile ürün yüzeyi arasında daha büyük bir buhar basınç farkı yaratmış ve böylece iç nem göçünü hızlandırdı ve yüzey suyunun buharlaşmasını arttırmıştır [205].

Sabit mikrodalga güçte farklı mutlak basınç değerleri altında kurutulmuş kuşburnu örneklerin kuruma eğrileri Şekil 2.a, b, c verilmiştir. Bu eğriler aynı mikrodalga güçte kuruma süresinin bir fonksiyonu olarak nem oranının (NO) üzerindeki basıncın etkisini göstermektedir. Kuruma süresi, kuşburnu örneğine uygulanan mikrodalga gücün yanı sıra mutlak basınç ile alakalı olduğu görülmüştür. Örneğin, 50 ve 100 W sabit güçlerde, düşük mutlak basınçta kısa kuruma süresi, yüksek mutlak basınçta uzun kuruma süresi gözlenmiştir. Düşük basınç (mutlak basınç) suyun kaynama noktasını düşürür. Dolayısıyla mutlak basınç seviyesindeki azalış kuşburnu içeriğindeki suyun kaynama noktasını düşürür. Daha düşük bir mutlak basınç derecesi (seviyesi), kütle transferi için itici gücü arttırmış ve suyun örnekten buharlaşmasını ve uçurulmasını kolaylaştırmıştır ve böylece kuruma süresini kısaltmıştır [206]. Fakat mutlak basıncın, kuruma süresi üzerindeki etkisi, mikrodalga gücündeki kadar önemli olmadığı sonucuna varılmıştır. Bununla birlikte en yüksek güçte (150 W) mutlak basıncın kuruma süresi üzerinde bir etkisi olmadığı, bütün mutlak basınçlarda (40, 75 ve 110 mbar) aynı sürede kuruma gerçekleştiği gözlenmiştir.

Sonuç olarak, mikrodalga-vakum yönteminde yüksek mikrodalga güç ve düşük vakum basıncı kullanılması kuşburnu örneklerinin daha kısa sürede ve etkili kurutulmasını sağlanabilmiştir.



Şekil 3.14. Kuşburnu örneklerinin sabit mutlak basınçtaki kuruma eğrileri a:40 mbar b:75 mbar c:110 mbar.



Şekil 3.15. Kuşburnu örneklerinin sabit güçte kuruma eğrileri a:50 W, b:100 W ve c:150 W.

Uygulanan mikrodalga gücün ve mutlak vakum basıncın kuruma hızı üzerindeki etkisi tüm koşullar için Şekil 3.16 ve Şekil 3.17'te verilmiştir. Genel olarak, kurutma işlemi sırasında iki kuruma periyodu bulunur. Başlangıçta (ilk olarak), ürünün yüzeyi suyla doyurulduğunda sabit hız periyodu oluşur. Bu nedenle, ıslak yüzeydeki nem içeriği sabit bir oranda buharlaşır. Daha sonra, gıdadaki nem içeriği artık tüm yüzeyi doyurmaya yetmiyorsa, kurutma hızı kademeli olarak azalır. Bu aşamada, düşme hız periyodu meydana gelir [207]. Bu çalışmada, mikrodalga-vakum ile kurutulmuş tüm çalışma koşullarında sabit hız periyodu saptanmamıştır. Tüm kuruma işlemi azalan hız periyodunda gerçekleşmiştir. Benzer sonuçlar Tian vd. [206] ve Giri vd. [202] tarafından da gözlemlenmiştir.

Sabit mutlak basınç altında farklı güçlerde kurutulmuş kuşburnu örneklerinin kuruma hızı eğrileri Şekil 3.16a, b, c'de verilmiştir. Mikrodalga gücünün kuruma hızı üzerindeki etkisi, Şekil 3.16'de gösterilmektedir. Başlangıçta yaklaşık aynı nem içeriğine sahip örneklerde, daha yüksek mikrodalga güçte daha yüksek kuruma hızları elde edilmiştir. Her mikrodalga güçte kurutma işleminin başlangıcında, kurutma hızları daha yüksek olduğu görülmüştür. Şekilden görülebilir ki, nemin daha yüksek olması durumunda mikrodalga gücün kurutma hızı üzerindeki etkisinin belirgin şekilde daha yüksek olduğu görülmüştür. Kurutma hızının, incelenen her mikrodalga güçte nem içeriğindeki düşüş ile azaldığı görülmüştür. Yüksek nem içeriğinden dolayı kurutma başladığında yiyecekler daha fazla mikrodalga enerjisi emer [206]. Materyal tarafından emilen mikrodalga enerjisinin miktarı dielektrik özelliklerine ve elektrik alan kuvvetine bağlıdır. Dielektrik sabiti ve kayıp faktörlerinin değerleri, malzemenin daha yüksek nem içeriğinde daha yüksek olduğu için, açık bir şekilde materyal daha fazla mikrodalga gücü emmekte ve ısıtma, yüksek nem içeriğinde daha hızlı olmaktadır. Kurutma ilerledikçe, üründeki nem kaybı, mikrodalga gücünün emilimini azaltır ve kurutma işleminin sonraki bölümlerinde kuruma hızında bir düşüşe neden olur [202]. Ayrıca düşük nem içeriğinde, kurutma hızlarında farklı güç seviyeleri arasında bir fark yoktur; bu, materyalde düşük su içeriğindeki kütle transferine karşı iç direncin önemini göstermiştir.

Sabit mikrodalga güçte farklı mutlak basınç değerleri altında kurutulmuş kuşburnu örneklerinin kuruma hızı eğrileri Şekil 3.17a, b, c verilmiştir. Bu eğriler aynı mikrodalga güçte, kuruma süresinin bir fonksiyonu olarak kuruma hızının üzerindeki basıncın etkisini göstermektedir. Mikrodalga güç sabit tutulduğunda bütün güçlerde daha düşük mutlak basınçta daha yüksek kuruma hızı saptanmıştır. Bununla birlikte, mutlak basıncın kuruma hızı üzerindeki etkisi mikrodalga gücü kadar yüksek olmadığı görülmüştür. Vakum derecesinde bir artış (mutlak basınç değerinde azalma), kuşburnu tanelerinin içerisindeki suyun kaynama noktasını düşürür. Daha yüksek bir vakum derecesi (daha düşük mutlak basınç değerleri), kütle transferi için itici gücü artırır ve suyun materyalden buharlaşmasını kolaylaştırır. Dolayısıyla, daha hızlı kuruma meydana gelmiştir [206]. Dolayısıyla daha yüksek vakum basıncı değerlerinde (daha düşük

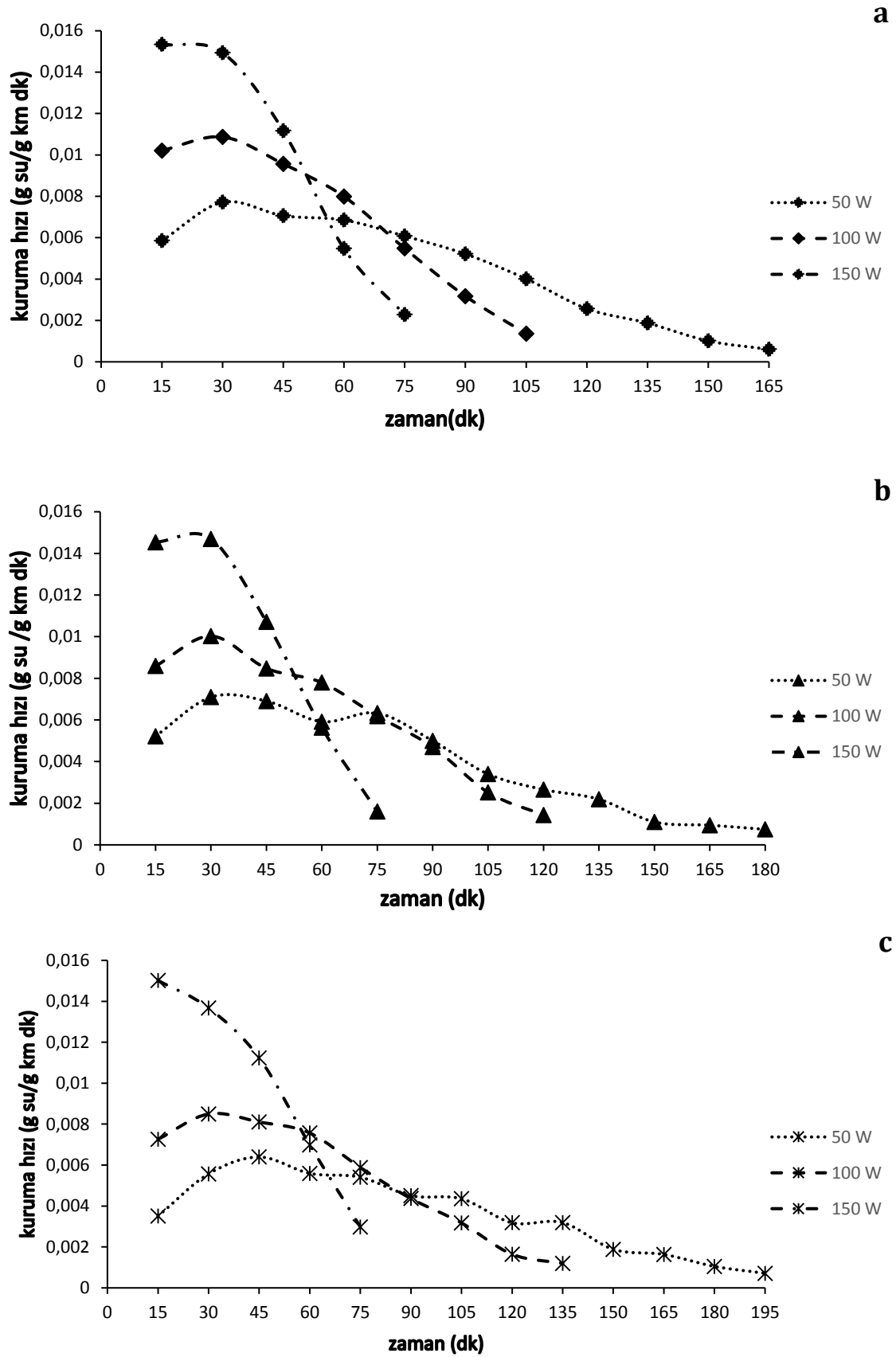
mutlak basınçta) daha yüksek kuruma hızı elde edilebilir. Fakat 150 W güçte basıncın kuruma hızı üzerinde kayda değer bir etkisi olmadığı saptanmıştır.

Kantrong vd. [205], mikrodalga vakum kurutmanın, 18,66, 29,32, 39,99 ve 50,65 kPa mutlak basınçları altında 56, 143, 209 ve 267 W mikrodalga güçlerde, shiitake mantarlarının kuruma özelliklerine etkileri incelemiştir. Çalışmamıza benzer sonuçlar rapor edilmiştir. Sabit basınç altında, MW güç seviyesi yükseldikçe kuruma süresinin azaldığı sabit güçte basınç düştükçe kurutma süresinin azaldığını bildirmişlerdir. Kurutma hızının daha düşük mutlak basınç, daha yüksek mikrodalga gücü ile arttığı bulunmuştur.

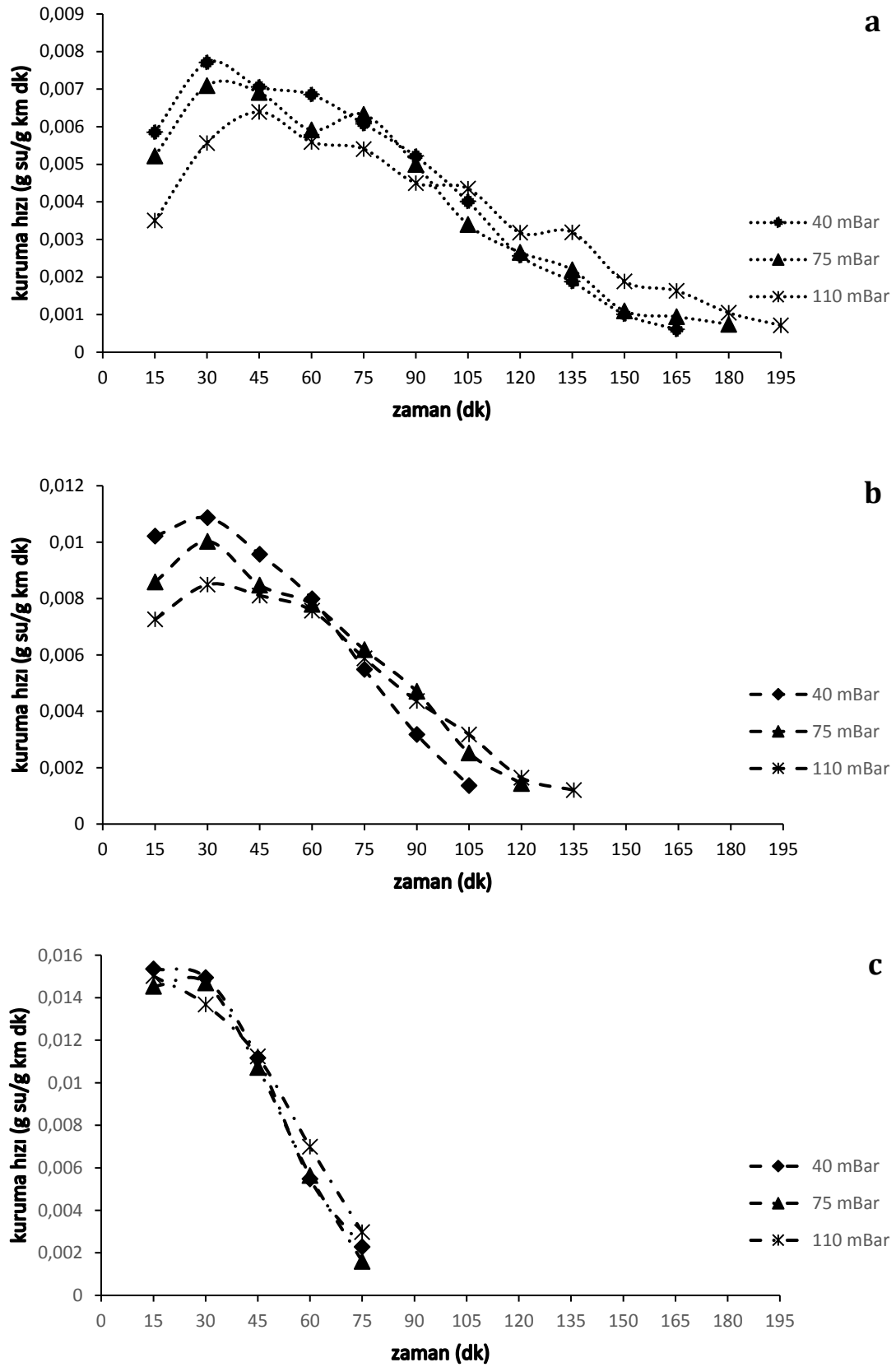
Abano vd. [208], 200, 300, 500 ve 700 W güçlerde ve 0.04, 0.05 ve 0.06 MPa'lık vakum basınçlarda çalıştırılan mikrodalga vakum kurutma sisteminin, domates örneklerinin kuruma özelliklerine etkisi incelemiştir. 0.05 MPa sabit bir vakum basıncı altında mikrodalga gücü 200'den 700 W'a yükselirken kurutma hızlarının arttığını ve kurutma süresinin 84 dakikadan 14 dakikaya düştüğünü bildirmişlerdir. 200 W sabit mikrodalga güçte 0.04' en 0.06 MPa'a vakum basıncını artması kuruma hızını arttırmıştır. Bununla birlikte, mikrodalga gücünün kuruma süresi ve hızı üzerindeki etkisi vakum basıncından daha yüksek saptandığını bildirmişlerdir.

Giri vd. [202], mikrodalga gücü ve sistem basıncı kurutma parametrelerinin Düğme mantarın (*Agaricus bisporus*) kurutma kinetiği üzerine etkisini araştırmışlardır. Mikrodalga-vakum kurutma sistemi, 115 ila 285 W mikrodalga güç aralığında ve 6.5 ila 23.5 kPa basınç aralığında çalışılmıştır. %92 başlangıç nem muhtevasına sahip düğme mantarı, sırasıyla 115, 200 ve 285 W mikrodalga güç seviyesinde, 15 kPa basınçta 45, 30 ve 20 dakika içinde %6'lık bir nihai nem içeriğine kurutulmuştur. Mikrodalga gücü seviyesi sabit kaldığında ise, daha yüksek vakum seviyesindeki kurutma hızı biraz daha yüksek olduğunu saptamışlardır. Fakat, bizim yaptığımız çalışmaya benzer şekilde sistem basıncının kuruma süresi üzerindeki etkisi, mikrodalga gücündeki kadar önemli olmadığını vurgulamışlardır. 200 W mikrodalga gücü 23.5, 15 ve 6.5 kPa vakum seviyelerinde kuruma süresi sırası ile 30, 30 ve 35 dakika olduğunu bildirmişler. Ayrıca yine çalışmamıza benzer olarak kurutma koşullarının hiçbirinde kurutmanın sabit hız periyodu gözlenmediğini bildirmişlerdir. Mikrodalga-vakumlu kurutmanın kurutma hızını geleneksel yöntemle karşılaştırmak için farklı hava sıcaklıklarında (50, 60 ve 70 C) konvektif havayla kurutma yapıldı. Mikrodalga-vakumlu kurutma, kuruma süresinde %70-90 oranında azaldığını saptamışlardır.

Dong vd. [209], -0.085 mPa mutlak basınçta 0.3 kW, 0.5 kW, 1.0 kW, 1.5 kW ve 2.0 kW mikrodalga güç ayarında MVD kullanılarak ortalama başlangıç nem içeriği 1.18 g/g kuru madde olan yeşil kahve çekirdekleri nihai nem içeriği 0.11 (g/g kuru madde) ulaşana kadar kurutulmuştur. 0.3 kW işleminde gereken kurutma süresi 280 dakika olup bu süre artan güçle azaldığını bildirmiştir.



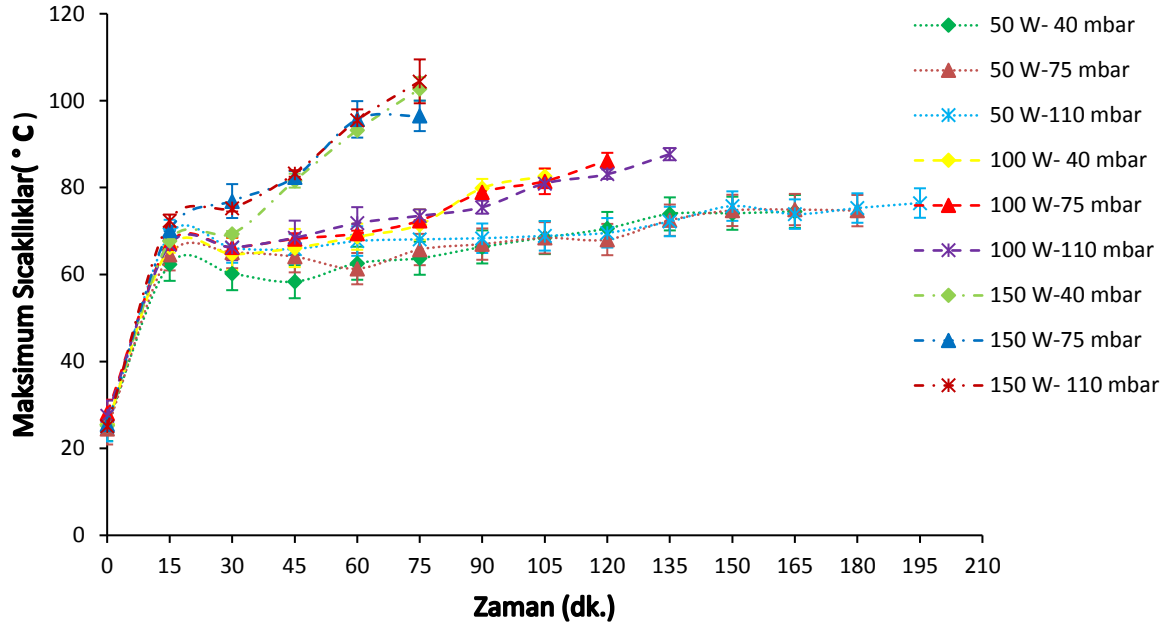
Şekil 3.16. Kuşburnu örneğinin sabit mutlak basınçta kuruma hızı eğrileri a:40 mbar, b:75mbar, c:110 mbar



Şekil 3.17. Kuşburnu örneğinin sabit güçte kuruma hızı eğrileri a:50 W, b:100 W ve c:150 W.

## 4.2. Sıcaklık Profili

Mikroalga-vakum uygulamasında kurutma sırasında sıcaklık ölçümünün yapılması güçtür. Bu nedenle, kurutma sırasında 15 dakika aralıklarla mikrodalga gücü kesilerek (MV kurutucudan çıkarıldıktan hemen sonra) tek tabaka halinde yerleştirilen kuşburnunun yüzey sıcaklığı termal kamera ile ölçülmüştür (Şekil 4.2 'de termal kamera görüntüleri). Ölçülen örneklerin maksimum yüzey sıcaklık değerleri kaydedilmiştir. Bu şekilde ölçülen sıcaklığın, kurutma işlemi sırasında ortaya çıkan örneklerin iç sıcaklık değişimlerinin gözlenmesinde yardımcı olabileceği varsayılabilir. Bununla birlikte, mikrodalga-vakum kurutma haznesinde (odasında) bir fiber optik termometre kullanılarak örneklerin sıcaklığının doğrudan ölçülmesi, işlemde kullanılan kurutucuya ilişkin teknik zorluklar nedeniyle mümkün olmamıştır.



**Şekil 3.18** Mikroalga-vakum kurutma sisteminde kuşburnunun maksimum yüzey sıcaklık-zaman grafiği

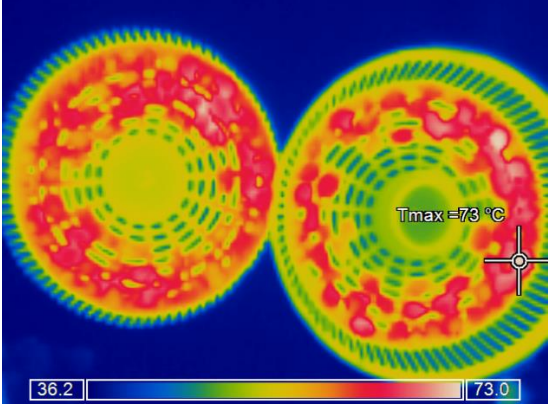
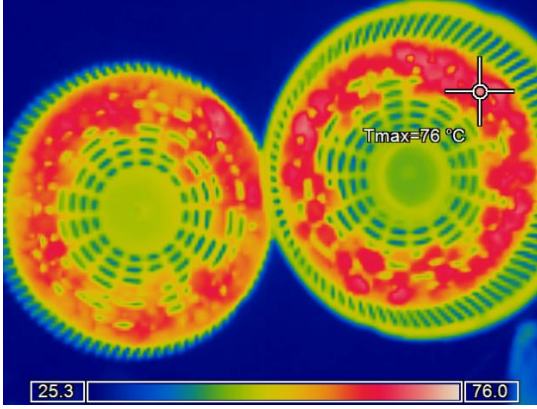
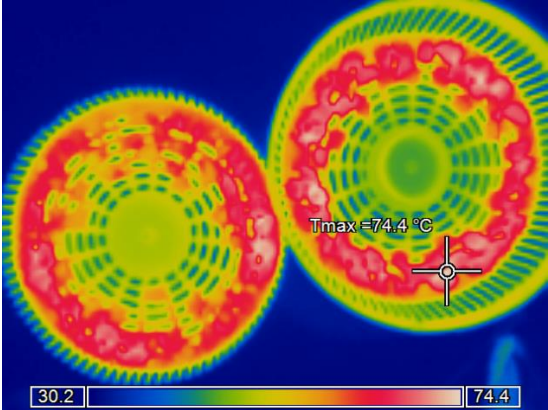
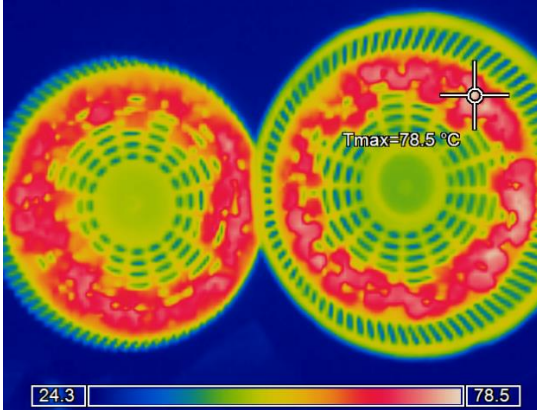
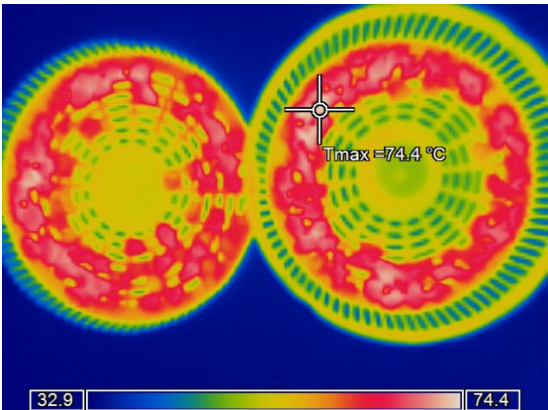
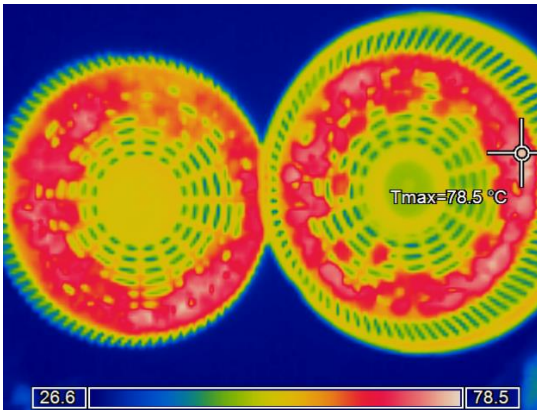
Kuşburnunun mikrodalga vakum kurutma yöntemi ile farklı parametrelerde kurutulmasında elde edilen sıcaklık profili Şekil 3.18'de verilmiştir. İncelenen sıcaklık profilinde, ilk 15 dakikada sıcaklık artışının yüksek olduğu gözlenmiştir. Fakat bu süreden sonraki sıcaklık artışları daha düşüktür. Zamanla azalan sıcaklık artışı, azalan nem içeriğine bağlanabilir. İlk 15 dakika sonunda örneklerin 62-72°C aralığında değişen birbirine yakın sıcaklık değerleri almıştır. Bu süreden sonra güç değişkeninin önemli bir etkisi ile daha yüksek güçte daha yüksek sıcaklık



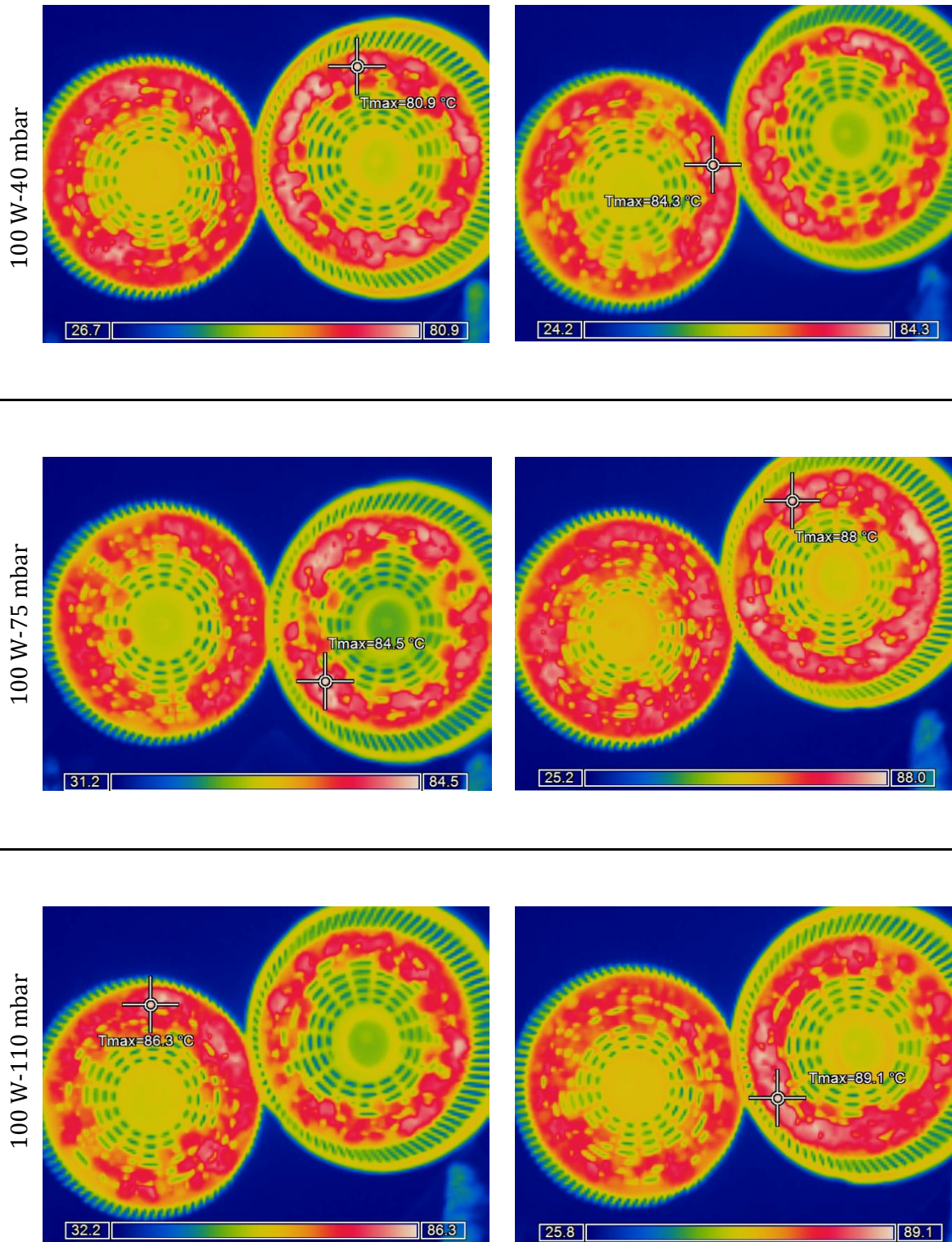
değerleri almıştır. Fakat aynı güçlerde değişen mutlak basınç değerlerine rağmen keskin bir sıcaklık farkı olmamıştır. Bunun, seçilen mutlak basınç değerlerinin birbirine yakın olmasından dolayı olabileceği düşünülmektedir. Zamana bağlı olarak azalan nem içerinden dolayı materyalin özgül ısı azaldığından zamanla sıcaklık artmaktadır [211]. Yüksek güçlerde kuruma daha hızlı gerçekleştiği için iletken ısı transferinde yer alan materyalin özgül ısı daha hızlı bir şekilde düşecektir. Bundan dolayı yüksek güçlerde sıcaklık artışları daha hızlı olacaktır.

Mikrodalga vakum uygulaması ile vişnelerin kurutulduğu bir çalışmada benzer bir şekilde örneklerin sıcaklıkları kurutucudan çıkarıldıktan hemen sonra termal kamera ile ölçülüp maksimum değerleri kaydedilmiştir. 4-6 kPa basınç altında Vakum-mikrodalga kurutmada, ilk mikrodalga gücü sırasıyla 240 W ve 360 W olarak ayarlandı. Örnekler 1 kg/kg kuru nem içeriğine ulaşmadan önce, mikrodalga gücü sırasıyla 240 W ve 120 W'a düşürülerek iki adımda kurutma işlemi gerçekleştirilmiştir. 240/240, 240/120, 360/240 ve 360/120 W olmak üzere iki adımda gerçekleştirilen kurutma işleminin sonunda termal kamera ile ölçülen maksimum sıcaklık değerleri sırası ile 87.47, 62.30, 77.08 ve 64.45 °C olarak kaydedilmiştir [210]. Üç vakum seviyesinde (30, 50 ve 101 kPa) mikrodalga (168 W) ile kurutma işlemi yapılan bir çalışmada, dilimlenmiş muz örneklerin ortama sıcaklıkları Termokupllar (geleneksel K-tipi ısı çiftleri) vasıtasıyla ölçülmüştür. 30, 50 ve 101 kPa vakum seviyelerinde yapılan kurutma işlemlerinin sonunda sıcaklık değerleri sırası ile 60-70, 85-90 ve 125-130 °C arasında olduğu bulunmuştur [212]. Yine başka bir çalışmada, taze yaban mersinini, kurutma odasının 6 rpm'de dönen bir mikrodalga vakum (4-6 kPa-195 W) uygulamasında kurutmuşlardır. Kurutulan örneklerin sıcaklığı bir pirometre ile ölçülmüştür. Kurutma işleminin ilk 35 dakika boyunca yaklaşık 45 °C'de sabit kaldığı ve kurutma işleminin sonuna doğru kademeli olarak 90 °C'ye kadar yükseldiğini bildirmişlerdir [175]. Sunjka vd. [213], yapmış olduğu çalışmada ise 3.4 kPa mutlak basınçta altında mikrodalga-vakum (1,00 ve 1,25 W/g) uygulamasında nem içeriği %15'e (ıslak bazda) ulaşana kadar kurutulan kıvılcık meyvesinin sıcaklık değerleri, meyve parçasına yerleştirilmiş optik fiber termometresi ile kaydedilmiştir. Kurutma sırasında sıcaklığın 80 °C değerine yükseldiği ve nem içeriği azaldıkça numunenin sıcaklığı stabilize olduğu saptamışlardır.

**Tablo 4.2.** Kurutma işlemi sonunda kuşburnu örneklerin yüzey sıcaklık dağılımları

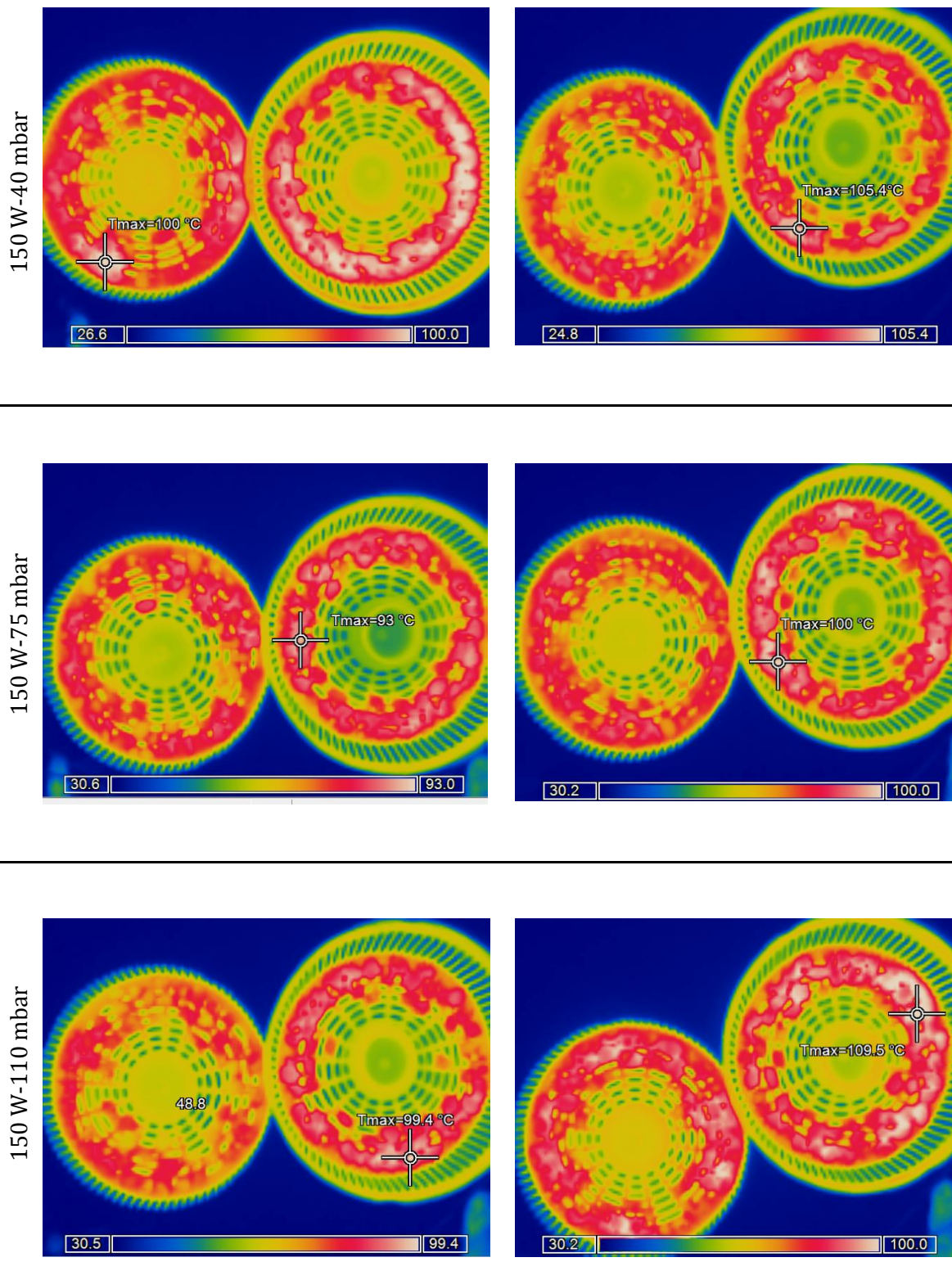
	1. TEKRAR KURUTMA SICAKLIK GÖRÜNTÜLERİ	2. TEKRAR KURUTMA SICAKLIK GÖRÜNTÜLERİ
50 W-40 mbar		
50 W-75 mbar		
50 W-110 mbar		

**Tablo 4.2.**'nin devamı.





**Tablo 4.2.**'nin devamı.



### 4.3. Toplam Fenolik Madde İçeriği

Taze (işlem görmemiş) ve farklı kurutma uygulamalarıyla kurutulmuş kuşburnu örneklerinden elde edilen ekstraktların ortalama toplam fenolik bileşik miktarına ait sonuçları kuru madde (KM) üzerinden gallik asit eşdeğeri (GAE) cinsinden Tablo 4.3'te verilmiştir. Ayrıca, Tabloda 4.3'de, örneklerin toplam fenolik bileşik miktarlarının tek yönlü varyans analiz sonuçları yer almaktadır.

Analiz edilen taze kuşburnunun toplam fenolik bileşik içeriği en düşük miktarda olup  $38.72 \pm 0.75$  mg GAE g<sup>-1</sup> KM olarak bulunmuştur. Taze kuşburnunun farklı kurutma uygulamaları ile kurutulması sonucunda elde edilen kurutulmuş örneklerin toplam fenolik bileşik içeriği  $43.09 \pm 0.66$ -  $50.47 \pm 0.61$  mg GAE g<sup>-1</sup> KM aralığında bulunmuştur.

Joblonska-Rys vd. [70] yabani olarak yetişen kuşburnu (*Rosa canina* L.) meyvesinde  $32.17$  mg GAE gr<sup>-1</sup> (yaş ağırlık), Murathan vd. [65] Türkiye'nin Doğu Anadolu Bölgesi'nde yetişen dört farklı kuşburnu türünde (*Rosa* L.)  $10.81$ - $62.98$  mg GAE g<sup>-1</sup> aralığında ve Demir vd. [23] Gümüşhane'de toplanan beş farklı kuşburnu (*Rosa* L.) türünde  $52.94$ - $31.08$  mg GAE g<sup>-1</sup> (kuru madde) aralığında toplam fenolik bileşik içerdiğini saptamışlardır. Taze örnekler ile yapılan araştırmalarda elde edilen bulgular ile bu çalışmada açığa çıkan sonuçlar benzerlik göstermiştir. Ayrıca diğer çeşitli araştırmacılar, olgun kuşburnunun toplam fenolik bileşik miktarını  $1.76$ - $96$  mg GAE g<sup>-1</sup> gibi geniş aralıkta olduğunu belirtmişlerdir [69, 214, 215]. Bu kadar geniş aralıkta toplam fenolik bileşik içeriğinin farklılık göstermesi; farklı ekstraksiyon tekniklerine, kuşburnu türlerine, olgunlaşma aşamalarına, çevresel koşullara, hasat mevsimine, rakıma (yükselti) ve genetik varyasyona bağlı olarak önemli ölçüde değiştiği bildirilmiştir [23, 65].

Yapmış olduğumuz bu çalışmada, farklı uygulamalar ile kurutulmuş örneklerin toplam fenolik bileşik miktarı, taze örnek içeriğine göre daha yüksek miktarda bulunması ile birlikte en yüksek fenolik içerik mikrodalga-vakum (MV) ile kurutulmuş örneklerde, daha sonra dondurarak kurutulmuş örneklerde ve en düşük sıcak hava (SH) ile kurutulmuş örneklerde olduğu bulunmuştur.

Gıda işlemlerinin, hücresel bileşenlerin parçalaması sırasında bağlı fenolik bileşiklerin salınımını hızlandırabileceği varsayılmaktadır [216]. Choi vd. [217] ve Jeong vd. [218], ısı işlemin hücre çeperini bozabileceğini ve fenolik bileşikleri bitkinin çözünmeyen kısmından kurtaracağını bildirmişlerdir. Toplam fenolikteki artış, muhtemelen, kurutma işlemi sırasında matrinden fenolik bileşiklerin serbest kalmasından kaynaklanmıştır [219, 220]. TFM, kurutma sırasında meydana gelen enzimatik süreçlerden de etkilenebileceği bildirilmiştir. Polifenol oksidazlar gibi degradatif enzimleri derhal devre dışı bırakılmaması bitki materyali tamamen kurumadan fenolik bileşikleri bozabileceği ve düşük toplam fenolik içeriğine sahip olmasına neden olabileceği bildirilmiştir [221]. Her ne kadar, hücre duvarlarının (çeperi) bozulması, meyvelerdeki antioksidanları (yok

edecek) tahrip edecek olan oksidatif ve hidrolitik enzimlerin salınmasını da tetikleyebilse de yüksek sıcaklıkta işlenmesi bu enzimleri etkisiz hale getireceği bildirilmiştir [216]. MV ile ilgili olarak, mikrodalgadan üretilen ısı, konvansiyonel ısıtmaya göre enerji daha verimlidir ve bozunma enzimlerini sıcak hava ısıtmasından daha hızlı inaktive edebilir [221].

Mikrodalgada-vakum kurutulmuş bitkilerin en yüksek fenolik bileşik içeriği; mikrodalgalardan elde edilen yoğun ısı, bitki dokusu içinde yüksek buhar basıncı ve sıcaklık oluşturarak bitki hücre duvarı (çeper) polimerlerinin daha iyi parçalanmasına yol açmıştır. Bununla birlikte fenolik bileşikler bozan enzimlerin hızlı (kısa sürede) inaktivite etmesi TFM yüksek çıkmasını açıklanabilir. Sonuç olarak, tahrip olan hücre duvarı fenolikleri veya bağlı fenolikleri serbest bırakılabilir ve fenolik bileşiklerin açığa çıkmasına neden olabilir. Dolayısıyla daha fazla fenolik bileşikler ekstrakte edilebilir [187]. Bununla birlikte Mikrodalga alanını yoğunluğunun artması ile bitki dokusunun daha çok bozmakta (tahrip olması) ve daha fazla fenolik bileşikler serbest kalmaktadır. Ayrıca lif matrisin yapısını daha büyük ve gevşek hale gelir ve daha sonra çözücü ile ekstraksiyonu daha kolay hale gelir dolayısı ile TFM artış göstermiştir [222]. Sıcak hava ile kurutulan kuşburnu örneklerinin TFM miktarının daha düşük olması hücre duvarı (çeperi) polimerlerinin daha az bozulmasına (fazla tahrip olmamasına) atfedilebilir. Sıcak hava ile 60°C'de kurutulan örneklerden elde edilen TFM miktarının 70 ve 80°C'de elde edilen miktarlara göre daha düşük olduğu fakat istatistiksel olarak bir farklılık göstermediğini ifade edilmiştir [187]. Dondurarak kurutmada da kurutma sırasında doku matrisi içinde oluşan buz kristalleri, hücre yapısını parçalanmasına neden olduğu bildirilmiş. Bu da çözücünün daha iyi erişmesini sağlayarak yüksek ekstraksiyon etkinliğine yol açabileceği, dolayısıyla dondurarak kurutulmuş örnek ekstraktlarında TFM daha yüksek olabileceği bildirilmiştir [223].

Tek yönlü varyans analiz sonuçlarına göre toplam fenolik bileşik miktarı kurutma yöntemlerine bağlı olarak farklılık göstermiş ve bu farklılık istatistiksel olarak önemli düzeyde etkili olduğu tespit edilmiştir ( $p < 0.05$ ). Ayrıca taze (kontrol) ile kurutulmuş örneklerin ortalamaları arasında da istatistiksel olarak önemli farklılık tespit edilmiştir ( $p < 0.05$ ). Dondurarak kurutma yöntemi ile kurutulmuş örneklerin ortalama toplam fenolik bileşik miktarı ile 50 W-40 mbar ve 50 W-110 mbar mikrodalga-vakum koşullarında kurutulmuş örneklerin ortalama toplam fenolik bileşik miktarı arasında istatistiksel olarak önemli bir farklılık yoktur ( $p < 0.05$ ). Yani toplam fenolik bileşik miktarı bakımından benzerlik gösterdiği saptanmıştır.

Mikrodalga vakum tekniği ile kurutulmuş örneklerin toplam fenolik madde miktarları 43.86-50.28 mg GAE/g KM aralığında olduğu bulunmuştur. Tablo 4.3'de görülmek üzere (incelendiğinde) mikrodalga gücü arttıkça TFM'nın da arttığı görülmüştür. Ayrıca her mikrodalga güçte en yüksek TFM, 75 mbar mutlak basınç altında kurutulmuş örneklerin sahip olması ile birlikte mikrodalga vakum tekniğinde en yüksek 150 W - 75 mbar koşulunda kurutulmuş örnekte saptanmıştır.

100 ve 150 W mikrodalga güçlerde, farklı mutlak basınçlar (40, 75 ve 110 mbar) altında kurutulmuş örneklerin ortalama toplam fenolik madde miktarları arasındaki fark istatistiksel olarak anlamlı değildir (fark yoktur) ( $p < 0.05$ ). Ayrıca 50 W mikrodalga gücünde 40 ve 110 mbar mutlak basınç altında kurutulmuş örneklerin de toplam fenolik madde miktarları arasındaki fark istatistiksel olarak anlamlı bulunmamıştır ( $p < 0.05$ ). Fakat bu mutlak basınçlarda ve güçte kurutulmuş örnekler ile diğer mutlak basınç ve mikrodalga güçlerde kurutulmuş örnekler arasında fark istatistiksel olarak anlamlı bulunmuştur ( $p < 0.05$ ).

**Tablo 4.3.** Taze kuşburnu ve farklı koşullarda kurutulmuş kuşburnu örneklerinin Toplam fenolik madde (TFM) içeriği

Örnek	Toplam Fenolik Madde içeriği GAE/g KM)
Taze kuşburnu	38.72 <sup>e</sup> ±0.75
Mikrodalga-vakum kurutma	
50 W- 40 mbar	44.51 <sup>c</sup> ±0.67
50 W- 75 mbar	47.77 <sup>b</sup> ±0.05
50 W- 110 mbar	43.86 <sup>c</sup> ±0.40
100 W- 40 mbar	48.69 <sup>ab</sup> ±0.26
100 W- 75 mbar	49.59 <sup>ab</sup> ±0.20
100 W- 110 mbar	49.00 <sup>ab</sup> ±0.56
150 W- 40 mbar	50.01 <sup>a</sup> ±0.31
150 W- 75 mbar	50.28 <sup>a</sup> ±4.48
150 W- 110 mbar	50.12 <sup>a</sup> ±1.10
Sıcak hava kurutma (60 °C-1.5 m/s)	40.62 <sup>d</sup> ±0.73
Dondurarak kurutma	43.09 <sup>c</sup> ±0.66

Aynı sütunda yer alan farklı harfler ile gösterilen örneklerin ortalamaları arasında istatistiksel açıdan fark olduğunu gösterir ( $p < 0.05$ ).

Çift yönlü varyans analiz (ANOVA) sonuçları; güç değişkeni TFM miktarı üzerinde anlamlı ve önemli bir etkiye sahip olduğunu gösterirken mutlak basınç ve güç\*mutlak basınç etkileşim değişkenleri anlamlı bir etkiye sahip olduğunu göstermektedir ( $p < 0.05$ ). Yani güç değişkeninin etkisinin diğer değişkenlerin etkisinden daha büyük olduğunu söyleyebiliriz. Aynı mutlak basınç koşullarında mikrodalga gücü arttıkça TFM miktarı artmıştır. Fakat aynı mikrodalga güçlerde mutlak basıncın artması veya azalmasında düzenli bir değişim söz konusu değildir (Aynı mikrodalga güçlerde de 110 mbar dışında mutlak basınç arttıkça artmıştır).

Yapmış olduğumuz çalışma, Inchuen vd. [187], Tay kırmızı köri tozunun 180 ila 540 W arasında artan mikrodalga gücünde artan TPC ile sonuçlandığını bildiren çalışma ile benzerlik göstermektedir. Ayrıca literatürde benzerlik gösteren birçok çalışma daha mevcuttur. Arslan vd. [219], soğan dilimlerini kurutma çalışmasında, kurutulmuş örneklerin tazeye göre daha çok miktarda fenolik içerdiği ifade edilmiştir. Mikrodalga fırının çıkış güç seviyeleri (210 ve 700 W) kurutulmuş numunelerin fenolik içeriğini önemli ölçüde etkilemediği fakat güneşte ve fırında (50

ve 70 °C) kurutulmuş örneklerle kıyasla daha yüksek içeriğe sahip olduğu saptamıştır. Ayrıca, en düşük fenolik madde içeriği güneşte kurutulmuş örneklerde bulunması ile birlikte 50 °C fırında kurutulmuş örneklerin fenolik içerikleri 70 °C 'de kurutulmuş örneklerle kıyasla daha düşük olduğunu bildirmişlerdir. Dong vd. [209] yeşil kahve çekirdeklerini, mikrodalga-vakum kurutma işlemi ile fenolik içeriğinin başlangıca göre %9.0 ile %107.0 arasında arttığını rapor etmişlerdir. Yüksek mikrodalga güç ayarlarında TPC'nin artış oranı da yüksek olduğu bulunmuştur. Ancak TPC, belli kurutma sürelerinden sonra kurutma devam ettikçe azaldı belirtilmiştir. Kurutma aşamasında en yüksek TPC içeriği sırasıyla 2.0 kW, 1.5 kW, 1.0 kW, 0,5 kW ve 0,3 kW'lık mikrodalga güç ayarlarında 10.0 dak, 30.0 dak, 60.0 dak, 100.0 dak ve 180.0 dak olarak gözlenmiştir. Yang vd. [161], yapmış olduğu bir araştırmada analiz edilen taze tatlı patateslerdeki fenolik içeriğini 28.4 GAE 100 g-1 bulmuşlardır. Kurutulduktan sonra fenolik bileşikler %116-225 oranında artmıştır. Mikrodalga ile kurutulmuş örnek, en yüksek fenolik içeriğe sahip olup taze numuneden 3 kat daha yüksek olduğunu bildirmişlerdir. Bununla birlikte, sıcak hava ile kurutulmuş örnek, mikrodalga ve dondurularak kurutulmuş numunelerden çok daha düşük fenolik bileşik içeriğine sahip olduğunu rapor etmişlerdir. Ayrıca çalışmada mikrodalga kurutma sıcaklığının (95-105 ° C) sıcak hava ile kurutulmasından (65 ° C) daha yüksek olduğunu ifade etmişlerdir. Hamrouni-Sellami vd. [222], yedi kurutma yöntemi ile kurutulmuş adaçayı (*Salvia officinalis* L.) bitkisinin metanolik ekstraktlarındaki toplam fenoliklerin kantitatif değerlendirmesi yapmışlardır. Taze adaçayının toplam fenolik içeriği (TPC) ile karşılaştırıldığında, en yüksek TPC 800 W / 30 ile mikrodalgada (MW) kurutulmuş adaçayından kaydedilmiş ve taze adaçayından 4.2 kat daha yüksek içeriğe sahip olduğu rapor edilmiştir. Ayrıca mikrodalga gücünü, 600 ve 800 W arasında arttırmak TPC'yi önemli ölçüde iyileştirdiği ifade etmişlerdir. Bu sonuçlar, fenolik içeriğini muhafaza etmek ve adaçayı bitkisinin antioksidan aktivitesini arttırmak için mikrodalga kurutmanın uygulanabileceğini göstermiştir. Papoutsis vd. [224], toz formuna kurutulmuş limon posasına mikrodalga ön işleminin toplam fenolik bileşikler üzerinde önemli bir etkisinin olduğunu bildirmişlerdir. 120-240-360-480 W güçlerde 2 dakika süreyle uyguladığı zaman, ışınlama gücü 120'den 480 W'ye yükseldiğinde toplam fenolik içerik iki kattan fazla artmıştır; fakat, ışınlama gücü 600 W'ye yükselmeye devam ettiği zaman toplam fenolik içeriği önemli ölçüde azalmıştır. 5 dakikalık ışınlama süresinde ise, ışınlama gücü 120'den 360 W yükseldiğinde toplam fenolik madde %60 artmıştır. Fakat, ışınlama gücü 360 W'i aştığında toplam fenolik madde önemli ölçüde düşmüştür. Ji vd. [221], *Robinia pseudoacacia* L. çiçeklerinde (RPF) farklı kurutma yöntemlerinin (Dondurarak kurutma, Mikrodalga-vakum kurutma, Sıcak hava kurutma ve Güneşte kurutma) fenolik içerikleri üzerindeki etkileri araştırmışlardır. Dondurarak kurutulmuş örneklerin en yüksek toplam fenolik içeriğine sahip bulunmuştur. Fakat mikrodalga vakum ile kurutulmuş örneklerinin fenolik içeriği dondurarak kurutulmuş örnekler



ile karşılaştırılabilir olduğunu ifade etmişlerdir. Sıcak hava ile kurutulmuş örneklerde ise daha düşük içerik gösterdiği sonucuna varmışlardır.

Yapmış olduğumuz ve yukarıda belirtilen araştırmalarda elde edilen benzer sonuçların aksine çalışmalar da mevcuttur. Chan ve vd. [225], dört farklı bitkinin yaprakları termal kurutma (mikrodalga fırın, fırın ve güneş kurutma) yöntemleri ile kurutulması sonucu TPC'de keskin düşüşler ile sonuçlandığını bildirmişlerdir. Durance vd. [226], Taze donmuş Haziran çileği (Saskatoon berries) meyvesinin dört farklı yöntem (dondurarak kurutma, sıcak hava ile kurutma, mikrodalga-vakum kurutma ve sıcak hava ile mikrodalga-vakum kombine kurutulması) ile kurutulması sonucu TFM'sinde önemli bir azalma meydana geldiğini bildirmiştir. Zielinska vd. [175], Yaban mersinin TFM içeriği sıcak hava konvektif kurutma, mikrodalga-vakum kurutma ve bunların kombinasyonu ile kurutulması sonucu azaldığını bildirmiştir. Hayat ve ark. [227] ayrıca, mikrodalga gücü 125 ila 500 W arasında yükseldiğinde mandalina kabuğunun toplam fenolik içeriğinin azaldığını bildirmişlerdir.

Mikrodalga kurutma ve mikrodalga vakum kurutma ile ilgili yapılan çalışmalarda, bitki materyaline bağlı olarak azalmadan TPC artışına kadar değişen farklı sonuçlar bulunmaktadır. Böylece, kurutma yöntemlerinin farklı materyallerde fenolik bileşikler üzerindeki etkisi aynı olmayabilir. Capecka vd. [228], kurutma işlemlerinin, bitki materyalinde bulunan fenolik bileşiklerin türüne ve bunların hücredeki yerlerine bağlı olarak yüksek veya düşük TFB içeriğine yol açabileceğini ortaya koymaktadır. Ayrıca, bitki türlerine bağlı olarak, fenolik bileşiklerin farklı bağlanma durumunun olmasından kaynaklı olabileceğini, bu nedenle farklı bitkilerden fenolik bileşikler serbest bırakmak için etkili işlem adımının aynı olmayabileceğini bildirmiştir [229]. Işınlama (mikrodalga) gücünün etkisi de materyal türlerine bağlıdır, çünkü fenolik bileşikler ve onların ısıya karşı stabiliteleri türlere bağlı olarak değişebildiğini rapor edilmiştir [224].

#### **4.4. Antioksidan Aktivite Tayini**

Bitki ekstraktlarının antioksidan aktivitesi, fitokimyasal ve oksidatif işlemlerin karmaşık bileşimi nedeniyle, sadece bir yöntem kullanılarak değerlendirilemeyeceği bildirilmiştir. Bu nedenle, toplam antioksidan aktivitesini değerlendirmek için en az iki yöntem tavsiye edilmiştir [230]. Bu çalışmada antioksidan aktiviteyi değerlendirmek için DPPH ve FRAP yöntemleri kullanılmıştır. Kontrol (Taze) ve farklı yöntem ve koşullarda kurutulmuş kuşburnu örneklerine ait antioksidan aktivite değerleri kuru madde (KM) üzerinden troloks eşdeğeri (TE) cinsinden Tablo 4.4'de verilmiştir. Ayrıca, Tablo 4.4'de antioksidan aktivite değerlerinin tek yönlü varyans analiz sonuçları yer almaktadır.

Çalışmamızda kullanılan taze kuşburnu örneğinin FRAP yöntemi ile antioksidan aktivite değeri  $294.58 \pm 4.60 \mu\text{mol TE g}^{-1} \text{ KM}$  olarak bulunmuştur. FRAP yöntemi ile yapılan çalışmalarda

İşlem görmemiş kuşburnu meyvesinde; Dolek vd. [231], 61.13-286.79  $\mu\text{mol TE g}^{-1}$  ve Şahin vd. [230], 150.79-364.12  $\mu\text{mol TE g}^{-1}$  aralığında antioksidan aktivite değerine sahip olduğunu bildirmişlerdir. Bu araştırmalarda elde edilen bulgular ile çalışmamızda kullanılan taze örneklerin antioksidan aktivitesi değerleri benzerlik göstermiştir. Ayrıca, diğer yazarlar; Mihaylova vd. [232], 367.4-771.9  $\mu\text{M TE g}^{-1}$ , Murathan vd. [65], 10.04-97.95  $\text{mmol TE g}^{-1}$  ve Yıldız vd. [233], 1.84  $\text{Mm TE g}^{-1}$  gibi farklı sonuçlar bildirmişlerdir. Çalışmamızda kullanılan taze kuşburnu örneğinin DPPH yöntemi ile antioksidan aktivite değeri 189.42  $\mu\text{mol TE g}^{-1}$  KM olarak bulunmuştur. Rodica vd. [234], DPPH yöntemi ile taze kuşburnun (*Rosa canina* L.) 99.3-363.64 42  $\mu\text{mol TE g}^{-1}$  (yaş ağırlıkta) aralığında antioksidan aktivite değerine sahip olduğunu saptamışlardır. Çalışmamızda açığa çıkan sonuç ile benzerlik göstermiştir. Ayrıca Denev vd. [235]. Rapor etmiş olduğu sonuca da (201.1  $\mu\text{mol TE g}^{-1}$ ) yakın antioksidan aktivite göstermiştir. Antioksidan aktivite değerlerinin değişkenlik göstermesi coğrafi bölgelerdeki farklılıklardan, cins, olgunlaşma derecesi, iklim koşulları ve ekstraksiyon yöntemlerindeki farklılıklar nedeniyle olabileceği bildirilmiştir [23].

Farklı yöntem ve koşullarda kurutulmuş örneklerin antioksidan aktivite değerleri FRAP yöntemi ile 256.39-348.10 $\pm$ 8.97  $\mu\text{mol Trolox g}^{-1}$  KM aralığında, DPPH yöntemi ile 167.61 $\pm$ 6.15-213.02 $\pm$ 4.69  $\mu\text{mol Trolox g}^{-1}$  KM aralığında olduğu bulunmuştur. Her iki yöntemle de sıcak hava ile kurutulmuş örnekler en düşük antioksidan aktivite değerine sahip olmuştur. Sıcak hava ile kurutulmuş örneklerin aksine mikrodalga vakum ve dondurarak kurutulmuş örneklerin antioksidan aktivite değerleri kontrol (taze) örneklere göre daha yüksek olduğu saptanmıştır. Farklı yöntemlerle kurutulmuş örneklerin antioksidan aktivite değerleri genel olarak en yüksekten en düşüğe doğru sırası ile mikrodalga vakum, dondurarak ve sıcak hava ile kurutulmuş örnekler olarak saptanmıştır.

Dondurarak kurutulmuş örneklerin kontrol örneğe göre daha yüksek antioksidan aktivite göstermesi, kurutma işlemi sırasında ısıya duyarlı bazı fitokimyasalları koruyan düşük sıcaklık kullanması ve aynı zamanda dondurarak kurutma, örnekte bulunan antioksidan bileşiklerin daha yüksek ekstraksiyon verimine yol açması olarak gösterilebileceğini bildirilmiştir. Çünkü donma sırasında bitki matrisi içinde buz kristallerinin gelişimi hücre yapısının daha fazla yırtılmasına (parçalanması) ve hücrel bileşenlerin çıkışına neden olduğunu; bu da hücrel matrise daha iyi çözücü sızmasına izin verdiğin ve sonuç olarak antioksidan bileşiklerin daha iyi ekstrakte etmesini sağladığından dolayı olduğu bildirilmiştir [236, 237].

Literatürde, ısıl işlemin gıdaların sindirilebilirliğini artırabildiği ve aktif maddelerin (antioksidan bileşiklerin) gıdalardan daha kolay çözünmesini ve salınmasını sağlayabildiği bildirilmiştir. Bununla birlikte, uzun süreli ısıl işlem aynı zamanda aktif maddelerin bozulma veya polimerizasyon dahil kimyasal reaksiyonlara girmesine neden olabilir ve böylece etkin konsantrasyonlarını azaltabilir [238]. Ayrıca sıcak hava ile kurutmada, antioksidan bileşiklerin

daha yüksek ekstraksiyon verimine yol açabilecek hücre yırtılmasının az veya hiç neden olmadığı ve buna ek olarak sıcak havaya uzun süre maruz kalmaları sırasında meydana gelen yoğun oksidasyondan antioksidan bileşiklerin kaybına neden olduğu bildirilmiştir. [236, 224]. Dolayısıyla sıcak hava ile kurutulmuş örneklerin en düşük antioksidan aktivite içeriği göstermesi bunlara bağlanabilir.

Mikroalg vakum ile kurutulmuş örnekler diğer örneklerden (kontrol, dondurarak kurutulmuş ve sıcak hava ile kurutulmuş örnekler) daha yüksek antioksidan aktivite değerlerine sahip olmuştur. Mikroalg-vakum kurutulmuş ekstraktlarda en yüksek antioksidan aktivite değerleri göstermesi, kurutma ortamında düşük hava basıncı (yüksek mutlak basıncı) nedeni ile oksidasyon etkisini sınırlandırılması ve düşük hava basıncında ısıya kısa süre maruz kalmasından dolayı olmuş olabilir. Çünkü uzun süreli kuruma süresi, numunelerin uçucu bileşiklerini çıkarılmasını kolaylaştırabilir ve bazı antioksidan bileşiklerin yüksek kayıplarına neden olabilir [210, 237]. Mikroalg-vakum kurutmanın ardından numunelerdeki polifenoloksidaz (PPO) aktivitesinin hızlı bir şekilde inaktivasyonun (etkisizleştirilmesi) olması olabilir. Çünkü enzim, antioksidan aktivitelerini azaltacak oksidasyon ürünleri üretmez. Ayrıca mikroalg-vakum ile kurutulmuş ekstraktlarda bulunan öncülerden ilave (ek) fenolik bileşiklerin üretimi olabilir [237]. Mikroalg-vakum ile ısıtma PPO aktivitesinin hızlı bir şekilde etkisiz hale getirmesi [237], ısı işlemin örnek matrisindeki antioksidan bileşiklerin veya bağlı fenolik bileşiklerin serbest bırakılması ile çözülmüş antioksidan bileşik miktarının artması [239, 240] ve antioksidan aktiviteye (özelliklerine) sahip olduğu maillard reaksiyon (enzimatik olmayan esmerleşme reaksiyonu) ürünleri gibi yeni bileşiklerin oluşması numunelerin antioksidan aktivitelerini arttırabilir [187, 237, 224, 241].

FRAP yöntem ile belirlenen örneklerin antioksidan aktivite değerleri, mikroalg-vakum yönteminde 304.22-348.10  $\mu\text{mol Trolox g}^{-1}$  KM aralığında saptanmıştır. Sabit mutlak basınçlarda 50 W 'tan 100 W'ta geçerken artma göstermiştir. Fakat 150 W güçte antioksidan aktivite değerlerinin azaldığı görülmüştür. Çift yönlü varyans analiz (ANOVA) sonuçları; güç değişkeni antioksidan aktivite değerleri üzerinde anlamlı ve önemli bir etkiye sahip olduğunu gösterirken mutlak basınç ve güç\*mutlak basınç etkileşim değişkenleri anlamlı bir etkiye sahip olduğunu göstermektedir ( $p<0.05$ ). Yani güç değişkeninin etkisinin diğer değişkenlerin etkisinden daha büyük olduğunu söyleyebiliriz.

DPPH yöntem ile belirlenen örneklerin antioksidan aktivite değerleri, mikroalg-vakum yönteminde 202.04-213.02  $\mu\text{mol Trolox g}^{-1}$  KM aralığında saptanmıştır. MV yöntemi ile kurutulmuş örneklerin antioksidan aktivite değerleri birbirine çok yakın olup istatistiksel açıdan aralarında anlamlı bir fark olmadığı saptanmıştır ( $p>0.05$ ). Çift yönlü varyans analiz (ANOVA) sonuçları; güç, mutlak basınç ve güç\*mutlak basınç etkileşim değişkenleri önemli bir etkiye sahip olduğunu göstermiştir ( $p<0.05$ ).

**Tablo 4.4.** Taze kuşburnu ve Farklı koşullarda kurutulmuş kuşburnu örneklerinin FRAP ve DPPH yöntemi ile antioksidan aktivite değerleri

	Antioksidan Aktivite ( $\mu\text{mol TE g}^{-1} \text{KM}$ )	
	FRAP	DPPH
Taze kuşburnu	294.58 <sup>d</sup> ±4.60	189.42 <sup>b</sup> ±6.02
Mikrodalga-vakum kurutma		
50 W-40 mbar	322.01 <sup>b</sup> ±19.14	202.04 <sup>a</sup> ±14.32
50 W-75 mbar	310.51 <sup>c</sup> ±3.84	202.98 <sup>a</sup> ±4.26
50 W-110 mbar	329.15 <sup>b</sup> ±4.13	202.16 <sup>a</sup> ±7.23
100 W-40 mbar	326.52 <sup>b</sup> ±9.06	211.48 <sup>a</sup> ±14.19
100 W-75 mbar	328.46 <sup>b</sup> ±9.55	206.90 <sup>a</sup> ±3.22
100 W-110 mbar	348.10 <sup>a</sup> ±8.97	209.92 <sup>a</sup> ±6.86
150 W-40 mbar	304.22 <sup>cd</sup> ±6.56	210.38 <sup>a</sup> ±6.37
150 W-75 mbar	306.41 <sup>cd</sup> ±4.13	211.94 <sup>a</sup> ±8.35
150 W-110 mbar	305.06 <sup>cd</sup> ±10.24	213.02 <sup>a</sup> ±4.69
Dondurarak kurutma	304.90 <sup>cd</sup> ±9.38	204.58 <sup>a</sup> ±6.02
Sıcak hava kurutma (60 °C 1.5m/s)	256.39 <sup>e</sup> ±10.44	167.61 <sup>c</sup> ±6.15

Aynı sütunda yer alan farklı harfler ile gösterilen örneklerin ortalamaları arasında istatistiksel açıdan fark olduğunu gösterir ( $p < 0.05$ ).

Isıl işlem yöntemlerinin lotus yapraklarının FRAP antioksidan kapasitesi üzerine etkileri araştırıldığı bir çalışmada, bulgularımıza benzer olarak sıcak hava kurutma işleminin antioksidan kapasitesini artırmadığını fakat mikrodalga vakum kurutma işleminin antioksidan kapasitesini önemli ölçüde arttığını bildirmişlerdir [238]. Zhao vd. [242], mikrodalga (136 W) ile kurutulmuş *hodomirtus tomentosa* meyvelerinin antioksidan aktivite değeri (FRAP) sıcak hava (70 °C) ile kurutulana göre önemli ölçüde yüksek bulduklarını bildirmişlerdir. Zielinska vd. [243], mikrodalga vakum ile kurutulmuş kızılçık meyvesinin (*Vaccinium macrocarpon*) antioksidan aktivite değerleri (FRAP değerleri), dondurarak kurutmaya kıyasla daha yüksek saptadıklarını bildirmişlerdir. Yine benzer bir çalışmada, Ji vd. [244], dilinenmiş beyaz düğme mantarlarını sıcak hava (60 °C-0,4 m/s), mikrodalga-vakumlu kurutma (1500 W-70 kPa vakum basıncı) ve dondurarak kurutma yöntemi ile kurutulmuşlardır. Mikrodalga-vakumlu ile kurutulmuş örnekler, DPPH radikal süpürme analizinde en yüksek antioksidan aktiviteye sahip olurken bunu dondurarak kurutulmuş örnekler takip ettiğini bildirmişlerdir. Bu yöntemler arasında sıcak hava (60 °C-0,4 m/s) kurutulmuş örnekler ise en düşük antioksidan aktivite gösterdiğini saptamışlardır. Jing vd. [163], mikrodalga (800 W), sıcak hava (65 °C) ve dondurarak kurutma yöntemleriyle kurutulan tatlı patateslerin taze numunelerden daha yüksek FRAP ve DPPH değerlerine sahip olduğunu, bununla birlikte mikrodalga ile kurutulmuş örneklerin en yüksek

antioksidan aktivite gösterdiğini rapor etmişlerdir. Sıcak hava ile kurutulmuş örnekler ise en düşük antioksidan aktivite gösterdiğini bildirmişlerdir.

Dong vd [245], yeşil kahve çekirdeklerini 0.085 mPa basınçta farklı mikrodalga güçlerde (0.3 kW, 0.5 kW, 1.0 kW, 1.5 kW ve 2.0 kW) kurutma işlemine tabi tutulduktan sonra antioksidan aktivite değerlerinin zamanla artma eğilimi gösterdiğini bildirmişlerdir. DPPH yöntemi ile analiz edilen kurutulmuş örneklerde en yüksek artış 1.0 kW güçte ve en düşük artış 0.3 kW güçte, FRAP yöntemi ile analiz edilen kurutulmuş örneklerde ise en yüksek artış 1.0 kW güçte ve en düşük artış 0.5 kW güçte olduğunu saptamışlardır. Fakat her iki analiz yöntemi sonucu uygulanan güç seviyelerine göre düzenli artış göstermediğini bildirmişlerdir. Bualuang vd. [239], mikrodalga (100, 300, 450 ve 700 W) ile kurutulmuş taze çimlenmiş mısırın kontrol örneğine göre DPPH radikal süpürme açısından daha yüksek olup diğer yöntemler arasında (güneşte ve gölgede kurutma) en yüksek antioksidan kapasite gösterdiğini bildirmişlerdir. Antioksidan kapasitesi 300 W 'a kadar artma eğilimi gösterdiğini, 450-700 W arasında ise azalma eğilimi gösterdiğini rapor etmişlerdir. Inchuen vd. [187], mikrodalga kurutma ve sıcak hava ile kurutulan kırmızı köri tozunun antioksidan aktivitelerini DPPH ve FRAP yöntemlerini kullanarak belirlemişlerdir. Mikrodalga kurutma, sıcak hava kurumasına kıyasla daha yüksek antioksidan aktivite değerleriyle sonuçlandığı saptamışlardır. Antioksidan aktivitelerin, mikrodalga çıkış gücüne bağlı olduğunu ve mikrodalga çıkış gücündeki artışla antioksidan aktivite değerlerinin arttığını saptamışlardır.

#### **4.5. Askorbik asit (C vitamini) İçeriği**

Askorbik asit (C vitamini), ısı, oksijen ve ışık bakımından nispeten kararsız olduğundan, dolayı bu parametrenin korunması, ürünlerin kalitesinin bir göstergesi olarak kullanılmaktadır [246]. Mikrodalga-vakum (MV) kurutma uygulamasını alternatif bir kurutma yöntemi olarak kaliteye (askorbik asit) etkisi incelenmiştir. Taze (kontrol), farklı kurutma yöntem ve farklı mikrodalga-vakum parametrelerinde kurutulmuş kuşburnu örneklerinden elde edilen ekstraktların ortalama askorbik asit (C vitamini) miktarlarına ait sonuçlar kuru madde (KM) üzerinden L-askorbik asit eşdeğeri (AA) cinsinden Tablo 4.5'te yer almaktadır. Ayrıca, Tabloda 4.5'te, kuşburnu örneklerin ortalama askorbik asit miktarlarının tek yönlü varyans analiz sonuçları yer almaktadır.

Analizde elde edilen taze kuşburnunun askorbik asit içeriği en yüksek miktarda olduğu saptandı ve 9.94 mg AA g<sup>-1</sup> KM (530.12 mg AA/100 g YB) olarak kaydedilmiştir. Farklı kurutma uygulama ve parametrelerde kurutulmuş örneklerin askorbik asit içeriği 4.84±0.35-9.60±0.25mg AA g<sup>-1</sup> KM aralığında olduğu bulunmuştur:

Jablonska-Ryś vd. [66], yabani olarak yetişen kuşburnunda (*Rosa canina* L.) 12.52 mg g<sup>-1</sup>; Erçişli vd. [72], Erzurum'da doğal olarak yetişen 4 farklı kuşburnu türünde (*R. canina*, *R. dumalis*, *R. pulverulanta* ve *R. montana*) 10.74-25.57 mg g<sup>-1</sup> aralığında; Kazankaya vd. [54], Adilcevaz yöresinde doğal olarak yetişen kuşburnunda (*Rosa spp*) 0.73-10.94 mg g<sup>-1</sup> aralığında; Ersoy vd. [55], Bolu'da doğal olarak büyüyen kuşburnunda (*Rosa spp*) 3.32-16.04 mg g<sup>-1</sup> aralığında; Erçişli vd. [247], dört farklı kuşburnu türünde (*Rosa pisiformis*, *Rosa canina*, *Rosa villosa* and *Rosa dumalis* subsp. *Antalyensis*) 6.81-8.4 mg g<sup>-1</sup> aralığında ve Güneş vd. [248], Tokat yöresinde doğal olarak yetişen kuşburnunda 2.83-11.73 mg g<sup>-1</sup> yaş ağırlık aralığında askorbik asit içerdiğini tespit etmişlerdir. Bu çalışmamızda kullandığımız taze kuşburnun C vitamini içeriği literatürde belirtilen aralıklarda olduğu saptanmıştır. Ayrıca bu kadar geniş aralıkta büyük değişiklik göstermesi kuşburnu türüne, yetiştiği bölgeye, iklim şartlarına, rakıma (Yükseklik ve ışıklanma artıkça C vitamini artar), olgunluk derecesine, yetiştirme pratiğine ve saklama koşullarına bağlı olarak farklı olmasından kaynaklı olduğu bildirilmiştir [39, 46, 56].

Taze kuşburnun farklı uygulamalar ile kurutulması sonucunda askorbik asit içeriklerinde kayıplar meydana gelmiştir. Askorbik asit içeriğinde en az kayıp, neredeyse tamamı korunan, dondurarak kurutulan (DK) örneklerde, en fazla kayıp ise sıcak hava (SH) ile kurutulan örneklerde meydana gelmiştir. MV kurutmada ise dondurarak kurutmaya kıyasla daha fazla askorbik asit kaybetmesine rağmen yüksek oranda korunmuştur. DK örneklerin askorbik asit içeriği başlangıçtaki taze örneklerle göre yaklaşık %96 korunurken MV yöntemi ile kurutulmuş örneklerde %74-89 aralığında korunmuştur. SH ile kurutulduğunda ise yaklaşık %48 oranında, önemli ölçüde daha düşük korunduğu gözlenmiştir.

Tek yönlü varyans analiz sonuçlarına göre taze (kontrol) ile dondurarak kurutulmuş örneklerin ortalama askorbik asit miktarları arasında istatistiksel olarak anlamlı bir farklılık bulunmayıp askorbik asit içeriği bakımından benzerlik göstermiştir ( $p>0.05$ ). Fakat farklı kurutma yöntemlerine bağlı olarak kurutulmuş örneklerin ortalama askorbik asit miktarları farklılık göstermiş ve aralarındaki fark istatistiksel olarak anlamlı bulunmuştur ( $p<0.05$ ).

MV tekniği ile kurutulmuş kuşburnunun askorbik asit miktarları 8.90-7.41 mg L-askorbik asit/g KM aralığında olduğu görülmektedir (Tablo 4.5). Çift yönlü varyans analiz (ANOVA) sonuçları dikkate alındığında askorbik asit miktarı üzerinde güç ve mutlak basınç değişkenin etkili olduğunu görülmektedir. Güç değişkeni anlamlı ve önemli bir etkiye sahip olduğunu gösterirken mutlak basınç değişkeninin anlamlı bir etkiye sahip olduğunu göstermektedir ( $p<0.05$ ). Diğer bir deyiş ile güç değişkenin askorbik asit içeriği üzerine etkisi, mutlak basınç değişkenin etkisinden daha büyük olduğunu söyleyebiliriz. Bu yöntemde en fazla askorbik asit miktarı en düşük güç ve mutlak basınç (50 W-40 mbar) koşullunda, en az ise en yüksek güç ve mutlak basınç (150 W-110 mbar) koşulunda kurutulan örneklerde saptanmıştır. Bunun ile

birlikte sabit mutlak basınçta mikrodalga gücü arttıkça ve sabit mikrodalga güçte mutlak basınç arttıkça askorbik asit kaybının da arttığı tespit edilmiştir.

**Tablo 4.5.** Taze kuşburnu ve Farklı koşullarda kurutulmuş kuşburnu örneklerinin askorbik asit (C vitamini) miktarı

Örnek	C Vitamini Miktarı (mg L-askorbik asit/g KM)
Taze kuşburnu	9.94 <sup>a</sup> ±0.25 (530.12 YB)
Dondurarak kurutma	9.60 <sup>a</sup> ±0.25
Mikrodalga-vakum kurutma	
50 W-40 mbar	8.90 <sup>b</sup> ±0.28
50 W-75 mbar	8.43 <sup>c</sup> ±0.25
50 W-110 mbar	8.33 <sup>c</sup> ±0.17
100 W-40 mbar	8.21 <sup>c</sup> ±0.12
100 W-75 mbar	8.29 <sup>c</sup> ±0.35
100 W-110 mbar	8.11 <sup>c</sup> ±0.32
150 W-40 mbar	7.73 <sup>d</sup> ±0.26
150 W-75 mbar	7.68 <sup>d</sup> ±0.26
150 W-110 mbar	7.41 <sup>d</sup> ±0.33
Sıcak hava kurutma	4.84 <sup>e</sup> ±0.35

Aynı sütunda yer alan farklı harfler ile gösterilen örneklerin ortalamaları arasında istatistiksel açıdan fark olduğunu gösterir ( $p<0.05$ ).

Genel olarak askorbik asidin bozulması, oksijen, metal iyonu katalizi, ışık, sıcaklık ve nem içeriğini içeren çeşitli faktörlere bağlıdır [249]. C vitamini (askorbik asit) suda çözünür dolayısıyla kurutma işlemi sırasında kayıplara karşı yatkındır (hassas-duyarlı). Suda çözünen vitaminler arasında, C vitamini en kararsız ve ısıya duyarlı olanıdır. Kuruma zamanının uzunluğu ve kurutma yöntemi C vitamini stabilitesini etkileyen önemli faktörlerdir [250]. Genel olarak, artan bir askorbik asit bozulması seviyesinin, daha yavaş kurutma yöntemlerinden ve sıcak havanın varlığında askorbik asitin oksidasyonundan kaynaklandığı bulunmuştur [55]. Sıcaklık ne kadar yüksek ve kurutma süresi ne kadar uzun olursa, kurutulmuş meyve ve sebzelerde C vitamini kaybı o kadar fazla olduğu bildirilmiştir [246].

Sıcak hava ile kurutma sırasında daha fazla C vitamin kayıpları (%52) meydana gelmiştir. Özellikle uzun süreli kurutma metotlarında kullanılan yüksek sıcaklık ve buna bağlı olarak sıcak havanın varlığında askorbik asitin oksidasyonu, C vitamindeki kayıpların arttırdığı bildirilmiştir [158, 246, 251]. Hava ile kurutma yönteminde sıcak hava olması nedeniyle askorbik asitin oksidasyonu bu kayıplar için olası bir açıklamadır ve nispeten uzun kuruma süresi (960 dakika), C vitamini kaybına da ciddi katkıda bulunmuştur [158, 252].

Dondurarak kurutmada, hava ve ışık olmaması nedeniyle, kurutma sırasında çok düşük sıcaklıklar oksidasyonu engelleyebilir ve bu nedenle ürün içindeki askorbik asit korunabileceği bildirilmiştir [249]. Dondurarak kurutma işlemi sırasında düşük sıcaklık ve oksidasyona neden

olan havanın yokluğundan [158, 246, 249, 251] askorbik asit içeriği üzerine etkisi az olmuş ve C vitamininin kayda değer bir kaybı (%4) olmamıştır. Dolayısıyla dondurarak kurutmada en az C vitamin kaybının görüldüğü saptanmıştır. Bununla birlikte, dondurarak kurutmanın uzun kuruma süresi belirli oranda düşmesine neden olduğu bildirilmiştir [253].

Mikrodalga-vakum kurutma sırasında gözlemlenen askorbik asit miktarındaki azalmanın sebebi olarak, örnek kurutuldukça mikrodalga gücünün elektromanyetik dalgaları ile C vitamininin tahrip ediyor olması gösterilebilir. Kurutma sırasında söz konusu oluşan tahribatın C vitaminindeki termal bozunma ve/veya geri dönüşümsüz oksidatif reaksiyonlar olduğu söylenebilir [254]. Yüksek kurutma hızı ve daha kısa kuruma süreleri nedeniyle [246] ve mikrodalga vakum kurutma sırasında oksidasyonu engelleyen anoksik ortamın olması [251] nedeni ile sıcak hava göre önemli ölçüde daha fazla C vitamini korunmuştur. Artan mikrodalga güç ve mutlak basınç seviyeleriyle de azaldığı saptanmıştır. C vitamini kaybı, beklendiği gibi, askorbik asitin ısıya duyarlı doğasından dolayı, artan sıcaklık ile arttığı saptanmıştır. MV kurutma koşulları altında, emilen güçte bir artış, ürün sıcaklığında bir artışa ve sonuç olarak daha yüksek C vitamini kaybına neden olabilecektir. Benzer olarak Wojdyło vd. [252], yarıya kesilmiş çilekleri, 40-60 mbar vakum basıncının altında 240, 360 ve 480 W olmak üzere üç farklı güçte kurutma işlemi gerçekleştirmiştir. Mikrodalga güç seviyesi arttıkça askorbik içeriği de taze örneklerle göre %87'den %64'e azaldığını kaydetmişlerdir. Aynı şekilde Khraisheh vd. [256], patatesin kurutulması sırasında artan mikrodalga güç seviyesi ile azaldığını rapor etmişlerdir.

Bu çalışmada elde ettiğimiz sonuçlara benzer birçok mevcut çalışmalar bulunmaktadır. Qing-guo vd. [246], yaklaşık 1000'er g yeşil soya fasulyesi (Granular Edamame), Vakumlu mikrodalga (3.5 kW- 95 kPa gösterge basıncı) kurutma, dondurarak kurutma, sıcak hava ile kurutma (70 ° C- 1.5 m/s) ve Sıcak hava+vakumlu mikrodalga kurutma tekniklerinin bir kombinasyonu ile yaklaşık %5 (yaş bazda) nem içeriğine düşüne kadar kurutmuşlardır. Vakumlu mikrodalga kurutma ile kurutulmuş örneklerin C vitamini içeriği (%70,97), dondurarak kurutulmuş örneklerinkine (%82,1) göre biraz daha düşük, fakat diğer yöntemlerden daha iyi olduğu ve sıcak hava ile kurutulmuş örneklerle kıyasla önemli ölçüde iyileştirdiğini bildirmişlerdir. Cui vd. [249], mikrodalga vakum (2 W/g- 2.5 kPa) kurutmayı dondurarak kurutma ile kombine ederek elma cipslerinin kurutulması için potansiyel bir yöntem olarak araştırmışlardır. İlk önce mikrodalga-vakum kurutma ile elma dilimlerin nemi yaklaşık %37'ye düşürülmüş, ardından dondurarak kurutma ile %7 nem içeriğine kurutulmuşlar. Aynı şekilde dondurarak kurutma, mikrodalga vakum (2 W/g- 2.5 kPa) kurutma ve geleneksel sıcak hava (60-65°C-0.5 m/s) kurutma ile de %7'lik nem içeriğine kurutulmuşlardır. Elma cipslerini kurutma sonucunda başta mikrodalga vakum+dondurarak kurutma kombinasyonu olmak üzere sırası ile %97, %91,8, %89 ve %63 oranlarında C vitamini korunduğunu bildirmişlerdir. Mikrodalga vakum kurutma, sıcak hava ile kurutmaya göre C vitamini içeriğini önemli ölçüde iyileştirdiğini bildirmişlerdir. Giri vd.



[251], eş parçalara kesilmiş düğme mantar (*Agaricus bisporus*) dilimleri (her deney için yaklaşık 50 gr) mikrodalga vakum (200W-65 mbar) uygulaması, dondurarak ve sıcak hava ile (60 ° C-1.5 m/s) % 6 nem içeriğine kurutulmuş ve kurutulmuş bu mantar dilimlerinin C vitamini içeriği taze mantar dilimlerine göre sırası ile % 54 % 85 ve % 33 oranlarında korunduğunu kaydetmişlerdir. Lin vd. [158], havuç dilimleri 100 mm Hg (133.3 mbar) sabit vakum basıncında 3 kW, 1.0 kW ve 0.5 kW olmak üzere üç kademede gerçekleştirilen vakum mikrodalga kurutma yöntemi ile, dondurarak kurutma ile ve sıcak hava kurutma (70 °C) yöntemi ile %10 nem içeriğine kurutmuşlardır. Dondurarak kurutulmuş örneklerin C vitamini kaybı neredeyse hiç olmadığını kaydetmişlerdir. Vakum mikrodalga ile kurutulmuş (VMD) havuç dilimleri, hava ile kurutulmuş olanlara göre daha yüksek C vitamini içeriğine ve sırası ile yaklaşık %79 ve %38'in korunduğuna rapor etmişlerdir. Wojdyło vd. [252], yarıya kesilmiş çilekleri, 40-60 mbar vakum basıncının altında 240, 360 ve 480 W olmak üzere üç farklı güçte mikrodalga vakum kurutma, dondurarak kurutma, konvektif (70 °C-1 m/s) kurutma ve vakum (50 °C -100 Pa) kurutma yöntemleri ile yaklaşık %4,76 nem içeriğine kurtularak askorbik asit üzerine etkileri değerlendirip karşılaştırmışlardır. Dondurarak kurutulmuş örneklerin askorbik asit içeriği taze örneklerle göre (>%98) en çok korunduğunu, mikrodalga-vakum kurutma (%64-87 aralığında) yöntemi ise konvektif (%28,3) ve vakum kurutma (%40) yöntemine göre önemli ölçüde daha yüksek korunduğunu rapor etmişlerdir. Jiang vd. [253], muz küplerini geliştirdikleri darbeli mikrodalga vakum (2 W/g güç yoğunluğu-80 Pa mutlak basınç) kurutma uygulaması ile, dondurarak kurutma ve mikrodalga dondurarak kurutma (2 W/g güç yoğunluğu-80 Pa mutlak basınç) yöntemi ile %3.85-9.01 aralığında nem içeriği kurutulması sonucunda sırası ile %82.2, %80.2 ve %43.7 askorbik asit korunduğu saptamışlar. Geliştirilen bu uygulama ile kurutulmuş muz küplerinin askorbik asit içeriği, dondurarak kurutulmuş örneklerinki kadar yüksek içeriğe sahip olduğunu rapor etmişlerdir. Özkan vd. [257], ıspanak yapraklarını (50 g), mikrodalga kurutma tekniği ile 90 ve 1000 W arasında değişen sekiz farklı mikrodalga gücünde yaklaşık %9.01 nem içeriğine düşene kadar kurutulmuştur. Farklı güçlerde kurutulmuş ıspanak yaprakları tazeye (50,18 mg/100g) göre %46-87 (23.30-43,57 mg/100 g) oranları arasında C vitamini korunduğunu bildirmişlerdir.

#### 4.6. Renk

Görünüm, taze ve işlenmiş gıdaların, ürünlerin ve pazarlamanın en önemli duyu kalite özelliklerinden biridir. Renk en önemli görünüm özelliklerinden biridir. Gıda yüzeyinin rengi tüketiciler tarafından değerlendirilen ilk kalite parametresidir ve ürünün kabulü için kritik öneme sahiptir. Gıdaların rengi, işleme süresince ve sonunda kalitenin korunmasında fikir verir [258, 259]. Bu nedenle taze ve kurutulmuş kuşburnu örneklerinin renk özellikleri de ölçülmüştür. İşlem görmemiş (kontrol) ve farklı yöntem (dondurarak kurutma (DK), sıcak hava (SH) ile kurutma ve mikrodalga-vakum (MV) ile kurutma) kurutulmuş kuşburnu örneklerine ait renk parametreleri olan  $L^*$ ,  $a^*$ ,  $b^*$ ,  $\Delta E$ ,  $C^*$  ve  $H^\circ$  değerleri Tablo 4.6'de göstermektedir. Ayrıca örneklere ait tek yönlü varyans analiz sonuçları da bu tabloda yer almaktadır. Yapılan istatistik analize göre örnek grupları arasında  $L^*$ ,  $a^*$ ,  $b^*$ ,  $\Delta E$ ,  $C^*$  ve  $H^\circ$  değerleri yönünden farklılık olduğu bulunmuştur ( $p < 0,05$ ).

$L^*$  değeri açısından dondurarak kurutulmuş ve kontrol örnekleri arasında istatistiksel olarak anlamlı bir fark yoktur ( $p > 0,05$ ). Sıcak hava ile kurutulmuş örnek ile kontrol örnekleri arasında istatistiksel olarak anlamlı bir fark olup daha düşük  $L^*$  değerlerine sahip koyu renkli son ürünler elde edilmiştir ( $p < 0,05$ ). MV ile kurutulmuş örneklerde ise 50 W-40 mbar ve 100 W-40 mbar koşullarda kurutulmuş örnekler dışındaki örnekler ile kontrol örnekleri arasında istatistiksel olarak anlamlı bir fark yoktur ( $p < 0,05$ ). Benzer açık renge sahip ürünler elde edilmiştir. Fakat 50 W-40 mbar ve 100 W-40 mbar koşullarda kurutulmuş örnekler kontrol örneklerine kıyasla daha yüksek değere sahip olup daha açık rengi göstermiştir. MV ile kurutulmuş örnekler, kontrol örneğine benzer (yakın) veya daha yüksek açık renk gösterirken sıcak hava ile kurutulmuş örneklerin koyu renk göstermesinin nedeni uzun süre sıcaklığa maruz kalması ile esmerleşme reaksiyonlarına neden olduğu belirtilmiştir [177]. MV kurutma yöntemiyle kurutulan örneklerin  $L^*$  değerinin daha yüksek olması kurutmanın daha kısa sürede gerçekleşmesi ile bağlantılı olabileceği düşünülmüştür [220]. Çift yönlü varyans analiz sonuçlarına göre, güç, mutlak basınç ve güç\*mutlak basınç etkileşimi  $L$  değeri üzerinde önemli oranda etkili olduğunu göstermektedir ( $p < 0,05$ ).

Farklı kurutma yöntemleri (mikrodalga vakum, dondurarak kurutma ve sıcak hava kurutma) ile elde edilen örneklerin  $a^*$  değerleri arasında istatistiksel olarak anlamlı bir fark bulunmuştur ( $p < 0,05$ ). Kırmızı renkli ürünler için önemli renk parametrelerinden biri olan  $a^*$  değerinin daha yüksek olması ürünün daha kırmızı olduğu anlamına gelmektedir. MV ve DK örneklerin  $a^*$  değeri kontrol (taze) örneğine kıyasla daha yüksek değerler (yani daha kırmızı olurken) alırken sıcak hava ile kurutulan örneklerin kırmızı rengini koruyamadıkları için daha düşük değerler almıştır. Ayrıca ürünün kalite özelliklerini korunması bakımından en iyi kurutma yöntemi olarak değerlendirilen dondurarak kurutma yöntemi ile, mikrodalga vakum ile

kurutulmuş örneklerin  $a^*$  değerlerinin birebirine yakın olduğu gözlenmiştir. Dondurarak kurutma ile 100 W-75 mbar ve 100 W-110 mbar koşullarda mikrodalga vakum yöntemiyle kurutulmuş örneklerin  $a^*$  değerleri arasında istatistiksel olarak anlamlı bir fark bulunmamıştır ( $p < 0,05$ ). MW örnekler en yüksek kırmızılık değerlerine sahip olmuştur. Domateslerin farklı yöntemler kurutulduğu benzer bir çalışmada da mikrodalga vakum ile kurutulmuş örneklerin taze ve sıcak hava ile kurutulmuş örneklerle kıyasla daha yüksek  $a^*$  değerine sahip olup en yüksek kırmızı renge sahip olduğu bildirilmiştir [177]. Mikrodalga-vakum kurutmanın vakum ortamında (ortamda oksijenin sınırlandırılması-oksijensiz ortam) kısa kuruma işlem süresinden dolayı ürün hasar görmeden nemin uzaklaştırması ve böylece yüksek renk pigment konsantrasyonun artmasıyla kırmızılık ( $a^*$  değeri) artmış olabilir. İki yönlü varyans analizi sonuçları, mutlak basınç ve gücün  $a^*$  değeri üzerinde önemli bir etkiye sahip olduğunu göstermiştir ( $p < 0,05$ ). En yüksek değerler 40 mbar mutlak basınçtaki güçlerde bulunmuştur.

Abers ve Wrolstad'a göre, chroma ( $C^*$ ) değeri canlı ve mat renkleri ayırt eden renk miktarının iyi bir açıklamasıdır [260]. Chroma değerleri ne kadar yüksek olursa, insanlar tarafından algılanan örneklerin renk yoğunluğu (canlılığı) o kadar yüksektir [259]. 40 mbar mutlak basınç altında MV ile kurutulmuş örneklerin Chroma değerleri arasında istatistiksel olarak anlamlı bir fark yoktur ( $p > 0,05$ ) ve en yüksek değerlere (en canlı) sahip olduğu bulunmuştur. Dondurarak kurutulmuş örnek ile 100 W'da-75 mbar ve 110 mbar mutlak basınç altında kurutulan örneklerin chroma değerleri arasında istatistiksel olarak anlamlı bir fark saptanmamıştır ( $p > 0,05$ ). MV kurutma yönteminde, çift yönlü varyans analiz sonuçlarına göre, sadece mutlak basıncın chroma ( $C^*$ ) değeri üzerinde önemli oranda etkili olduğunu bulunmuştur ( $p < 0,05$ ). Düşük mutlak basınçlarda daha yüksek değerler bulunmuştur. Mikrodalga-vakum yöntemi ile sıcak hava kurutma yöntemi arasında istatistiksel olarak anlamlı bir fark olduğu saptanmıştır. Sıcak hava ile kurutulan örnekler en düşük chroma değerlerine sahip bulunmuş ve taze (kontrol) örneğe kıyasla canlılığını kaybetmiş, mat bir renge sahip olduğu görülmüştür. Jaiswal vd [261], de gıda ürünlerinde daha yüksek  $C^*$  değerlerinin daha fazla istendiğini bildirmiştir.

Hue açısı ( $h^*$ ) değeri, koordinat düzleminde rengin derece cinsinden ifadesi olup rengi (kırmızı sarı yeşil vb.) algılama. Şeklimizdir. Koordinat düzleminde renkler  $0^\circ$ 'den  $90^\circ$ 'ye kırmızıdan sarıya,  $90^\circ$ 'den  $180^\circ$ 'ye sarıdan yeşile,  $180^\circ$ 'den  $270^\circ$ 'ye yeşilden maviye ve  $270^\circ$ 'den  $360^\circ$ 'ye maviden kırmızıya doğru dönmektedir. Hue açısının düşük olması rengin kırmızıya yakın olduğu manasına gelmektedir [259]. Farklı yöntemler ile kurutulan örneklerin hue değerleri arasında istatistiksel olarak anlamlı fark saptanmıştır ( $p < 0,05$ ). Dondurarak kurutmada örnekler en düşük hue değeri gösterirken sıcak hava ile kurutmada en yüksek değer göstermiştir. Mikrodalga-vakum yönteminde kurutulmuş örneklerde ise sıcak hava yöntemine göre daha düşük hue değerlerine sahip olup dondurarak kurutma ve kontrol örneklerine daha yakın

değerlerler (benzer kırmızı renk) aldığı saptanmıştır. İki yönlü varyans analizi sonuçları sadece mutlak basıncın hue ( $h^*$ ) değeri üzerinde önemli bir etkiye sahip olduğunu göstermiştir ( $p<0,05$ ). Mutlak basınç arttıkça hue değerinin arttığı gözlenmiştir.

Kurutulmuş kuşburnu örneklerinin toplam renk farkı(değişimi) ( $\Delta E$ ) dondurarak kurutma yönteminde 12.98 değerini ve mikrodalga-vakum yönteminde kuruma koşullarına bağlı olarak 11.57-15.28 değerleri arasında değişmiştir. Sıcak hava yönteminde ise 7.50 değerini alıp en düşük toplam renk değişimi gerçekleştirdiği hesaplanmıştır. Dondurarak kurutma ve MV yönteminin toplam renk değişim değeri birbirine yakın olup en yüksek olması  $a^*$  değerlerinin yüksek olmasına bağlayabiliriz. Her ne kadar renk değişiminin yüksek olması, kontrol(taze) örneğin renginden uzaklaştırmış görünse de görsel olarak sıcak hava yöntemine kıyasla albenisi daha yüksek örnekler elde edilmiştir. Çift yönlü varyans analizi sonucuna göre sadece mutlak basıncın toplam renk değişimi üzerinde önemli etkiye sahip olduğu saptanmıştır ( $p<0,05$ ).

Ürünün kalitesini sürdürebilmesi için kendine özgü rengi koruması önemlidir. Dolayısıyla kuşburnu örneği için kırmızılık değerini gösteren  $a^*$  değeri yüksek olması önemlidir. Genel olarak, DK, MV yakın renk değerlerine sahip olup sıcak hava yöntemine kıyasla önemli derecede daha yüksek kırmızılık ve daha açık renk değerlerine sahip olduğu bulunmuştur. Tablo 4.7'de renk analizinde kullanılan taze (kontrol) ve farklı yöntem ile kurutulmuş örneklerin görüntüleri yer almaktadır. Sıcak hava ile kurutulan kuşburnunun uzun süre sıcaklığa maruz kaldığı için karardığı (esmerleştiğini) ve küçülüp büzüldüğü gözlenmiştir. Bundan dolayı göze hitap etmediği görülmüştür. Mikrodalga-vakum kurutma yönteminde dondurarak kurutma benzer olarak sıcak hava yöntemine göre daha çok kırmızı rengini koruduğunu ve taze örneklerle benzediği gözlenmiştir.

Orikasa vd. [177], yapmış olduğu bir çalışmada vakum-mikrodalga ile kurutulmuş domateslerin kırmızı ve açık renk olarak kaldığı buna karşılık mikrodalga kurutma ve sıcak hava kurutmada örneklerin koyu olduğunu bildirmiştir. Vakum-mikrodalga numunesinin  $L^*$  değeri, taze, mikrodalga ve sıcak hava numunelerinin  $L^*$  değerlerinden daha büyük olup vakum-mikrodalga ile kurutulmuş domates örneklerinin parlaklığı, taze domateslere göre belirgin şekilde artmış olduğunu belirtmiştir. Ancak, mikrodalga kurutma ve sıcak hava kurutma numunelerindeki parlaklık, taze domateslerinkine kıyasla azaldığını ve yüksek sıcaklık ve uzun kuruma süresi esmerleşme reaksiyonlarına neden olduğunu rapor etmişlerdir. Sonuçlar, Vakum-mikrodalga örneklerinin renkleri oldukça açık olduğunu ve taze domates dilimlerinin kuruduktan sonra parlaklığının arttığını ifade etmiştir. Vakum-mikrodalga, domates meyvesinin kırmızı renk özelliğini de en iyi şekilde koruduğunu taze, mikrodalga ve sıcak hava numunelerinin  $a^*$  değerlerine kıyasla daha yüksek olduğunu bulmuşlardır. Bununla birlikte mikrodalga-vakum kurutmada toplam renk değişimi ( $\Delta E$ ) 11.6 olduğunu saptamışlardır.

**Tablo 4.6.** Taze (işlem görmemiş), farklı yöntem ve koşullarda kurutulmuş olan örneklerin renk değerleri özellikler.

Örnek	L*	a*	b*	C*	H°	ΔE
Taze kuşburnu	35.93 <sup>b</sup> ±0.24	25.95 <sup>c</sup> ±3.62	12.64 <sup>d</sup> ±0.31	29.07 <sup>c</sup> ±3.50	24.44 <sup>bc</sup> ±0.64	
50 W-40 mbar	38.17 <sup>a</sup> ±1.42	40.18 <sup>a</sup> ±1.91	17.30 <sup>a</sup> ±0.66	44.20 <sup>a</sup> ±1.78	22.82 <sup>c</sup> ±1.17	15.17 <sup>a</sup> ±2.18
50 W-75 mbar	36.44 <sup>b</sup> ±0.03	36.54 <sup>b</sup> ±0.63	17.21 <sup>a</sup> ±1.36	40.25 <sup>b</sup> ±0.07	25.21 <sup>b</sup> ±2.12	11.59 <sup>b</sup> ±0.47
50 W-110 mbar	36.10 <sup>b</sup> ±0.30	36.59 <sup>b</sup> ±0.05	17.25 <sup>a</sup> ±2.24	40.09 <sup>b</sup> ±1.04	25,24 <sup>b</sup> ±3,34	11.61 <sup>b</sup> ±1.32
100 W-40 mbar	38.46 <sup>a</sup> ±0.59	40.54 <sup>a</sup> ±0.19	16.66 <sup>ab</sup> ±0.52	43.97 <sup>a</sup> ±0.39	22.96 <sup>c</sup> ±0.42	15.28 <sup>a</sup> ±0.15
100 W-75 mbar	36.53 <sup>b</sup> ±1.61	38.33 <sup>ab</sup> ±2.43	15.84 <sup>ab</sup> ±0.98	41.87 <sup>ab</sup> ±2.06	22.61 <sup>c</sup> ±2.03	13.76 <sup>ab</sup> ±3.04
100 W-110 mbar	35.57 <sup>b</sup> ±1.25	38.63 <sup>ab</sup> ±2.78	16.28 <sup>ab</sup> ±1.94	42.08 <sup>ab</sup> ±3.09	23.79 <sup>bc</sup> ±0.27	13.24 <sup>ab</sup> ±2.81
150 W-40 mbar	36.59 <sup>b</sup> ±0.29	40.35 <sup>a</sup> ±2.02	16.41 <sup>ab</sup> ±0.94	44.05 <sup>a</sup> ±1.53	22.62 <sup>c</sup> ±0.38	14.90 <sup>a</sup> ±1.17
150 W-75 mbar	35.47 <sup>b</sup> ±0.61	37.01 <sup>b</sup> ±0.86	15.86 <sup>ab</sup> ±0.47	41.20 <sup>b</sup> ±2.41	22.97 <sup>c</sup> ±1.33	11.57 <sup>b</sup> ±0.24
150 W-110 mbar	36.46 <sup>b</sup> ±0.42	38.23 <sup>ab</sup> ±0.01	16.55 <sup>ab</sup> ±1.41	41.48 <sup>b</sup> ±0.38	24.29 <sup>bc</sup> ±1.22	12.96 <sup>ab</sup> ±0.86
Dondurarak Kurutma	35.82 <sup>b</sup> ±0.16	39.65 <sup>ab</sup> ±3.25	15.29 <sup>c</sup> ±0.30	42.14 <sup>ab</sup> ±3.34	22.60 <sup>c</sup> ±1.47	12.98 <sup>ab</sup> ±3.52
SH	32.08 <sup>c</sup> ±0.33	19.96 <sup>d</sup> ±2.04	10.32 <sup>e</sup> ±0.43	22.39 <sup>d</sup> ±1.70	27.39 <sup>a</sup> ±1.41	07.50 <sup>c</sup> ±1.68

Aynı sütunda yer alan farklı harfler ile gösterilen örneklerin ortalamaları arasında istatistiksel açıdan fark olduğunu gösterir ( $p < 0.05$ ).

**Tablo 4.7.** Taze ve kurutulmuş kuşburnu görüntüleri

	1.TEKRAR KURUTMA SICAKLIK GÖRÜNTÜLERİ	2.TEKRAR KURUTMA SICAKLIK GÖRÜNTÜLERİ
Taze		
Dondurarak Kurutma		
Sıcak Hava kurutma		
50 W-40 mbar		



**Tablo 4.7.**'nin devamı.

---

50 W-75 mbar



50 W-110 mbar



100 W-40 mbar



100 W-75 mbar



**Tablo 4.7.'nin devamı.**

---

100 W-110 mbar



150 W-40 mbar



150 W-75 mbar



150 W-110 mbar





#### 4.7. Rehidrasyon oranı (RO)

Kurutulmuş meyve-sebzelerin birçoğu tüketilmeden önce rehidrate edilir ve bu nedenle rehidrasyon davranışı bu ürünlerin kritik bir fonksiyonel özelliğidir. Rehidrasyon idealinin üründen ürüne farklılık göstermesine rağmen, birçok durumda tam bir hidrasyon istenmektedir [262]. Kurutulmuş tarımsal bir ürünlerin rehidrasyon özellikleri, bir kalite indeksi olarak yaygın şekilde kullanılmaktadır. Genellikle rehidrasyon derecesinin hücresel ve yapısal bozulma derecesine bağlı olduğu kabul edilmektedir. Büyük ölçüde kullanılan kurutma koşullarına bağlı olduğunu ifade etmişlerdir [205, 246]. Rehidrasyon işlemi sırasında nem hareketinin sıvı difüzyonu ile meydana geldiği ve dengeye ulaşılan kadar rehidrasyon sıvısından kuru katıya su transferinin gerçekleştiği varsayılabilir. Dondurarak kurutma (DK), mikrodalga-vakum (MV) kurutma ve sıcak hava kurutma (SH) yöntemlerine tabi tutulan kuşburnu örneklerinin yeniden hidratlığı, yani rehidrasyon oranı (RO) temelinde belirlenmiştir. Rehidrasyon oranı, rehidre edilmiş örnek kütlelerinin kurutulmuş örnek kütlelerine oranı olarak tanımlanır. Kurutulmuş meyve-sebze ürünleri suda bekletildiği zaman taze durumunda içerdiği su miktarına en yakın oranda su alarak eski haline gelmesi istenir. Bundan dolayı rehidrasyon oranı yüksek olması önemli bir kriter olduğu vurgulanmıştır [256].

Farklı kurutma uygulamalarıyla kurutulmuş kuşburnu tanelerinin oda sıcaklığında ( $22.7 \pm 0.4$  °C) damıtılmış sudaki rehidrasyon oranları Tablo 4.8 verilmiştir. Ayrıca, Tablo 4.8'de örneklerin RO'larının tek yönlü varyans analiz sonuçları yer almaktadır.

**Tablo 4.8.** Farklı yöntemler ile kurutulmuş kuşburnu örneklerinin RO'ları.

Örnekler	Rehidrasyon oranı (RO)
Kontrol	-
Mikrodalga-vakum kurutma	
50 W-40 mbar	1.43 <sup>c</sup> ± 0.02
50 W-75 mbar	1.42 <sup>c</sup> ± 0.01
50 W-110 mbar	1.40 <sup>c</sup> ± 0.02
100 W-40 mbar	1.46 <sup>ab</sup> ± 0.06
100 W-75 mbar	1.45 <sup>ab</sup> ± 0.02
100 W-110 mbar	1.46 <sup>ab</sup> ± 0.02
150 W-40 mbar	1.50 <sup>a</sup> ± 0.06
150 W-75 mbar	1.48 <sup>a</sup> ± 0.05
150 W-110 mbar	1.48 <sup>a</sup> ± 0.03
Dondurarak kurutma	1.49 <sup>a</sup> ± 0.01
Sıcak hava kurutma	1.35 <sup>d</sup> ± 0.03

Aynı sütunda yer alan farklı harfler ortalamaları arasında istatistiksel açıdan fark olduğunu gösterir ( $p < 0.05$ ).

Rehidre edilen kurutulmuş kuşburnu örneklerin rehidrasyon oranları 1.35-1.50 aralığında yer almaktadır. MV ve DK ile kurutulmuş örneklerin RO'ları bakımından benzerlik göstermekle birlikte en yüksek oranlara sahip olduğu bulunmuştur. Sıcak hava ile kurutulmuş örnek ise en düşük rehidrasyon oranına sahiptir. Tek yönlü varyans analiz sonuçlarına göre rehidrasyon oranları kurutma yöntemlerine bağlı olarak farklılık göstermiş ve bu farklılık istatistiksel olarak önemli bulunmuştur ( $p < 0.05$ ). Fakat 100 W mikrodalga güç koşullarında kurutulmuş kuşburnu taneleri ile dondurarak kurutulmuş kuşburnu tanelerin rehidrasyon oranları arasındaki fark istatistik olarak anlamlı bulunmamıştır ( $p > 0.05$ ).

Dondurarak kurutma yöntemi diğer kurutma yöntemlerine göre ürüne en az hasar vererek en kaliteli ürün elde edildiği yöntem olarak bilinmektedir. Ürünün orijinal hücresel yapısı büyük ölçüde korunduğu, çok fazla boşluğu olan gözenekli ve büzülmeyen bir yapıya sahip olduğu için çok iyi rehidrasyon oranına sahip olduğu bildirilmiştir [246, 251]. Çalışmamızda yüksek güçlerde (150 W) MV kurutma yöntemi ile kurutulmuş kuşburnu taneleri, dondurarak kurutulmuş olanlara benzer (birbirine yakın) rehidrasyon oranları göstermekle birlikte en yüksek rehidrasyon oranlarına sahip olmuştur.

Mikrodalga-vakum (MV) örneklerinin rehidrasyon oranları sıcak hava örneklerinden daha iyidir. Bunun nedeni MV kullanılarak kurutulan örneklerin şişirilmiş ve gözenekli bir yapı sergilemiş olmasından olabilir [246]. Taramalı Elektron Mikroskopu kullanılarak incelenen kurutulmuş kuşburnu tanelerinin mikro yapıları Tablo 4.9'da gösterilmektedir. Mikrodalga-vakum ile kurutulan kuşburnu tanelerinin mikro yapısı, sıcak havaya göre daha gözenekli ve açık mikro yapısına sahiptir. MV kurutma, SH ile kurutmaya göre çok az büzülme ile gözenekli bir yapı oluşturur ve böylece daha iyi bir rehidrasyon karakteristiği sağlayabileceği bildirilmiştir [202]. Gözenekli yapı, mikrodalga-vakum kurutma sırasında büyük ve hızlı buharlaşmadan kaynaklanıyor olabileceği rapor edilmiştir. Bunun nedeni ise, hızlı mikrodalga enerjisi emiliminin, suyun hızla buharlaşmasına ve doku yapısının çökmesine, büzülmesine ve kılıf sertleşmesini önlemeye yardımcı olan buharın, hızlı bir şekilde dışarı doğru akışının gerçekleşmesinden kaynaklanıyor olabileceğinden dolayı olduğu belirtilmiştir [205]. Buhar kabarcıkları, kuşburnu taneleri içindeki toplam basınç gradyanını artırabilir ve bu nedenle gözenekliliği artırabilir [263]. Vakum koşullarında oluşan basınç farkı örneğin dokusunu şişmesine neden olabilir. Ayrıca vakum haznesi ile üründeki iç basınç arasındaki basınç farkı düşük yoğunlukta, genişlemiş ve puf bir yapıya neden olabilir. Bu da suyun emme oranını artırır ve rehidrasyon özelliklerini geliştirebilmektedir [205]. Dolayısıyla çok gözenekli yapının olması, büzülmenin ve rehidrasyona bir bariyer olarak bilinen yüzey sertleşmesinin (case hardening) önlenmesi ve şişme özelliklerinin (puf bir yapıya sahip olması) göstermesi rehidrasyon özelliklerini iyileştirmiştir.

Sıcak hava kurutmada daha düşük rehidrasyon değerleri göstermesi; geri dönüşü olmayan fizikokimyasal değişimlere neden olan şiddetli ısınma ve/veya uzun süreli kurumadan dolayı doku büzülmesi ve doku içindeki çökmüş hücresel yapı oluşması [264], yoğun bir yapıya sahip olması [265] ve yüzey sertleşmesi gibi su alımı önündeki engellerin olması [262] gibi etkenlerden kaynaklanıyor olabileceği düşünülmektedir.

Mikrodalga-vakum kurutma yönteminde yüksek güç ve düşük mutlak basınç (150 W-40 mbar) koşullarında kurutulmuş kuşburnu taneleri en yüksek rehidrasyon oranına sahip iken, düşük güç ve yüksek mutlak basınçta en düşük orana sahip olmuştur. Sabit mutlak basınçlarda güç arttıkça RO'nı arttığı tespit edilmiştir. Fakat sabit güçlerde mutlak basıncın artması veya azalması, örneklerin RO'ları arasında istatistiksel olarak anlamlı bir fark yaratmamıştır ( $p < 0.05$ ). İki yönlü varyans analizi (ANOVA) sonuçları; sadece güç değişkeninin rehidrasyon oranı üzerinde önemli bir etkiye sahip olduğunu göstermektedir ( $p < 0.05$ ). Güç yoğunluğu seviyesi arttıkça, artan kurutma hızı ve vakum koşullarının teşvik ettiği (neden olduğu) gözeneklerin oluşması sayesinde rehidrasyon oranı arttığı düşünülmektedir. Yüksek mikrodalga gücündeki daha yüksek rehidrasyon oranı, daha yüksek güç seviyelerinde kurutma sırasında daha büyük iç gerilmelerin gelişmesine bağlanabilir [264].

Saptamış olduğumuz sonuçlara benzer literatürde bir çok çalışma bulunmaktadır. Therdthai vd. [263], nane yapraklarının mikrodalga-vakum (13.33 kPa-1920 ve 2240 W) ile kurutulması, sıcak hava (60 ve 70 °C) ile kurutulmasına göre önemli ölçüde daha yüksek rehidrasyon oranları verdiğini, sonuçlarımıza benzer olarak mikrodalga gücünün artırılması ile rehidrasyon oranını artma eğilimini gösterdiğini ifade etmişlerdir. Yine, Lin vd. [158], havuç dilimlerini vakumlu mikrodalga (100 mm Hg'lik sabit vakum basıncında 3 kW+1 kW güçlerde) ile kurutmanın sıcak hava (70 °C) ile kurutmaya göre daha yüksek rehidrasyon hızları ve daha yüksek rehidrasyon oranları gösterdiğini ifade etmişlerdir. Dondurarak kurutulmuş havuç dilimleri, gözenekli yapıları nedeniyle, en yüksek rehidrasyon oranına ve rehidrasyon hızına sahip olduğunu bildirmişlerdir. Cui vd. [266], ise mikrodalga-vakum ile-kurutulmuş havuç dilimleri, sıcak hava ve dondurarak kurutma yöntemlerinden daha yüksek rehidrasyon kapasitesine sahip olduğunu saptamışlardır. Bununla birlikte, en düşük su emiliminin, uzun kurutma süresi ve havuç dilimlerinin kapalı yüzey kılcal damarları nedeniyle sıcak havada kurutulmuş numunelerde olduğunu ifade etmişlerdir.

Yapmış olduğumuz bu çalışmamızdaki gibi mikrodalga gücü ile mutlak basıncın rehidrasyon oranları üzerine benzer etkisi gösteren çalışmalar mevcuttur. Giri vd. [202], kurutma parametreleri olarak mikrodalga gücünün (115, 200 ve 285 W), sistem basıncının (6,5, 15 ve 23,5 kPa) ve ürün kalınlığının (6, 10 ve 14 mm) kurutulmuş örneklerin rehidrasyon özelliklerine etkisi incelemişlerdir. Ayrıca farklı sıcaklıklardaki (50, 60 ve 70 C) konvektif hava kurutma ile mikrodalga-vakum kurutmanın rehidrasyon özelliklerini karşılaştırmışlardır. Mikrodalga-vakum

kurutmanın rehidrasyon oranı konvektif hava ile kurutmaya göre daha yüksek bulunmuştur. Mikrodalga-vakum kurutmanın rehidrasyon özellikleri, daha düşük sistem basıncında ve daha yüksek mikrodalga gücünde kurutularak daha da geliştirilebileceği rapor etmişlerdir Kantrong vd. [205], 18,66, 29,32, 39,99 ve 50,65 kPa mutlak basınçlar altında 56, 143, 209 ve 267 W mikrodalga güçlerdeki mikrodalga-vakum kurutma yöntemi ile kurutulmuş shiitake mantarlarının rehidrasyon oranlarını belirlemişlerdir. Mikrodalga gücü ve mutlak basınç oranını önemli ölçüde etkilediğini saptamışlardır. Yüksek güçlerde ve düşük mutlak basınçlarda kurutma işlemi rehidrasyon oranlarını iyileştirebileceği rapor etmişlerdir. Sonuç olarak, shiitake mantarının 267 W'da 18.66 kPa altında kurutulması, diğer mikrodalga-vakum koşullarından daha yüksek bir rehidrasyon oranı sağladığını bildirmişlerdir. Kathirvel vd. [264], kişniş (*Coriander sativum* L.), nane (*Mentha spicata* L.), dereotu (*Anethum graveolens* L) ve maydanoz (*Petroselinum crispum* Mill) rehidrasyon özelliklerini incelemişlerdir. Mikrodalga (10, 30, 50, 70 ve 90 W/g) ile kurutulmuş örneklerin rehidrasyon oranı, sıcak hava ile kurutulmuş numunelerden daha yüksek değerlere sahiptir. Rehidrasyon oranı, mikrodalga güç yoğunluğu seviyesinden önemli ölçüde etkilenip rehidrasyon oranı mikrodalga gücü ile pozitif korelasyon göstermiştir.

#### 4.8. Mikroyapı

Farklı kurutma yöntem ve koşullarının, kurutulmuş kuşburnu örneklerinin (kuşburnu etinin enine kesit alanı) mikro yapısında meydana getirdiği değişimleri (üzerindeki etkisi) Taramalı elektron mikroskobu (SEM) altında 1500x ve 500x büyütme oranlarında görüntüler alınarak gözlemlenmiş ve karşılaştırılmıştır. Tablo 4.9'da taze (kontrol) ve kurutulmuş örneklerden alınan kesitlerin mikro yapıları (iç yapısal özellikleri), taramalı elektron mikroskobunda incelenmesi sonucunda elde edilen örneklerle ait mikrograflar gösterilmiştir. Kurutma işlemi uygulanmamış kuşburnu dokularının(kontrol) yapısı incelendiğinde çok sayıda yuvarlak şekilli, ince duvarlı hücrelerden oluştuğu ve neredeyse görünür hiçbir hücreler arası boşluk bulunmadığı saptanmıştır. Kurutulmuş örneklerin mikroyapısı taze (kontrol) örnek ile karşılaştırıldığında kuşburnu dokularını oluşturan hücrelerin yerleşimlerinin bozulduğu ve düzensiz şekillendiği, hücrelerin kopmasıyla çok sayıda bozulmuş hücre duvarların olduğu görülmüştür.

Dondurarak kurutma (DK) sırasında donmuş örnek sert kalır ve nem doğrudan katı durumdan buhar durumuna süblime olur. Bu sertlik büyük ölçüde kuruduktan sonra katı matrisin çökmesini önlemiş ve yapı içinde çok sayıda (süngerimsi bir yapı oluşturan) küçük gözenekler bırakmıştır [267]. DK'da herhangi bir ısı hasarı olmaması nedeniyle hücre hasarının azalmasına ve dış kuvvetlere direnç gösterme yeteneğinin zayıf olduğu gözenekli bir bal peteği

tipine benzer bir mikro yapıya neden olmuştur. Ayrıca dondurarak kurutulmuş örneklerin hücre duvarları, mikrodalga-vakum (MV) örneklerinden daha yumuşak ve daha ince görünmüştür [267, 268]. DK örnekleri, süngerimsi bir yapı oluşturan düzgün küçük gözenekli, korunmuş hücrel bütünlük göstermiştir [269].

Sıcak hava (SH) yöntemi ile kurutulmuş örneklerde hiçbir açık yapı görülmemiş ve hücre duvarları önemli ölçüde büzüldüğü için gözeneksiz bir yapı ortaya koymuştur. Bu da sıcak havayla kurutma sırasında ciddi doku büzülmesini ve çökmesini göstermiştir [267, 270, 271]. Ayrıca hücre duvarları çökmesiyle birbirinin üzerine sıkıca (compactly) istiflenmiş olup sıkışık bir yapı (compact, packed) oluşmuştur. Meyvelerde suyun buharlaşma hızı düşük kuruma sıcaklığında yavaştır, nem gradyanı düşük iç gerilime neden olan meyvenin merkezi ve yüzeyi arasında küçüktür. Aynı zamanda, düşük kuruma hızından dolayı meyve düşük kuruma sıcaklığında daha uzun süre ısıya maruz kalır ve bu hücre duvarlarının çökmesine veya birleşmesine neden olabileceği bildirilmiştir [271].

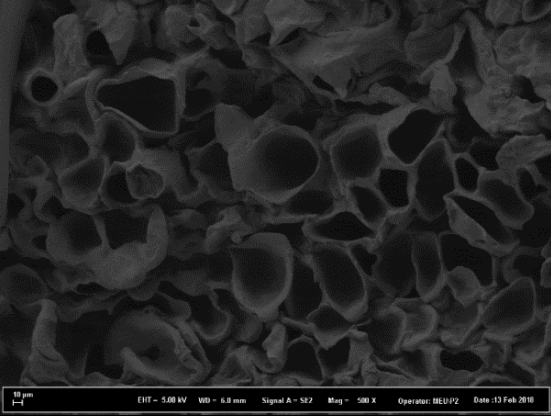
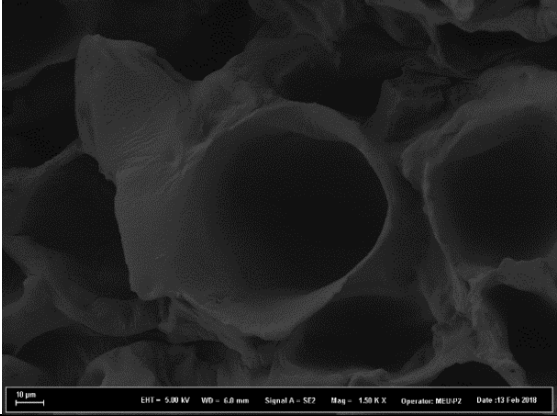
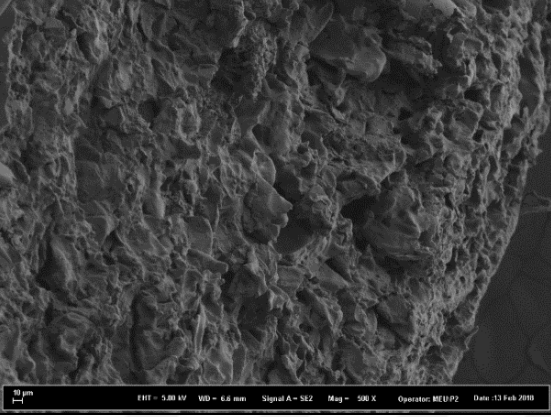
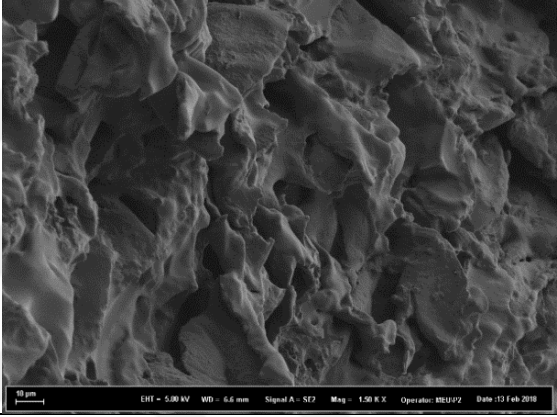
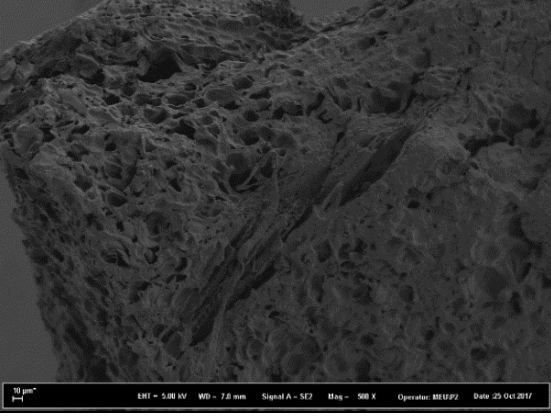
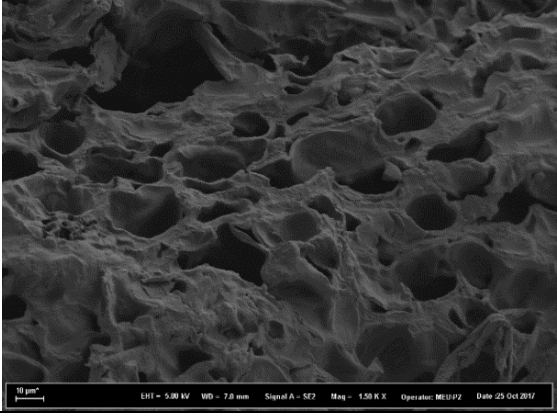
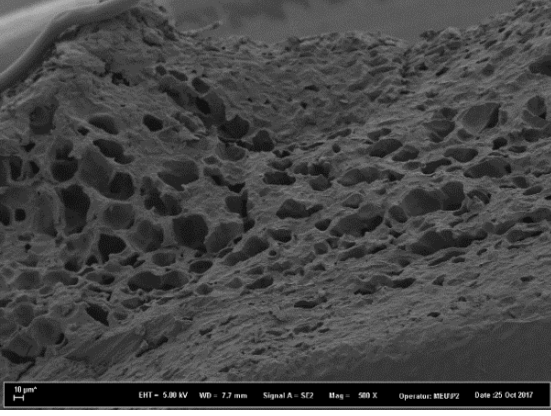
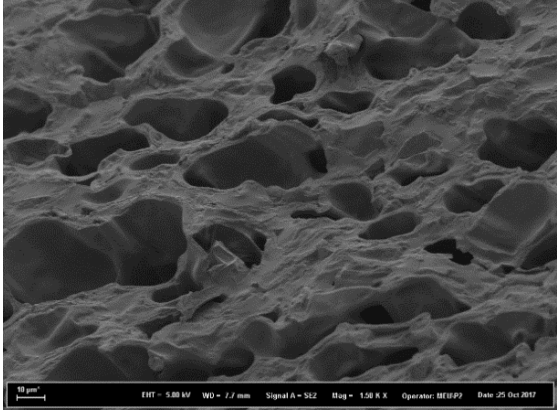
Mikrodalga-vakum (MV) uygulaması vakum seviyesinden bağımsız olarak kurutulmuş örneklerinin güçlü gözenekli, açık ve düzensiz bir yapı ile karakterize olduğu görülmektedir. MV ile kurutulmuş örneklerin yapısı, mikrodalganın hızlı hacimsel ısıtması ile ürünün iç basıncı hızlı buharlaşan su buharı ile artması ve bununla birlikte (beraber) kurutma ortamının basıncı, mikrodalga-vakum (VM) kurutması sırasında düşük tutulması örnek içindeki toplam basınç gradyanının arttırdığından dolayı daha önceki çalışmalarda (havuç ve patates dilimlerini yapısında olduğu gibi) olduğu gibi örneğin yapısını şişirmiş ve genişletmiş olabileceğini bildirilmiştir. Yani bu oluşan basınç farkı, örneğin orijinal boyutların ötesine genişlemesine neden olarak şişirme etkisi yaratarak dışa doğru bir kuvvet oluşturduğu ve bu da gözenekliliği arttırabileceğini rapor etmişlerdir [263, 272]. Bu çalışmada mikrodalga-vakum ile kurutulmuş örneklerin SEM (Taramalı Elektron Mikroskopundan)'den elde edilen yapısal görüntüleri ile aynı yöntem ile kurutulmuş literatürdeki nane yapraklarının [263], patates dilimlerinin [273], Çin zencefil kökünün [265] ve mantarların [202] yapısal görüntüleriyle tutarlıydı.

Mikrodalga-vakum (MV) ile kurutulan örneklerin mikrografları, DK ile karşılaştırıldığında, gözenek sayısı daha azdır ve gözeneklerin boyutları daha büyüktür [274]. Benzer olarak Laurindo vd. [275], MV ile kurutulmuş domates ve havuç örneklerinde DK ile kurutulmuş örneklerden daha büyük gözenekler göstermiştir. Ayrıca Durance vd. [267], elma cipsinin dokusunu gözlemlediği çalışmasına benzer olarak dondurarak kurutulmuş örneklerinin hücre duvarları, mikrodalga-vakum örneklerinden daha yumuşak ve daha ince olduğu gözlemlenmiştir. Bununla birlikte MV ve DK ile kurutulmuş örneklerinin taramalı elektron mikrograflarında, birçok gözenek ve kısmen homojen gözenek büyüklüğüne sahip olduğu gözlemlendiğimizden mikroyapılarının benzer olduğu söylenebilir. DK ürün yapısını koruma eğilimindeyken, MV kurutma süreci ise bu yapıyı genişletme eğilimindedir [275]. SH ile kurutulan

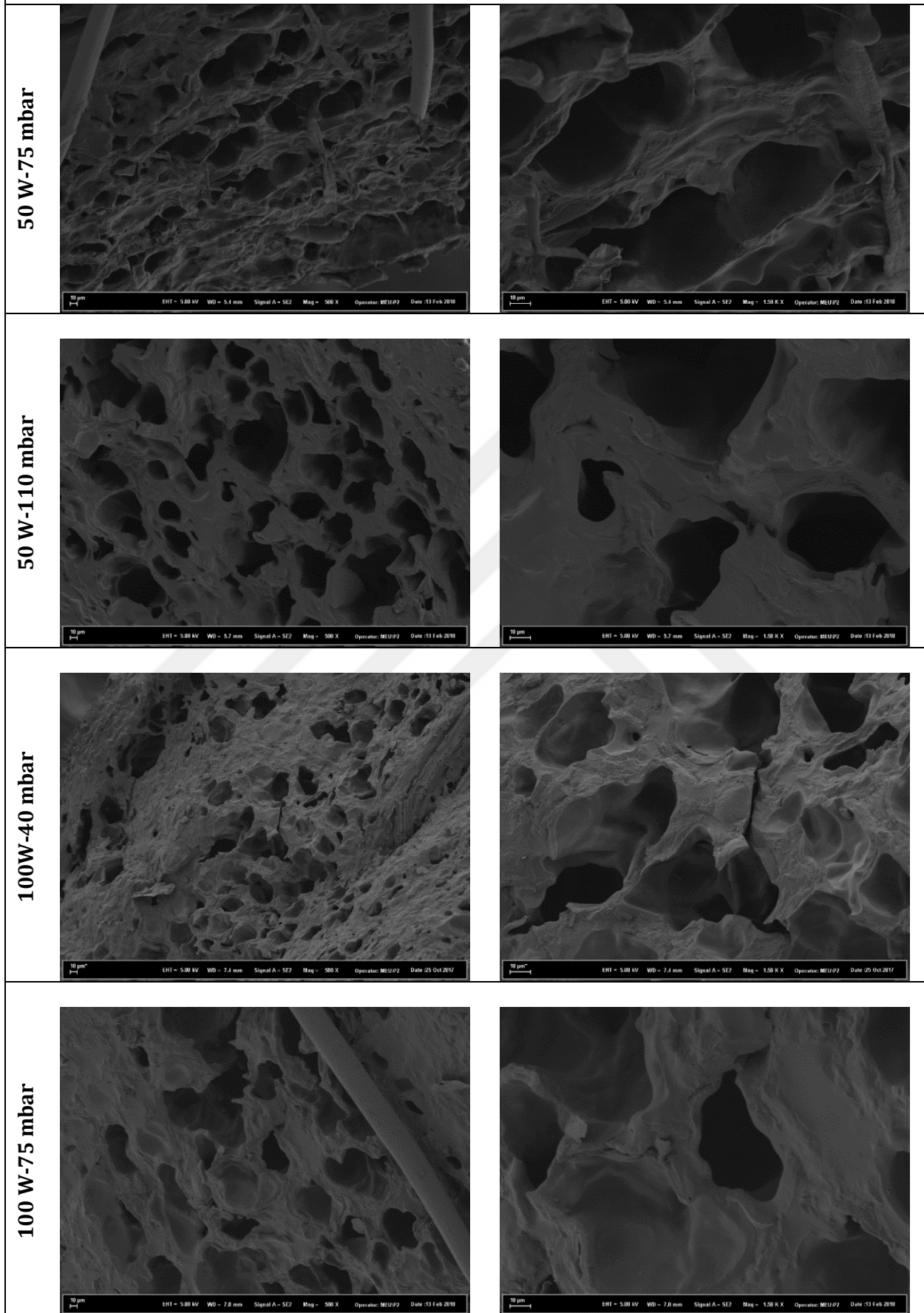
örneklerde ise MV ve DK ile kurutulmuş örneklerin tersine gözenekli bir yapısı gözlenmemiştir. MV kurutmada birbirine sıkıca bağlı ve şişmiş hücreler bir petek ağ yapısı gibi olduğu gözlenmiştir. Bunun daha kısa kuruma süresi, düşük kuruma sıcaklığı ve iç su buharından bir miktar doku genleşmesinden (genişlemesinden) kaynaklanabileceği bildirilmiştir [202, 267]. MV ile kurutulmuş örnekleri SH ile kıyasla yüksek gözenekliliklerin ve açık yapılarının bir sonucu olarak dondurarak kurutulmuş örneklerle benzer iyi bir rehidrasyon kabiliyeti ile karakterize olduğunu ileri sürülebilir [273].

Giri vd. [202], taramalı elektron mikroskobu altında farklı kurutma yöntem ve koşullarının kurutulmuş mantarların yapısı üzerindeki etkisi gözlenmiştir. SH ile kurutulmuş (60°C, 1.5 m/s) örneklerde ciddi doku büzülme (daralma, küçülme) ve çökmesi gösterdiğinden MV ile kurutulmuş (10 ve 20 kPa) örneklerle kıyasla çok daha az açık yapı ve gözeneklere sahip olduğunu gözlemlemişlerdir. Mikrodalga-vakum kurutmada daha yüksek vakum koşullarında (10 kPa) kurutulan örneklerin daha gözenekli olduğunu bildirmişlerdir. Therdthai vd. [265], kurutulmuş Çin zencefili yapısal özelliklerini incelemişlerdir. Sıcak hava ile kurutulmuş (60 ° C ve 70 ° C'de 1 m/s hızda) örneklerin yapısı sert bir yüzey ve büzülmeye neden olan yavaş bir kurutma işlemi nedeniyle sıkışık (doluydu-packed) ve yoğun (dense) olduğunu; buna karşılık, mikrodalga-vakum ile kurutulmuş (13.33 kPa basınçta 2880 W ve 3360 W mikrodalga güçlerde) örneklerin yapısı, düşük basınçlarda ve mikrodalganın hızlı ısıtması nedeniyle gözenekli olduğunu rapor etmişlerdir. Durance vd. [267], Taramalı elektron mikroskobu altında farklı kurutma yöntemlerinin elma cipsi yapısına etkisini incelemişlerdir. Sıcak hava ile kurutulan (70 ° C) elma cipsilerin şiddetli doku büzülmesi ve hücre çökmesi gösterdiğinden neredeyse hiçbir açık yapı (gözenek) göstermediğini belirtmişlerdir. Buna karşılık vakum mikrodalgada (1,5 kW-28 mmHg) daha az büzülme, sıkı sıkı bağlanmış ve kabarık görünümlü hücrelerden oluşan bir petek ağ yapısı gözlemlendiği, dondurarak kurutulmuş örnekte ise test edilen tüm örneklerden daha az doku büzülmesi veya hücre çökmesi ile vakum mikrodalgaya benzer bir petek ağ yapısı gözlemlendiği bildirilmiştir. Bununla birlikte, dondurularak kurutulmuş örneklerin hücre duvarları, MV ile kurutulmuş örneklerininkine kıyasla daha ince görüldüğünü rapor etmiştir [267].

**Tablo 4.9.** Taze ve kurutulmuş kuşburnu örneklerinin mikroyapı görüntüleri

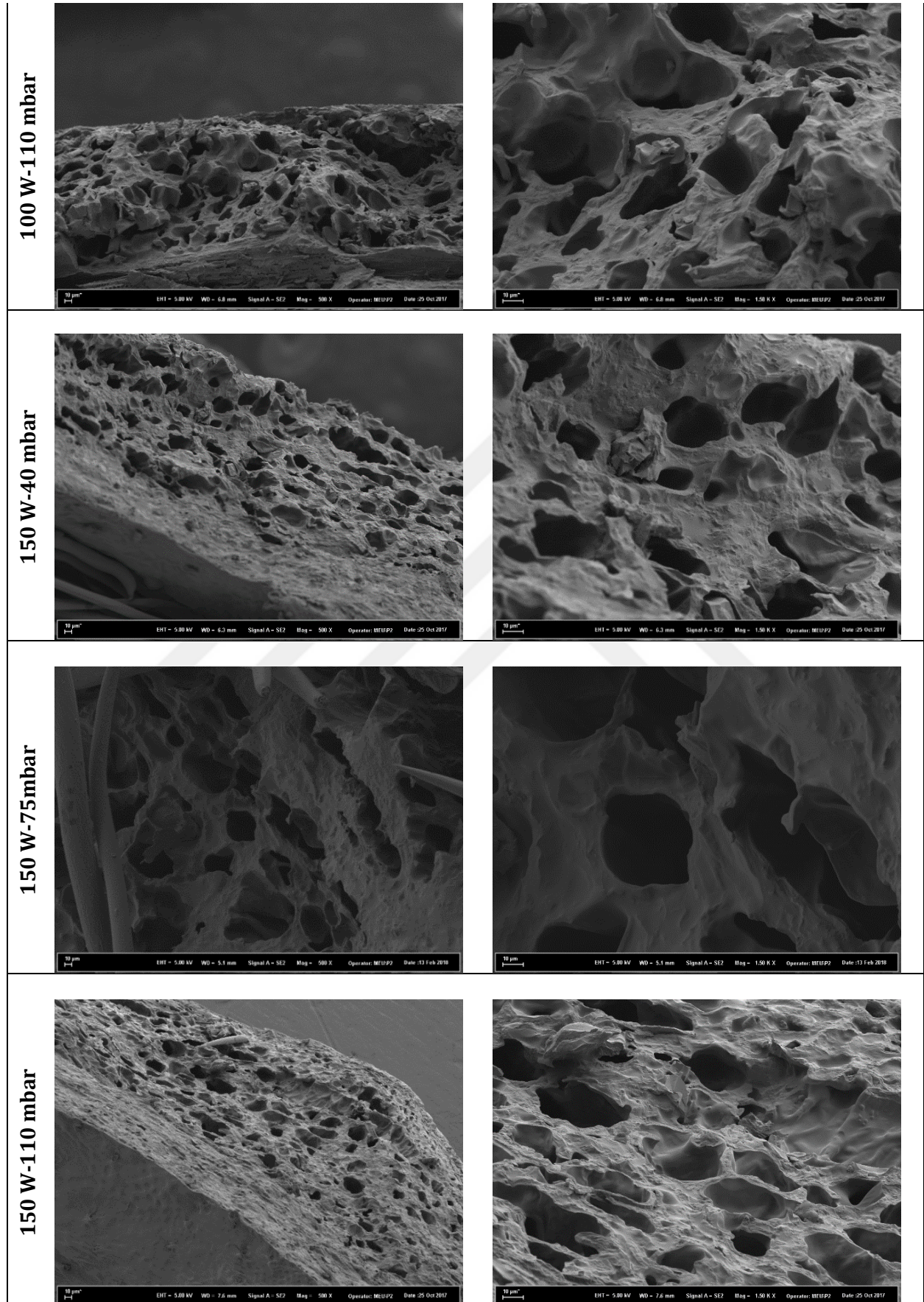
	500X	1500X
Taze örnek	 <p>10 µm EHT = 5.00 kV WD = 6.8 mm Signal A = SE2 Mag = 500 X Operator: MEUPFZ Date:13 Feb 2018</p>	 <p>10 µm EHT = 5.00 kV WD = 6.8 mm Signal A = SE2 Mag = 1500 X Operator: MEUPFZ Date:13 Feb 2018</p>
Sıcak hava ile kurutma	 <p>10 µm EHT = 5.00 kV WD = 6.6 mm Signal A = SE2 Mag = 500 X Operator: MEUPFZ Date:13 Feb 2018</p>	 <p>10 µm EHT = 5.00 kV WD = 6.6 mm Signal A = SE2 Mag = 1500 X Operator: MEUPFZ Date:13 Feb 2018</p>
Dondurarak kurutma	 <p>10 µm EHT = 5.00 kV WD = 7.8 mm Signal A = SE2 Mag = 500 X Operator: MEUPFZ Date:25 Oct 2017</p>	 <p>10 µm EHT = 5.00 kV WD = 7.8 mm Signal A = SE2 Mag = 1500 X Operator: MEUPFZ Date:25 Oct 2017</p>
50 W-40m bar	 <p>10 µm EHT = 5.00 kV WD = 7.7 mm Signal A = SE2 Mag = 500 X Operator: MEUPFZ Date:25 Oct 2017</p>	 <p>10 µm EHT = 5.00 kV WD = 7.7 mm Signal A = SE2 Mag = 1500 X Operator: MEUPFZ Date:25 Oct 2017</p>

Tablo 4.9. Devamı.





Tablo 4.9. Devamı.



## 5. SONUÇLAR ve ÖNERİLER

Kuşburnu, başta en yüksek askorbik asit olmak üzere birçok yüksek besin içeriğine sahip olduğu ve sağlık üzerine yararlı etkileri olduğu bilinmektedir. Bundan dolayı gerek gıda ve ilaç sanayiinde gerek yöresel olarak işlemede geniş bir kullanım alanına sahiptir. Kurutma yöntemleri böyle yüksek besin içeriğine sahip ürünleri korumakta büyük öneme sahiptir. Bu çalışmada, ürün yapısına en az zarar veren kurutma yöntemi olarak bilinen DK, sanayide yaygın olarak kullanılan SH ile kurutma ve bunlara alternatif olarak son yıllarda kullanımı artan mikrodalga-vakum kurutma yöntemlerinin kuşburnu kuruma süresi ve kalitesi üzerine etkileri saptanmıştır. MV ile kurutma, yeni tasarlanan mikrodalga-vakum sistemi ile farklı güç (50, 100 ve 150) ve basınçlarda (40, 75, 110) yapılmıştır. Ayrıca sistem basıncı ve mikrodalga gücünün de kuşburnu kuruma süresi ve hızı ve kalitesi üzerine etkisi saptanmıştır. Kurutulmuş kuşburnu örneklerin kalite kriterleri TFM miktarı, toplam antioksidan aktivite, askorbik asit miktarı, renk, RO ve mikro yapı açısından değerlendirilmiş ve farklı kurutma yöntemleri arasında sonuçlar karşılaştırılmıştır.

Mikrodalga vakum (MV) kurutma yönteminde, kurumanın hızlı ve kısa sürede gerçekleşmesi bu yöntemi cazip kılan özelliklerden bir tanesidir. Sıcak hava kurutmaya kıyasla kurutma süresini büyük ölçüde (SH ile kurutma yöntemine kıyasla %79.69-92.19 arası oranlarında) kısaltmıştır. Bu da enerji maliyeti açısından ve zaman tasarrufu açısından büyük öneme sahiptir. Kurutma işleminin hızlı ve kısa sürede gerçekleşiyor olması diğer yöntemlere alternatif olarak kullanılabilir.

Farklı yöntemleri ile kurutulmuş bütün örneklerin TFM ve toplam antioksidan aktivite miktarlarının artması ile sonuçlanmıştır. MV ile kurutulmuş örneklerin TFM ve toplam antioksidan aktivite miktarı DK örneklerine benzer ve daha yüksek miktarda saptanırken SH örneğinde en düşük miktarda bulunmuştur. MV ile kurutulmuş örnekler arasında TFM miktarı en yüksek 150 W-75 mbar örnekte bulunmuştur. Antioksidan aktivite miktarı FRAP yöntemi ile en yüksek 100 W-110 mbar örnekte bulunurken DPPH yönteminde ise örnekler arasında istatistiksel olarak anlamlı bir fark bulunmamıştır.

DK yöntemi ile kurutulmuş örnek ile taze (kontrol) örneğin askorbik asit miktarları arasında istatistiksel açıdan anlamlı fark olmayıp en yüksek askorbik asit korunumu bu yöntemi ile olmuştur. Bunu %74,55-89,54 oranları arasında korunduğu saptanmış olan MV ile kurutulmuş örnekler takip etmiştir. MV örnekleri arasında en düşük güç ve mutlak basınçta (50 W-40 mbar) kurutulmuş örneklerde en iyi korunmuştur. SH ile kurutulmuş örneklerde ise en düşük miktarda askorbik asit içerip %48,7 oranında korunmuştur.

Kurutma, bitki materyalinin yapısında ve özelliklerinde birçok fiziksel değişikliklere neden olur. Bu fiziksel özellikler arasında renk, rehidrasyon oranı (RO) ve tanenin mikroyapısı özellikleri kurutulmuş örneklerin kalitesini belirlemede kullanılmıştır.

Kurutulmuş örnekler su içerisinde bekletildiği zaman taze halde içerdiği su miktarına en yakın oranda su alarak eski haline gelmesi istenir. Bundan dolayı RO yüksek olması istenir Aksi takdirde, düşük olması ürünün hüresel ve yapısal olarak bozulma derecesinin yüksek olduğu anlamına gelir. 150 W güçlerdeki MV ile dondurarak kurutulmuş örneklerde en yüksek RO saptanmış olup taze halde içerdiği su miktarına en yakın su rehidre eden örnekler olmuştur. SH ile kurutulan örnekte ise en düşük RO'na sahip olup yapısal bozulma derecesi daha yüksek olmuştur.

Mikroyapı özellikleri bakımından, sıcak hava ile kurutulan örnekler DK ve MV yöntemleri kullanarak kurutulan örneklerden önemli ölçüde farklı olduğu tespit edilmiştir. SH ile kurutulan örnekler gözeneksiz bir yapı ile karakterize edilirken DK ve MV ile kurutulan örnekler yüksek gözeneklilikle karakterize edilmiştir. MV ile kurutulmuş örnekler DK örneklerine benzer veya daha büyük gözeneklere sahip olmuştur. Bu da taze haldeki örnek gözeneklerin kısmen koruduğunu göstermiştir.

Kurutma işlemi yapılmış gıda ürünlerinde renk önemli görünüm özelliklerdendir. MV ve DK ile kurutulmuş örneklerde toplam renk değişimi ( $\Delta E$ ) SH ile kurutulan örneklere göre daha yüksek bulunmuştur. MV ve DK örneklerinde renk değişiminin yüksek olması kırmızılık değerinin ciddi şekilde artmasından kaynaklanmıştır. Renk değişiminin yüksek olmasına karşın görünüş olarak SH örneklerine kıyasla taze (kontrol) örneğe daha yakın olduğu sonucuna varılmıştır. Ayrıca Bazı MV örneklerin DK örneklerine benzer toplam renk değişimi ve kırmızılık değerleri ( $a^*$ ) göstermesi MV kurutma yönteminin renk kalitesini olumlu yönde etkilediğini göstermiştir.

Mikrodalga-vakum ile kurutulmuş örneklerin bütün kimyasal ve fiziksel kalite kriterleri yönünden SH ile kurutulmuş örneklerden üstün olduğu ve birçok kimyasal ve fiziksel kalite kriterleri yönünden DK örneklerine benzer veya daha üstün olduğu yapılan analizler sonucunda ortaya konmuştur. Ayrıca MV yönteminin kuruma süresinin diğer yöntemlerden çok daha kısa olması avantaj sağlamıştır. Bu sonuçlar ışığında mikrodalga- vakum tekniğinin umud vaad eden bir kurutma yöntemi olduğunu söyleyebiliriz. Diğer kurutma yöntemlerine alternatif bir kurutma yöntemi olabileceği düşünülmektedir. Ayrıca MV kurutma işlemi sırasında sıcaklık kontrolü sağlayan bir sistemin olması, mikrodalga gücünün gerektiği zaman artırılması veya azaltılması kalite özelliklerini, özellikle askorbik asit içeriğini daha da iyileştirebilir. Bununla beraber MV uygulamasını dondurarak kurutma yöntemi ile kombine edilmesi kalite özelliklerini geliştirebilir.

## 6. KAYNAKLAR

- [1]. Parit, R. K. ve Prabhu, M. C. S. (2017). Microwave fruit and vegetables drying. *Engineering and Technology*, 4, 82–84. doi:10.17148/IARJSET/NCETETE.2017.26.
- [2]. Drouzaf, A. E., Schuberp, H. (1996). Microwave application in vacuum drying of fruits. *Joumul of Food Engineeting*, 28(2), 203–209.
- [3]. Flores, A., Melin, P., Borquez, R. (2015). Effect of vacuum microwave drying on the quality and storage stability of strawberries. *Journal of Food Processing and Preservation*, 1–12. doi:10.1111/jfpp.12691.
- [4]. Chou, S. K. ve Chua, K. J. (2001). New hybrid drying technologies for heat sensitive foodstuffs. *Trends in Food Science & Technology*, 12, 359–369.
- [5]. Orsat, V., Changrue, V., Raghavan, V. G. S. (2006). Microwave drying of fruits and vegetables. *An international journal for reviews in postharvest biology and technology*, 2(6), 1–7. doi:10.2212/spr.2006.6.4.
- [6]. Grabowski S, Marcotte M., Ramaswamy HS. (2003). *Drying of fruits, vegetables, and spices*. In: *Handbook of Postharvest Technology*. Marcel Dekker, New York.
- [7]. Ramos, I. N., Brandão, T. R. S., Silva, C. L. M. (2003). Structural changes during air drying of fruits and vegetables. *Food Sci Tech Int*, 9(3), 201–206. doi:10.1177/1082013030335522
- [8]. Devahastin, S., Niamnuy, C. (2010). Invited review modelling quality changes of fruits and vegetables during drying : a review. *International Journal of Food Science and Technology*, 45, 1755–1767. doi:10.1111/j.1365-2621.2010.02352.x.
- [9]. Unal, H. G., Sacılık, K. (2010). Drying characteristics of hawthorn fruits in a convective hot-air dryer. *Journal of Food Processing and Preservation*, 35(2), 272–279. doi:10.1111/j.1745-4549.2009.00451.x.
- [10]. Maskan, M. (2000). Microwave / air and microwave finish drying of banana. *Joumul of Food Engineeting*, 44, 71–78.
- [11]. Durance, T. D., Wang, J. H. (2002). Energy consumption , density , and rehydration rate of vacuum microwave- and hot-air convection- dehydrated tomatoes. *Food Engineering and Physical Properties Energy*, 67(6), 2212–2216.
- [12]. Samoticha, J., Wojdy, A., Lech, K. (2016). The influence of different the drying methods on chemical composition and antioxidant activity in chokeberries. *Food Science and Technology*, 66, 484–489. doi:10.1016/j.lwt.2015.10.073.
- [13]. Argyropoulos, D., Heindl, A., Müller, J. (2011). Assessment of convection , hot-air combined with microwave- vacuum and freeze-drying methods for mushrooms with regard to product quality. *International Journal of Food Science and Technology*, 46, 333–342. doi:10.1111/j.1365-2621.2010.02500.x.

- [14]. Lin, T. M., D. Durance, T., Scaman, C. H. (1998). Characterization of vacuum microwave, air and freeze dried carrot slices. *Food Research International*, 31(2), 111–117. doi:10.1016/S0963-9969(98)00070-2.
- [15]. Cohen, J. S., Yang, T. C. S. (1995). Progress in food dehydration. *Trends in Food Science and Technology*, 6(1), 20–25. doi:10.1016/S0924-2244(00)88913-X
- [16]. Yongsawatdigul, J., Gunasekaran, S. (1996). Microwave-vacuum drying of cranberries: Part II. Quality evaluation. *Journal of Food Processing and Preservation*, 20(2), 145–156. doi:10.1111/j.1745-4549.1996.tb00851.x.
- [17]. Petrucci, V. E., Clary, C. D. (1989). *Vacuum microwave drying of food products. Final Report (No. 2897-3)*. California State University at Fresno, Fresno, CA.
- [18]. Günes, M. (2013). Pomological and phenological characteristics of promising rose hip (*Rosa*) genotypes. *African Journal of Biotechnology*, 9(38), 6301–6306. doi:10.4314/ajb.v9i38
- [19]. Demir, F., Özcan, M. (2001). Chemical and technological properties of rose (*Rosa canina* L.) fruits grown wild in Turkey. *Journal of Food Engineering*, 47(4), 333–336. doi:10.1016/S02608774(00)001291d.
- [20]. Türkben, C., Uylaşer, V., Incedayi, B., Çelikkol, I. (2010). Effects of different maturity periods and processes on nutritional components of rose hip (*Rosa canina* L.). *Journal of Food, Agriculture and Environment*, 8(1), 26–30.
- [21]. Chrubasik, C., Roufogalis, B.D., Muller-Ladner, U., Chrubasik, S. (2008). A systematic review on the *Rosa canina* effect and efficacy profiles. *Phytotherapy Research: PTR*, 22 (6), pp. 725-733.
- [22]. Larsen, E., Kharazmi, A., Christensen, L. P., Christensen, S. B. (2003). An antiinflammatory galactolipid from rose hip (*Rosa canina*) that inhibits chemotaxis of human peripheral blood neutrophils in vitro. *Journal of Natural Products*, 66(7), 994–995. doi:10.1021/np0300636.
- [23]. Demir, N., Yildiz, O., Alpaslan, M., Hayaloglu, A. A. (2014). Evaluation of volatiles, phenolic compounds and antioxidant activities of rose hip (*Rosa* L.) fruits in Turkey. *LWT Food Science and Technology*, 57(1), 126–133. doi:10.1016/j.lwt.2013.12.038.
- [24]. Davis, P. H. (ed.). (1972). *Flora of Turkey and the East Aegean Islands*. Edinburgh: Edinburgh at the University Press, Vol. 4, pp. 101-139.
- [25]. Aghamirov, U. M., Farzaliev, V. S. (2005). Evaluation of five introduced rose species in Azerbaijan, *Acta Horticulturae*. 690, 49-55
- [26]. Ercisli, S. (2005). Rose (*Rosa* spp.) germplasm resources of Turkey. *Genetic Resources and Crop Evolution*, 52(6), 787–795. doi:10.1007/s10722-003-3467-8
- [27]. Kazaz S., Kelen M. 1999. A research on the effects of the harvest hours and waiting times on the quantity of rose oil in *Rosa damascena* Mill. III. *National Horticulture Congress*, pp. 1042–1045.

- [28]. User E.T. (1967). *Memleketimizde Orta ve Kuzey Anadolu'da Yetişen Kuşburnunun C Vitamini Bakımından Durumu, Bununla İlgili Halk Gelenekleri Hakkında Bir Araştırma*. Türk Hijyen ve Tecrubi Biyoloji Dergisi, 27(1), 39-63
- [29]. Ercişli, S., Güleriyüz, M. (2005). Rose hip utilization in Turkey. *Acta Horticulturae*, 690, 77-82. doi:10.17660/ActaHortic.2005.690.10
- [30]. Bostan, S. Z., Karakuş, S. (2017). *Akıncılar (Sivas) yöresinde doğal olarak yetişen kuşburnu genotiplerinin (rosa spp.) seleksiyon yoluyla ıslahı*. Nevşehir Bilim ve Teknoloji Dergisi, 6, 215-225. doi:10.17100/nevbiltek.333743
- [31]. Güneş, M. (2017). "Yıldız" kuşburnu (*Rosa canina*) çeşidinin bazı fenolojik, pomolojik ve morfolo. *Journal of Agricultural Faculty of Gaziosmanpaşa University*, 34(2017-1), 170-178. Doi:10.13002/jafag4195.
- [32]. Ercisli, S. (1996). *Selection and propagation of some rose species in Gumushane district*. Ph.D. thesis, Ataturk University, p. 190.
- [33]. Werlemark, G. (2009). Dogrose: wild plant, bright future. *International Society for Horticultural Science (ISHS)*.49, 8-13.
- [34]. Joublan, J. P., Rios, D. (2005). Rose culture and industry in Chile. *Acta Horticulturae*, (690), 65-70. doi:10.17660/actahortic.2005.690.8
- [35]. Censkowsky, U., Helberg U., Nowack A., Steidle, M. (2007). Overview of world production and marketing of organic wild collected products. *International Trade Centre UNCTAD/WTO* 20-34. Doc. No. MDS-07-139.E
- [36]. Tarım ve Orman Bakanlığı (2019). 2002-2017 Yılları organik tarım istatistikleri. 24 Haziran 2019 tarihinde <https://www.tarimorman.gov.tr/Konular/Bitkisel-Uretim/Iyi-TarimUygulamalari/Istatistikler> adresinden erişildi.
- [37]. Jacoba, R.A. (1999). *Vitamin c modern nutrition in health and disease*, 9th, Williams & Wilkins, Baltimore, pp. 467-473.
- [38]. Nojavan, S., Khalilian, F., Kiaie, F. M., Rahimi, A., Arabanian, A., Chalavi, S. (2008). Extraction and quantitative determination of ascorbic acid during different maturity stages of *Rosa canina* L. fruit. *Journal of Food Composition and Analysis*, 21(4), 300-305. doi: 10.1016/j.jfca.2007.11.007.
- [39]. Ercisli, S. (2007). Chemical composition of fruits in some rose (*Rosa spp.*) species. *Food Chemistry*, 104(4), 1379-1384. doi:10.1016/j.foodchem.2007.01.053
- [40]. Türkben, C. (2003). *Kuşburnu*, Uludağ Üniversitesi Basımevi, 54 p.
- [41]. Özcan, M. (2002). Nutrient composition of rose (*Rose canina* L.) seed and oils. *J. Medicinal Food* 5(3):137-140.
- [42]. Kazankaya, A., Yılmaz, H., Yılmaz, M. (2001). *Selection of native rosehips (Rosa spp.) as grown in Adilcevaz*. Yüzüncü Yıl Üniversitesi, Ziraat Fakültesi, Tarım Bilimleri Dergisi, 11(2):29-34.



- [43]. Strålsjö, L. (2003). *Flotes in berries evaluation of an rpba method to study the effects of cultivar, ripeness, storage and processing*. Doctoral thesis, Agaria No. 368, Swedish University of Agricultural Sciences, 57 p.
- [44]. Illes, V., Szalai, O., Then, M., Daood, H., Perneckzi, S. (1997). Extraction of hiprose fruit by supercritical CO<sub>2</sub> and propane, *J. Supercrit. Fluids* 10:209-218.
- [45]. Machmudah, S., Kawahito, Y., Sasaki, M., Goto, M. (2008). Process optimization and extraction rate analysis of carotenoids extraction from rosehip fruit using supercritical CO<sub>2</sub> . *J. Supercritical Fluids* 44:308- 314.
- [46]. Turkben, C., Uylaser, V., Incedayi, B. (2010). Influence of traditional processing on some compounds of rose hip (*Rosa canina* L.) fruits collected from habitat in Bursa, Turkey. *Asian Journal of Chemistry*, 22(3), 2309–2318.
- [47]. Halvorsen, B.L., Holte, K., Myhrstad, M.C.W., Barikmo, I., Hvattum, E. ve diğerleri. (2002). A systematic screening of total antioxidants in dietary plants. *J. Nutr.* 132:461-471.
- [48]. Gao, X., Uggla, M., Rumpunen, K. (2005). Antioxidant activity of dried and boiled rose hips. *ActaHorticulturae*, 690.
- [49]. Razungles, A., Oszmianski, J., Sapis, J. -C. (1989). Determination of carotenoids in fruits of rosa sp. (*Rosa Canina* and *Rosa Rugosa*) and of chokeberry (*Aronia Melanocarpa*). *Journal of Food Science*, 54(3), 774–775. doi:10.1111/j.1365-2621.1989.tb04709.x.
- [50]. I-yafeai, A., Malarski, A., Böhm, V. (2018). Characterization of carotenoids and vitamin E in *R. rugosa* and *R. canina*: Comparative analysis, 242, 435–442.
- [51]. V. Böhm, K. Fröhlich, R. Bitsch. (2003). Rosehip– A "new" source of lycopene. *Molecular Aspects of Medicine*, 24, pp. 385-389.
- [52]. Strålsjö, L., Alkint, C., Olsson, M. E., Sjöhol, I. (2003). Total folate content and retention in rosehips (*Rosa ssp.*) after drying. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 51(15), 4291–4295. doi:10.1021/jf034208q.
- [53]. Tapiero, H., Tew, K.D., Ba, G.N., Mathe, G. (2002). Polyphenols: do they play a role in the prevention of human pathologies. *Biomedicine & Pharmacotherapy*, 56 (4), pp. 200-207
- [54]. Kazankaya, A. (2001). Adilcevaz yöresinde doğal olarak yetişen kuşburnuların ( *Rosa spp.* ) Seleksiyonu, 11(2), 29–34.
- [55]. Ersoy, N., Salman Özen, M. (2017). Some physico-chemical characteristics in fruits of rose hip (*Rosa spp.*) Genotypes from Bolu Province in Western Part of Turkey. *Агрознање*, 17(2), 191. doi:10.7251/AGREN1602191E.
- [56]. Türkben, C., Berat, E., Çopur, Ö. U., Durgut, E., Himelrick, D. G. (2005). Evaluation of Rose Hips (*Rosa spp.*) Selections, *International Journal of Fruit Science*, 5:2. 113-121. DOI: 10.1300/J492v05n02\_11.

- [57]. Celik, F., Kazankaya, A., Dogan, A., Gundogdu, M., Cangi, R. (2015). Some pomological and biochemical properties of rose hip ( *rosa spp.* ) germplasm, *Acta Horticulturae* 287-292.
- [58]. Beatriz N. P., Monica R. O., Alicia G. K, Antonio De M. (2007). Chemical characterization and evolution of ascorbic acid concentration during dehydration of rosehip (*Rosa eglanteria*) fruits. *American Journal of Food Technology*, 2: 377-387.
- [59]. Koca, I., Ustun, N. S., Koyuncu, T. (2009). Effect of drying conditions on antioxidant properties of rosehip fruits (*Rosa canina* sp.). *Asian Journal of Chemistry*, 21(2), 1061-1068.
- [60]. Abaci, Z. T., Zarifikhosroshahi, M., Kafkas, E., Sevindik, E. (2016). Chemical composition, volatiles, and antioxidant activity of *Rosa iberica* Stev. hips. *Acta Scientiarum Polonorum, Hortorum Cultus*, 15(1), 41-54.
- [61]. Barros, L., Carvalho, A. M., Morais, J. S., Ferreira, I. C. F. R. (2010). Strawberry-tree, blackthorn and rose fruits: detailed characterisation in nutrients and phytochemicals with antioxidant properties. *Food Chemistry*, 120(1), 247-254. doi: 10.1016/j.foodchem.2009.10.016.
- [62]. Guimarães R., Barros L., Carvalho A., Ferreira I.C.F.R. (2010). Studies on chemical constituents and bioactivity of *Rosa micrantha*: An alternative antioxidants source for food, pharmaceutical, or cosmetic applications. *J. Agric. Food Chem.* 58: 6279.
- [63]. Fan, C., Pacier, C., Martirosyan, D. M., Martirosyan, D. (2014). Rose hip (*Rosa canina* L): A functional food perspective. *Functional Foods in Health and Disease*, 4(11), 493-509. <http://functionalfoodscenter.net/files/98822731.pdf> adresinden erişildi.
- [64]. Kharazmi, A., Winther, K. (1999). Rose hip inhibits chemotaxis and chemiluminescence of human peripheral blood neutrophils in vitro and reduces certain inflammatory parameters in vivo. *Inflammopharmacology*, 7(4), 377-386. doi:10.1007/s10787-999-0031-y.
- [65]. Murathan, Z. T., Zarifikhosroshahi, M., Kafkas, E. (2016). Characterization of bioactive compounds in rosehip species from east anatolia region of Turkey. *J. Food Sci.* 28 (August), 314-326.
- [66]. Yoo, K. M., Lee, C. H., Lee, H., Moon, B., Lee, C. Y. (2008). Relative antioxidant and cytoprotective activities of common herbs. *Food Chemistry*, 106(3), 929-936. doi:10.1016/j.foodchem.2007.07.006.
- [67]. Gao X, Björk L, Trajkovski V, Uggla M, (2000). Evaluation of antioxidant activities of rosehip ethanol extracts in different test systems. *J. Sci. Food Agric*, 80(14):2021-2027.
- [68]. Egea, I., Sánchez-Bel, P., Romojaro, F., Pretel, M. T. (2010). Six edible wild fruits as potential antioxidant additives or nutritional supplements. *Plant Foods for Human Nutrition*, 65(2), 121-129. doi:10.1007/s11130-010-0159-3.
- [69]. Su, L., Yin, J. J., Charles, D., Zhou, K., Moore, J., Yu, L. (Lucy). (2007). Total phenolic contents, chelating capacities, and radical-scavenging properties of black peppercorn, nutmeg, rosehip,



cinnamon and oregano leaf. *Food Chemistry*, 100(3), 990–997. doi:10.1016/j.foodchem.2005.10.058.

[70]. Jabłonska-Ryś, E., Zalewska-korona, M., Kalbarczyk, J. (2009). Antioxidant capacity, ascorbic acid and phenolics content in wild edible fruits. *Journal of Fruit and Ornamental Plant Research*, 17(2), 115–120.

[71]. Olsson M. E, Andersson S, Werlemark G, Uggla M., Gustavsson K. E. (2005). Carotenoids and phenolics in rose hips. *Acta Horticulturae*, 690: 249–252.

[72]. Ercişli, S., Eşitken.A. (2004) Fruit characteristics of native rose hip (*Rosa spp.*) selections from the Erzurum province of Turkey, *New Zealand Journal of Crop and Horticultural Science*, 32:1, 51-53, DOI: 10.1080/01140671.2004.9514279.

[73]. Ersoy, N., Salman Özen, M. (2017). Some physico-chemical characteristics in fruits of rose hip (*Rosa spp.*) genotypes from Bolu province in Western Part of Turkey. *Агрознање*, 17(2), 191. doi:10.7251/AGREN1602191E.

[74]. Olsson, M. E., Gustavsson, K. E., Andersson, S., Nilsson, A. ve Duan, R. D. (2004). Inhibition of cancer cell proliferation in vitro by fruit and berry extracts and correlations with antioxidant levels. *Journal of Agricultural and Food Chemistry* 52:7264-7271.

[75]. Bhawe, A., Schulzova, V., Chmelarova, H., Mrnka, L., Hajslova, J. (2017). Assessment of rosehips based on the content of their biologically active compounds. *Journal of Food and Drug Analysis*, 25(3), 681–690. doi:10.1016/j.jfda.2016.12.019.

[76]. Alp, S., Ercişli, S., Jurikova, T., Cakir, O., Gozlekci, S. (2016). Bioactive content of rose hips of different wildy grown *Rosa dumalis* Genotypes. *Notulae Botanicae Horti Agrobotanici Cluj-Napoca*, 44(2).

[77]. Barros, L., Carvalho, A. M., Ferreira, I. C. F. R. (2011). Exotic fruits as a source of important phytochemicals: Improving the traditional use of *Rosa canina* fruits in Portugal. *Food Research International*, 44(7), 2233–2236. doi:10.1016/j.foodres.2010.10.005.

[78]. Guerrero C, J., Ciampi P, L., Castilla C, A., Medel S, F., Schalchli S, H., Hormazabal U, E., Alberdi L, M. (2010). Antioxidant capacity, anthocyanins, and total phenols of wild and cultivated berries in Chile. *Chilean journal of agricultural*.

[79]. Elmastaş, M., Demir, A., Genç, N., Dölek, Ü., Güneş, M. (2017). Changes in flavonoid and phenolic acid contents in some *Rosa* species during ripening. *Food Chemistry*, 235, 154–159. doi:10.1016/j.foodchem.2017.05.004.

[80]. Türkben, C., Çopur, U., Tamer, E., Senel, Y., (1996). *Bursa yöresinde dogal olarak yetisen kusburnu (Rosa Spp.) meyvelerinin bazı özelliklerinin belirlenmesi üzerine bir araştırma*. Kusburnu sempozyumu bildiri Kitabı, 809-814, Gümüşhane.

[81]. Ercişli, S., Güteryüz, M. (1996). The breeding of roses by selection method. Rose hip symposium, Gümüşhane. p.157-167.

- [82]. Cınar İ, Colakoğlu AS (2005). Potential health benefits of rose hip products. Proceedings of the first international rose hip conference. *Acta Hort.* 690; 253–257.
- [83]. Kharazmi, A., Winther, K., Rein, E., (2000). Rose-hip formulations as anti-inflammatory natural medicine for alleviating/reducing symptoms associated with inflammation and arthritis. US Patent number 6024960.
- [84]. Beattie, J., Crozier, A., Duthie, G. G. (2005) Potential health benefits of berries. *Current Nutrition & Food Science*, 71-86.
- [85]. Patel, S. (2017). Rose hip as an underutilized functional food: Evidence-based review. *Trends in Food Science and Technology*, 63, 29–38. doi:10.1016/j.tifs.2017.03.001
- [86]. Kadakal, Ç., Duman, T., Ekinçi, R. (2017). Thermal degradation kinetics of ascorbic acid, thiamine and riboflavin in rosehip (*Rosa canina* L) nectar. *Food Science and Technology*, in press, 1–7. doi:10.1590/1678-457x.11417.
- [87]. Yoğurtçu, H., Kamaşlı, F. (2006). Determination of rheological properties of some pekmez samples in Turkey. *Journal of Food Engineering*, 77(4), 1064–1068. doi:10.1016/j.jfoodeng.2005.08.036.
- [88]. Sagdic, O., Toker, O. S., Polat, B., Arici, M., Yilmaz, M. T. (2015). Bioactive and rheological properties of rose hip marmalade. *Journal of Food Science and Technology*. 52(10), 6465–6474. doi:10.1007/s13197-015-1753-z.
- [89]. Nas, S., ve Gökalp, H. Y. (1993). Kuşburnu ve pestil teknolojisi ve Gıda Değeri. *Atatürk Üniversitesi.Ziraat.Fakültesi Dergisi*. 24 (2), 142-150.
- [90]. Uggla, M., Gao, X., Werlemark, G. (2003). Variation among and within dogrose taxa (*Rosa sect. caninae*) in fruit weight, percentages of fruit flesh and dry matter, and vitamin C content. *Acta Agriculturae Scandinavica Section B: Soil and Plant Science*, 53(3), 147–155. doi:10.1080/09064710310011746.
- [91]. Kostic, S. (1994). Nutritive value of rosehips and its usability in baby food vitaminization. *Review of Research Work at the Faculty of Agr.* 39:67-71.
- [92]. Szentmihályi, K., Vinkler, P., Lakatos, B., Illés, V., Then, M. (2002). Rose hip (*Rosa canina* L.) oil obtained from waste hip seeds by different extraction methods. *Bioresource Technology*, 82(2), 195–201. doi:10.1016/S0960-8524(01)00161-4.
- [93]. Demir, N., Yildiz, O., Alpaslan, M., Hayaloglu, A.A., (2014). Evaluation of volatiles, phenolic compounds and antioxidant activities of rose hip (*Rosa* L.) fruits in Turkey. *Food Sci. Technol.* 57, 126–133.
- [94]. Dănuț Mocanu, G., Rotaru, G., Botez, E., Gîtin, L., Georgeta Andronoiu, D., Nistor, O. ve Dune, A. (2009). Sensory evaluation and rheological behavior of probiotic dairy products with *rosa canina* l. and *glycyrriza glabra* l. extracts. *Innovative Romanian Food Biotechnology*, 4.

- [95]. Duman, A.D., Dayısoylu, K.S., Gezginç, Y., Alma, H. (2005). Supplementation of ice cream with different rose hip products. *Acta Hortic.* 690, 289-291 DOI: 10.17660/ActaHortic.2005.690.44.
- [96]. Ganhão R., Morcuende D., Estévez M., (2010). Protein oxidation in emulsified cooked burger patties with added fruit extracts: Influence on colour and texture deterioration during chill storage. *Meat Science.* 402–409.
- [97]. Gürses, M., Cetin, B., Sengul, M., (2009). Change in probiotic microflora and physicochemical characteristics of rose hip marmalade bio-yoghurts during refrigerated storage. *Asian Journal of Chemistry*, 21, 4097-4103.
- [98]. Drozd, W., Tomaszewska-Ciosk, E., Zdybel, E., Boruckowska, H., Boruckowski, T. ve Regiec, P. (2014). Effect of apple and rosehip pomaces on colour, total phenolics and antioxidant activity of corn extruded snacks. *Polish Journal of Chemical Technology*, 16(3), 7–11. doi:10.2478/pjct-2014-0042.
- [99]. Tańska, M., Roszkowska, B., Czaplicki, S., Borowska, E. J., Bojarska, J. ve diğerleri. (2016). Effect of Fruit Pomace Addition on Shortbread Cookies to Improve Their Physical and Nutritional Values. *Plant Foods for Human Nutrition*, 71(3), 307–313. doi:10.1007/s11130-016-0561-6.
- [100]. Franco, D., Pinelo, M., Sineiro, J., Núñez, M. J. (2007). Processing of rosa rubiginosa: Extraction of oil and antioxidant substances. *Bioresource Technology*, 98(18), 3506–3512. doi:10.1016/j.biortech.2006.11.012.
- [101]. İlyasoğlu, H. (2014). Characterization of rosehip (*Rosa canina* L.) seed and seed oil. *International Journal of Food Properties*, 17(7), 1591–1598. doi:10.1080/10942912.2013.777075
- [102]. Koca, I., Tekguler, B., Yilmaz, V. A., Hasbay, I., Koca, A. F. (2018). The use of grape, pomegranate and rosehip seed flours in Turkish noodle (erişte) production. *Journal of Food Processing and Preservation*, 42(1), 1–12. doi:10.1111/jfpp.13343.
- [103]. İlyasoğlu, H. (2013). Antioxidant effect of rosehip seed powder in raw and cooked meatballs during refrigerated storage. *Turkish Journal of Veterinary and Animal Sciences*, 38(1), 73–76. doi:10.3906/vet-1301-39.
- [104]. Menéndez, J. A., Arenillas, A., Fidalgo, B., Fernández, Y., Zubizarreta, L., Calvo, E. G., Bermúdez, J. M. (2010). Microwave heating processes involving carbon materials. *Fuel Processing Technology*, 91(1), 1–8. doi:10.1016/j.fuproc.2009.08.021.
- [105]. Mudgett, R. E., (1986). *Electrical properties of foods, engineering properties of foods*, Marcel Dekker, New York, 329–390.
- [106]. D.-W. Sun. (Ed.). (2012). *Handbook of food safety engineering*. Wiley-Blackwell, Chichester, West Wessex; Ames, IA. 371-387.
- [107]. Salazar-González, C., Martín-González, M. F. S., López-Malo, A., Sosa-Morales, M. E. (2012). Recent studies related to microwave processing of fluid foods. *food and bioprocess technology*, 5(1), 31–46. doi:10.1007/s11947-011-0639-y.

- [108]. Richardson, P., (1985) Microwave food processing campden food preservation Research Assoc., Tech. Mem. 58.
- [109]. Mujumdar, A. S. (2014). *Handbook of Industrial Drying*, 4th ed.; CRC Press: Boca Raton, FL, 284-301.
- [110]. Sun, D.-W. (Ed.). (2005) *Emerging technologies for food processing* Elsevier Academic Press, San Diego, CA, USA , 507-528, 419-438.
- [111]. Jiang, H., Liu, Z., Wang, S. (2017). Microwave processing: effects and impacts on food components. *Critical Reviews in Food Science and Nutrition*, 0(0), 1–14. doi:10.1080/10408398.2017.1319322.
- [112]. Chandrasekaran, S., Ramanathan, S. ve Basak, T. (2013). Microwave food processing-a review. *Food Research International*, 52(1), 243–261. doi:10.1016/j.foodres.2013.02.033.
- [113]. Venkatesh, M. S., Raghavan, G. S. V. (2004). An overview of microwave processing and dielectric properties of agri-food materials. *Biosystems Engineering*, 88(1), 1–18. doi:10.1016/j.biosystemseng.2004.01.007.
- [114]. Puligundla, P. (2013). Potentials of microwave heating technology for select food processing applications - a Brief Overview and Update. *Journal of Food Processing & Technology*, 4(11). doi:10.4172/2157-7110.1000278.
- [115]. Karimi, F. (2010). Properties of the drying of agricultural products in microwave vacuum : A review article. *Journal of Agricultural Technoloty*, 6(2), 269–287. <http://www.ijat-rmutto.com> adresinden erişildi.
- [116]. Tang, J. (2015). Unlocking potentials of microwaves for food safety and quality. *Journal of Food Science*, 80(8), E1776–E1793. doi:10.1111/1750-3841.12959.
- [117]. Pitchai, K. (2011). *Electromagnetic and heat transfer modeling of microwave Heating in domestic Ovens*. M.Sc. Thesis, The Graduate College at the University of Nebraska, Lincoln, Nebraska.
- [118]. Changrue, V., Raghavan, V. G. S. (2006). Microwave drying of fruits and vegetables. *Stewart Postharvest Review*, 2(6), 1–7. doi:10.2212/spr.2006.6.4.
- [119]. Feng, H., Yin, Y., Tang, J. (2012). Microwave drying of food and agricultural materials: basics and heat and mass transfer modeling. *Food Engineering Reviews*, 4(2), 89–106. doi:10.1007/s12393-012-9048-x.
- [120]. Sipahioglu, O., Barringer, S. A. (2003). Dielectric properties of vegetables and fruits as a function of temperature, ash, and moisture content. *Journal of Food Science*, 68(1), 234–239. doi:10.1111/j.1365-2621.2003.tb14145.x.
- [121]. Sun, E., Datta, A., Lobo, S. (1995). Composition-based prediction of dielectric properties of foods. *Journal of Microwave Power and Electromagnetic Energy*, 30(4), 205–212. doi:10.1080/08327823.1995.11688278.

- [122]. Tong, C. H., Lentz, R. R., Rossen, J. L. (1994). Dielectric properties of pea puree at 915 mhz and 2450 mhz as a function of temperature. *Journal of Food Science*, 59(1), 121-122. doi:10.1111/j.1365-2621.1994.tb06913.x.
- [123]. Nijhuis, H. ., Torringa, H. ., Muresan, S., Yuksel, D., Leguijt, C. ve diğerleri. (1998). Approaches to improving the quality of dried fruit and vegetables. *Trends in Food Science & Technology*, 9(1), 13-20. doi:10.1016/S0924-2244(97)00007-1.
- [124]. Rattanadecho, P., Makul, N. (2016). Microwave-assisted drying: A Review of the State-of-the-Art. *Drying Technology*, 34(1), 1-38. doi:10.1080/07373937.2014.957764.
- [125]. Datta, A. K., Davidson, P. M. (2000). Microwave and radio frequency processing. *Journal of Food Science*. doi:10.1111/j.1750-3841.2000.tb00616.x.
- [126]. Hill, A. (1998). *The ILSI Europe Microwave Oven Task Force*. (P. Richardson, Ed.) ILSI Europe Concise Monograph Series. Belgium.
- [127]. Saltiel, C, Datta, A. K. (1999). Heat and mass transfer in microwave processing. advances in heat transfer (C. 33). doi:10.1016/S0065-2717(08)70303-4.
- [128]. Fellows, P., J., (2<sup>nd</sup> ed.). (2000). *Food processing technology*. Woodhead Publishing Limited and CRC Press LLC: North America. P: 336-371.
- [128]. Schubert, H.; Regier, M. (2005) *The Microwave processing of foods*; Woodhead Publishing Limited: Cambridge, UK, pp:1-20.
- [130]. Saldamlı, İ., Saldamlı, E. (1990), *Gıda endüstrisi makinaları*, 1. Baskı, Hacettepe Üni., Ankara.
- [131]. Barbosa-Cánovas, G.V., Vega-Mercado, H. (1996). *Dehydration of food*. Chapman & Hall. New York. pp. 1-3.
- [132]. Dennis R. Heldman, Richard W. Hartel, (1997). *Principles of food processing* New York: Chapman & Hall. 177-194.
- [133]. Mujumdar, A.S. (1997). *Drying Fundamentals*. In: *Industrial Drying of Foods*. Pp. 7-30. Baker, C.G.J. Eds., Chapman & Hall, London.
- [134]. Geankoplis, C. J. (1993). *Transport Processes and Unit Operations*, Prentice-Hall International, (3rd ed.) Third edition, Englewood Cliffs, New Jersey, pp. 520-556
- [135]. Mujumdar, A.S. (2006). *Handbook of industrial drying*. Third Edition. Taylor & Francis Group, LLC. pp.4-22.
- [136]. Ramaswamy, H.S., Marcott, M. (2006). *Food dehydration, in food processing: Principles and Applications*, Taylor & Francis Group, CRC Press, USA
- [137]. Yağcıoğlu, A. (1999). *Tarım ürünleri kurutma tekniği*. E.Ü. Ziraat Fakültesi Yayınları.No:536 121-168.
- [138]. Chen, C. S., Johnson, W. H. (1969). Kinetics of moisture movement in hygroscopic materials. 1. Theoretical consideration of drying phenomena. *Trans. ASAE*.12:109-113.

- [139]. Cemeroğlu, B. (2004). *Meyve ve sebze işleme teknolojisi*. Gıda Teknolojisi Derneği Yayınları, 2.Cilt. No:36. Ankara. 527-550.
- [140]. Bruin, S., Luyben, K. Ch. A. M. (1980). *Drying of food materials*. In *Advances in Drying*, Vol. 1, edited by A. S. Mujumdar. Hemisphere Publishing, New York.
- [141]. Fortes, M., Okos, M. R. (1980). *Drying theories*. in *advances in drying*. Vol. 1, edited by A. S. Mujumdar. Hemisphere Publishing, New York.
- [142]. Doymaz, İ. (2004). Convective air drying characteristics of thin layer carrots. *Journal of Food Engineering*. 61 (3), pp. 359-364.
- [143]. Cemeroğlu B. (2004). *Meyve sebze işleme teknolojisi*, 2. cilt. ISBN 975-98578- 2-0.
- [144]. Misha, S., Mat, S., Ruslan, M. H., Sopian, K., Salleh, E. (2013). Review on the application of a tray dryer system for agricultural products. *World Applied Sciences Journal*, 22(3), 424-433. doi:10.5829/idosi.wasj.2013.22.03.343.
- [145]. Oliveira, S. M., Brandão, T. R. S., Silva, C. L. M. (2016). Influence of drying processes and pretreatments on nutritional and bioactive characteristics of dried vegetables: A Review. *Food Engineering Reviews*, 8(2), 134-163. doi:10.1007/s12393-015-9124-0.
- [146]. Karam, M. C., Petit, J., Zimmer, D., Baudelaire Djantou, E., Scher, J. (2016). Effects of drying and grinding in production of fruit and vegetable powders: A review. *Journal of Food Engineering*, 188(October), 32-49. doi:10.1016/j.jfoodeng.2016.05.001.
- [147]. Sinha, N.K., Hui, Y.H., Ozgul Evranuz, E., Siddiq, M., Ahmed J. (Eds.). (2011). *Handbook of vegetables and vegetable processing*, Wiley-Blackwell publishing. pp. 279-298.
- [148]. Hui Y. (2006). *Handbook of food science, technology and engineering: Dehydration of Tropical Fruits*. Vol 3. CRC publishing. New York. 104-3.
- [149]. Brennan J.G. (Ed.). (2006). *Food processing handbook*. Wiley-VCH Verlag GmbH & Co. KGaA, Weinheim, Germany, 85 p.
- [150]. Dinçer, İ., Zamfirescu, C. (2016). "Main types of drying devices and systems", *Drying Phenomena: theory and applications*, John Wiley & Sons Ltd., United Kingdom, , P. 106.
- [151]. Barrett DM, Somogyi L, Ramaswamy, H. (2005). *Processing fruits. science and technology*, 2nd edn. CRC Press, The United States of America.
- [152]. Bhattacharya, S (ed). (2015), *Conventional and advanced food processing technologies*, Wiley Blackwell, UK.
- [153]. Durance, T. D., Wang, J. H. (2002). Energy consumption, density, and rehydration rate of vacuum microwave-and hot-air convection-dehydrated tomatoes. *Journal of Food Science-Chicago-*, 67(6), 2212-2216.
- [154]. Nguyen, T. K., Mondor, M., Ratti, C. (2018). Shrinkage of cellular food during air drying. *Journal of Food Engineering*, 230, 8-17. doi:10.1016/j.jfoodeng.2018.02.017.

- [155]. Cohen, J. S., Yang, T. C. S. (1995). Progress in food dehydration. *Trends in Food Science and Technology*, 6(1), 20–25. doi:10.1016/S0924-2244(00)88913-X.
- [156]. Maskan, M. (2001). Drying, shrinkage and rehydration characteristics of kiwi fruits during hot air and microwave drying. *Journal of Food Engineering*, 48, pp.177–182.
- [157]. Jankovic, M., (1993), Physical properties of convectively dried and freeze-dried berrylike fruits. *Faculty of Agriculture, Belgrad'e*, 38(2): pp, 129-135.
- [158]. Lin, T. M., D. Durance, T., Scaman, C. H. (1998). Characterization of vacuum microwave, air and freeze dried carrot slices. *Food Research International*, 31(2), 111–117. doi:10.1016/S0963-9969(98)00070-2.
- [159]. Dewanto, V., Wu, X., Adom, K. K., Liu, R. H. (2002). Thermal processing enhances the nutritional value of tomatoes by increasing total antioxidant activity. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 50, pp. 3010–3014. doi:10.1021/jf0115589.
- [160]. Katsube, T., Tsurunaga, Y., Sugiyama, M., Furuno, T., Yamasaki, Y. (2009). Effect of air-drying temperature on antioxidant capacity and stability of polyphenolic compounds in mulberry (*Morus alba* L.) leaves. *Food Chemistry*, 113(4), 964–969. doi:10.1016/j.foodchem.2008.08.041.
- [161]. Yang, J., Chen, J. F., Zhao, Y. Y. ve Mao, L. C. (2010). Effects of drying processes on the antioxidant properties in sweet potatoes. *Agricultural Sciences in China*, 9(10), 1522–1529. doi:10.1016/S1671-2927(09)60246-7.
- [162]. George, J. P., Datta, A. K. (2002). Development and validation of heat and mass transfer models for freeze-drying of vegetable slices. *Journal of Food Engineering*, 52(1), 89–93. doi:10.1016/S0260-8774(01)00091-7.
- [163]. Hui, Y. (2006) *Handbook of food science, technology and engineering: Principles and applications of freeze-concentration and freeze-drying*. CRC Publishing. Vol 3. New york, 106-4.
- [164]. Berk, Z. (Ed. 1<sup>st</sup>) (2009). *Food Process Engineering and Technology*. Academic Press. doi:10.1017/CBO9781107415324.004.
- [165]. Vega-Mercado, H., Marcela Góngora-Nieto, M., Barbosa-Cánovas, G. V. (2001). Advances in dehydration of foods. *Journal of Food Engineering*, 49(4), 271–289. doi:10.1016/S0260-8774(00)00224-7.
- [166]. Hammami, C., René, F. (1997). Determination of freeze-drying process variables for strawberries. *Journal of Food Engineering*, 32(2), 133–154. doi:10.1016/S0260-8774(97)00023
- [167]. Hui YH, Ghazala S, Graham DM, Murrell KD, Nip WK. (2004). *Handbook of vegetable preservation and processing*. USA: Marcel Dekker, Inc.
- [168]. Hui, YH. (2004). *Handbook of frozen foods*. CRC Press Publisher. New York, United States of America PP:17.
- [169]. Fellows, P. (2<sup>nd</sup> ed.). (2000). *Food processing technology. Principles and Practice*. CRC Press New York.

- [170]. Jadhav, T. R., Moon, R. S. (2015). Review on lyophilization technique. *World Journal of Pharmacy and Pharmaceutical Sciences*. 4, (05), 1906-1928.
- [171]. Ratti, C. (2001). Hot air and freeze-drying of high-value foods: A review. *Journal of Food Engineering*, 49(4), 311–319. doi:10.1016/S0260-8774(00)00228-4.
- [172]. Flink, J. (1977). Energy analysis in dehydration processes. *Food Technol.*, 31, 77-84.
- [173]. Gaukel, V., Siebert, T., Erle, U. (2017). *Microwave-assisted drying. The Microwave Processing of Foods (2<sup>nd</sup> Edition)*. Cambridge: Woodhead Publishing 152–178. doi:10.1016/B978-0-08-100528-6.00008-5.
- [174]. Kumar, V., Shrivastava, S. L. (2017). Optimization of vacuum-assisted microwave drying parameters of green bell pepper using response surface methodology. *Journal of food measurement and characterization*, 11(4), 1761–1772. doi:10.1007/s11694-017-9557-7.
- [175]. Zielinska, M., Michalska, A. (2016). Microwave-assisted drying of blueberry (*Vaccinium corymbosum* L.) fruits: drying kinetics, polyphenols, anthocyanins, antioxidant capacity, colour and texture. *Food Chemistry*. 212, 671–680. doi:10.1016/j.foodchem.2016.06.003.
- [176]. Hu, Q. G., Zhang, M., Mujumdar, A. S., Xiao, G. N., Jin-cai, S. (2006). Drying of edamames by hot air and vacuum microwave combination. *Journal of Food Engineering*, 77(4), 977–982. doi:10.1016/j.jfoodeng.2005.08.025.
- [177]. Orikasa, T., Koide, S., Sugawara, H., Yoshida, M., Kato, K. ve diğerleri . (2018). Applicability of vacuum-microwave drying for tomato fruit based on evaluations of energy cost, color, functional components, and sensory qualities. *Journal of Food Processing and Preservation*, (March 2017), 1–12. doi:10.1111/jfpp.13625.
- [178]. Regier, M. (2017). food technologies: microwave heating. Reference Module in Food Science. Elsevier. doi:10.1016/B978-0-08-100596-5.22364-0.
- [179]. Zhang, M., Jiang, H., 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. doi:10.1080/07373937.2010.524591.
- [180]. Patel D.M., Patel B.K., Patel D.K., Patel C.N. (2011). Microwave assisted heating – An alternative to conventional heating in pharmaceutical research. 2, 87-95.
- [181]. Buffler, C. R. (1<sup>st</sup> Ed.). (1993). *Microwave cooking and processing: Engineering Fundamentals for the Food Scientist*. AVI Van Nostrand Reinhold, New York. p. 157.
- [182]. Hartel, R., W., Heldman, D., R., (1997). *Principles of Food Processing*. Aspen Publication: New York. p 9.
- [183]. Yilmaz, C., Gökmen, V. (2013). Compositional characteristics of sour cherry kernel and its oil as influenced by different extraction and roasting conditions. *Industrial Crops and Products*, 49, 130–135. <https://doi.org/10.1016/j.indcrop.2013.04.048>.



- [184]. Hoff, J. F., Singleton, K. I. (1977) A method for determination of tannin in foods by means of immobilized enzymes. *Journal of Food Science*, 42, 1566-1569
- [185]. Moharram, H. A., Youssef, M. M. (2014). Methods for determining the antioxidant activity : a review. *J. Fd. Sci. & Technol*, 11(1), 31-42.
- [186]. Márcio, C., Isabel, F. (2012). A review on antioxidants prooxidants and related controversy. *Natural*, 51, 15-25.
- [187]. Inchuen, S., Narkrugsá, W., Pornchaloempong, P. (2010). Effect of drying methods on chemical composition, color and antioxidant properties of Thai red curry powder. *Kasetsart Journal Natural Science*, 44(1), 142-151.
- [188]. Arnao, M. B. (2001). Some methodological problems in the determination of antioxidant activity using chromogen radicals : a practical case, 11(2000), 419-421.
- [189]. Magalhães, L. M., Segundo, M. A., Reis, S., Lima, J. L. F. C. (2008). Methodological aspects about in vitro evaluation of antioxidant properties. *Analytica Chimica Acta*, 613(1), 1-19. doi:10.1016/j.aca.2008.02.047.
- [190]. Ou, B., Huang, D., Hampsch-Woodill, M., Flanagan, J. A., Deemer, E. K. (2002). Analysis of Vegetables, antioxidant activities of common Capacity, employing oxygen radical absorbance Power, (ORAC) and ferric reducing antioxidant Study., (FRAP) assays: a comparative. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 50(11), 3122-3128.
- [191]. Nilsson, J., Pillai, D., Önning, G., Persson, C., Nilsson, Å., Åkesson, B. (2005). Comparison of the 2,2'-azinobis-3-ethylbenzotiazoline-6-sulfonic acid (ABTS) and ferric reducing antioxidant power (FRAP) methods to assess the total antioxidant capacity in extracts of fruit and vegetables. *Molecular Nutrition and Food Research*, 49(3), 239-246. doi:10.1002/mnfr.200400083.
- [192]. Benzie, I. F. F., Strain, J. J. (1996). Ferric reducing (antioxidant) power as a measure of antioxidant capacity: the FRAP assay. *Methods Enzymol*, 239, 70-6.
- [193]. Benzie, I. F. F., Szeto, Y. T. (1999). Total antioxidant capacity of teas by the ferric reducing/ antioxidant power assay. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 47(2), 633-636. doi:10.1021/jf9807768.
- [194]. Pokorny, J., Yanishlieva, N., Gordon, M. (2001). Antioxidants in food, CRC Press, USA
- [195]. Frankel, E.N., Meyer, A.S., (2000). The problems of using one-dimensional methods to evaluate multifunctional food and biological antioxidants, *J. Sci. Food Agr.*, 80, 1925-1941.
- [196]. Brand-Williams W, Cuvelier ME, Berset C., (1995). Use of free radical method to evaluate antioxidant activity. *LWT- Food Science and Technology* 28:25-30.
- [197]. Cemeroğlu, B. S. (2010). *Gıda Analizleri*. Gıda Teknolojisi Derneği Yayınları, 2.Cilt. No:36. Ankara.
- [198]. Konica Minolta. Precise color communication. (2007). Konica Minolta Photo Sensing Inc., Japan.

- [199]. X-Rite. (2007). A guide to understanding color communication. *A Guide to Understanding ColorCommunication*, 1–26. doi:10.1017/CBO9781107415324.004.
- [200]. Keskin, M., Setlek, P., Demir, S. (2017). Use of Color Measurement systems in food Science and Agriculture, 10 (November).
- [201]. [https://www.nippondenshoku.co.jp/web/english\\_/colorstory/07\\_what\\_is\\_ucs.htm](https://www.nippondenshoku.co.jp/web/english_/colorstory/07_what_is_ucs.htm)
- [202]. Giri, S. K., Prasad, S. (2007). Drying kinetics and rehydration characteristics of microwave-vacuum and convective hot-air dried mushrooms, 78, 512–521. doi:10.1016/j.jfoodeng.2005.10.021.
- [203]. Fito, P. J., Ortolá, M. D., De los Reyes, R., Fito, P. ve De los Reyes, E. (2004). Control of citrus surface drying by image analysis of infrared thermography. *Journal of Food Engineering*, 61(3), 287–290. doi:10.1016/S0260-8774(03)00120-1.
- [204]. Foster, A. M., Ketteringham, L. P., Swain, M. J., Kondjoyan, A., Havet, M. Ve diğerleri. (2006). Design and development of apparatus to provide repeatable surface temperature-time treatments on inoculated food samples. *Journal of Food Engineering*, 76(1), 7–18. doi:10.1016/j.jfoodeng.2005.05.012.
- [205]. Kantrong, H., Tansakul, A., Mittal, G. S. (2012). Drying characteristics and quality of shiitake mushroom undergoing microwave-vacuum drying and microwave-vacuum combined with infrared drying. *Journal of Food Science and Technology*, 51(12), 3594–3608. doi:10.1007/s13197-012-0888-4.
- [206]. Tian, Y., Wu, S., Zhao, Y., Zhang, Q., Huang, J., Zheng, B. (2015). Drying characteristics and processing parameters for microwave-vacuum drying of kiwifruit (*Actinidia Deliciosa*) slices. *Journal of Food Processing and Preservation*, 39, 2620–2629. doi:10.1111/jfpp.12512.
- [207]. Rozainee, M., Muhamad, I. I., Ngo, C. L., Ng, pang S. (2013). Drying kinetics, rehydration characteristics and sensory evaluation of microwave vacuum and convective hot air dehydrated jackfruit bulbs. *Jurnal Teknologi (Sciences & Engineering)*, 65:1(October), 51–57. doi:10.11113/jt.v65.1120.
- [208]. Abano, E. E. ve Qu, W. (2012). Influence of combined microwave-vacuum drying on drying kinetics and quality of dried tomato slices. *Journal of Food Quality*, 35, 159–168. doi:10.1111/j.1745-4557.2012.00446.
- [209]. Dong, W., Cheng, K., Hu, R., Chu, Z., Zhao, J. ve Long Yuzhou. (2018). Effect of microwave vacuum drying on the drying characteristics, color, microstructure, and antioxidant activity of green coffee beans. *Molecules*, 23, 1146. doi:10.3390/molecules23051146.
- [210]. Wojdy, A., Figiel, A., Lech, K., Nowicka, P., Oszmiański, J. (2013). Effect of convective and vacuum-microwave drying on the bioactive compounds, color, and antioxidant capacity of sour cherries. *food bioprocess Technol*, 7(3), 829–841. doi:10.1007/s11947-013-1130-8

- [211]. Drouzaf, A. E., Schuberp, H. (1996). Microwave Application in vacuum drying of fruits. *Journul of Food Engineeting*, 28(2), 203–209.
- [212]. Mousa, N., Farid, M., Zealand, N. ve Zealand, N. (2002). Microwave vacuum drying of banana slices. *Drying Technology*, 20(10), 2055–2066. doi:10.1081/DRT-120015584.
- [213]. Sunjka, P. S., Rennie, T. J., Beaudry, C., Raghavan, G. S. V. (2004). Drying technology : an international journal microwave-convective and microwave-vacuum drying of cranberries : a comparative study. *Drying Technology*, 22(5)(August 2014), 1217–1231. doi:10.1081/DRT-120038588.
- [214]. Ercisli, S. (2007). Chemical composition of fruits in some rose (*Rosa spp.*) species. *Food Chemistry*, 104(4), 1379–1384. doi:10.1016/j.foodchem.2007.01.053.
- [215]. Fattahi, S., Jamei, R., Sarghein, S. H. (2007). Antioxidant and antiradical activities of *Rosa canina* and *Rosa pimpinellifolia* fruits from West Azerbaijan, 523–530.
- [216]. Chang, C. (2006). Comparisons on the antioxidant properties of fresh , freeze-dried and hot-air-dried tomatoes, *Journal of Food Engineering* 77, 478–485. doi:10.1016/j.jfoodeng.2005.06.061.
- [217]. Choi, Y., Lee, S. M., Chun, J., Lee, H. B., Lee, J. (2006). Influence of heat treatment on the antioxidant activities and polyphenolic compounds of Shiitake ( *Lentinus edodes* ) mushroom. *Food Chemistry*, 99(2), 381–387. doi:10.1016/j.foodchem.2005.08.004.
- [218]. Jeong, S.-M., Kim, S.-Y., Kim, D.-R., Jo, S.-C., Nam, K. C. diğerleri. (2004). Effect of heat treatment on the antioxidant activity of extracts from citrus peels. *J. Agric. Food Chem*, 52, 3389–3393. doi:10.1021/jf049899k.
- [219]. Arslan, D., Özcan, M. M. (2010). Study the effect of sun , oven and microwave drying on quality of onion slices. *LWT - Food Science and Technology*, 43(7), 1121–1127. doi:10.1016/j.lwt.2010.02.019.
- [220]. Arslan, D., Özcan, M. M., Menges, H. O. (2010). Evaluation of drying methods with respect to drying parameters , some nutritional and colour characteristics of peppermint ( *Mentha x piperita* L .). *Energy Conversion and Management*. 51, 2769–2775. doi:10.1016/j.enconman.2010.06.013.
- [221]. Ji, H., Du, A., Zhang, L., Xu, C., Yang, M., Li, F. (2012). Effects of drying methods on antioxidant properties in *Robinia pseudoacacia* L. flowers 6(16), 3233–3239. doi:10.5897/JMPR12.107.
- [222]. Hamrouni-sellami, I., Rahali, F. Z. (2013). Total phenolics , flavonoids , and antioxidant activity of sage ( *salvia officinalis* l .) plants as affected by different drying methods, *Food and Bioprocess Technology*. 806–817. doi:10.1007/s11947-012-0877-7.
- [223]. Uribe, E., Marín, D., Vega-gálvez, A., Quispe-fuentes, I., Rodriguez, A. (2015). Assessment of vacuum-dried peppermint (*Mentha piperita* L.) as a source of natural antioxidants. *Food Chemistry*. doi:10.1016/j.foodchem.2015.05.108.

- [224]. Papoutsis, K., Pristijono, P., Golding, J. B., Stathopoulos, C. E., Bowyer, M. C., Scarlett, C. J. ve Vuong, Q. V. (2016). Enhancement of the total phenolic compounds and antioxidant activity of aqueous *Citrus limon* L . pomace extract using microwave pretreatment on the dry powder. *Journal of Food Processing and Preservation*, (April), 1–8. doi:10.1111/jfpp.13152.
- [225]. Chan, E. W. C., Lim, Y. Y., Wong, S. K., Lim, K. K., Tan, S. P., Lianto, F. S., Yong, M. Y. (2009). Effects of different drying methods on the antioxidant properties of leaves and tea of ginger species, *113*, 166–172. doi:10.1016/j.foodchem.2008.07.090.
- [226]. Durance, T., Kwok, B. H. L., Hu, C., Kitts, D. D. (2004). Dehydration techniques affect phytochemical contents and free radical scavenging activities of saskatoon berries (*Amelanchier alnifolia* Nutt.). *Journal of Food Science*, *69*(3), 122–126.
- [227]. Hayat, K., Zhang, X., Chen, H., Xia, S., Jia, C., Zhong, F. (2010). Liberation and separation of phenolic compounds from citrus mandarin peels by microwave heating and its effect on antioxidant activity. *Separation and Purification Technology* *73*, 371–376. doi:10.1016/j.seppur.2010.04.026.
- [228]. Capecka, E., Mareczek, A., Leja, M. (2005). Antioxidant activity of fresh and dry herbs of some Lamiaceae species. *Food Chemistry*. *93*, 223–226. doi:10.1016/j.foodchem.2004.09.020
- [229]. Lee, S., Jeong, S., Kim, S., Park, H., Nam, K. C., Ahn, D. U. (2006). Food Chemistry Effect of far-infrared radiation and heat treatment on the antioxidant activity of water extracts from peanut hulls, *94*, 489–493. doi:10.1016/j.foodchem.2004.12.001-
- [230]. Şahin, G. (2011). *Dondurarak ve Açık havada kurularak muhafazanın kuşburnu meyvesinin bazı kalite özelliklerine etkileri*. Gaziosmanpaşa Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Bahçe Bitkilerinde Bilim Dalı, Yüksek Lisans Tezi, Tokat.
- [231]. Dolek, U., Gunes, M., Genc, N., Elmastas, M. (2018). Total Phenolic compound and antioxidant activity changes in rosehip (*rosa* sp.) during ripening. *J. Agr. Sci. Tech.*, *20*, 817–828.
- [232]. Mihaylova, D., Rosa, O. F., Herbal, C. L. (2015). Antioxidant activity and bioactive compounds of *rosa canina* L. *Herbal. F. Biotechnologies*, 160–165.
- [233.] Yildiz, O., Alpaslan, M. (2012). Properties of rose hip marmalades. *Food Technol. Biotechnol.*, *50*(1), 98–106.
- [234]. Soare, R., Babeanu, C., Bonea, D., Panita, O. (2015). The content of total phenols, flavonoids and antioxidant activity in rosehip from the spontaneous flora from south Romania. *Cientific Papers Series A. Agronomy, Lxviii*, 307–314.
- [235]. Denev, P., Lojek, A., Ciz, M., Kratchanova, M., Lojek, A., Ciz, M., Kratchanova, M. (2013). Antioxidant activity and polyphenol content of Bulgarian fruits. *Bulgarian Journal of Agricultural Science*. *19* (No 1). 22-27.

- [236]. Sablani, S. S., Andrews, P. K., Davies, N. M., Walters, T., Saez, H., Bastarrachea, L. (2011). Effects of air and freeze drying on phytochemical content of conventional and organic berries. *Drying Technology*, 29, 205–216. doi:10.1080/07373937.2010.483047.
- [237]. Tan, E. S., Abdullah, A., Maskat, M. Y. (2013). Effect of Drying methods on total antioxidant capacity of bitter gourd ( *Momordica charantia* ) fruit. *AIP Conference Proceedings*, 1571(1), 710–716. doi:10.1063/1.4858738.
- [238]. Wang, Y., Li, J., Dong, L., Wu, Q., Li, L., Yang, H., Su, D. (2019). Effects of thermal processing methods and simulated digestion on the phenolic content and antioxidant activity of lotus leaves. *J Food Process Preserv.* 1–10. doi:10.1111/jfpp.13869.
- [239]. Bualuang, O., Iroemeha, O. D., Pracha, K. (2017). Microwave drying of germinated corn and its effect on phytochemical properties. *Journal of the Science of Food and Agriculture*, 97(9), 2999–3004 doi: 10.1002/jsfa.8140.
- [240]. Mary O., Hu, Q. (2010). Antioxidant Activity in barley ( *Hordeum vulgare* L.) grains roasted in a microwave oven under conditions optimized using. *Journal of Food Science*, 75(1), 66–73. doi:10.1111/j.1750-3841.2009.01426.x.
- [241]. Figiel, A. (2010). Drying kinetics and quality of beetroots dehydrated by combination of convective and vacuum-microwave methods. *Journal of Food Engineering*, 98(4), 461–470. doi:10.1016/j.jfoodeng.2010.01.029.
- [242]. Zhao, G., Zhang, R., Liu, L., Deng, Y., Wei, Z. (2017). Different thermal drying methods affect the phenolic profiles, their bioaccessibility and antioxidant activity in *Rhodomyrtus tomentosa* (Ait.) Hassk berries. *LWT - Food Science and Technology*, 79, 260–266. doi:10.1016/j.lwt.2017.01.039.
- [243]. Zielinska, M., Zielinska, D., Markowski, M. (2018). The Effect of microwave-vacuum pretreatment on the drying kinetics, color and the content of bioactive compounds in osmo-microwave-vacuum dried cranberries ( *Vaccinium macrocarpon* ). *Food and Bioprocess Technology*, 585–602. doi:https://doi.org/10.1007/s11947-017-2034-9.
- [244]. Ji, H., Du, A., Zhang, L., Li, S., Yang, M., Li, B. (2012). effects of drying methods on antioxidant properties and phenolic content in white button mushroom. *International Journal of Food Engineering*, 8(3), 1–14. doi:10.1515/1556-3758.2491.
- [245]. Dong, W., Cheng, K., Hu, R., Chu, Z., Zhao, J., Long Yuzhou. (2018). Effect of microwave vacuum drying on the drying characteristics, color, microstructure, and antioxidant activity of green coffee beans. *molecules*, 23(5), 1146. doi:10.3390/molecules23051146.
- [246]. Qing-guo, H., Min, Z., Mujumdar, A. S., Wei-hua, D. ve Jin-cai, S. (2006). Drying technology : an international journal effects of different drying methods on the quality changes of granular edamame. *Drying Technology*, 24: 1025–1032. doi:10.1080/07373930600776217.
- [247]. Yilmaz, S. O., Ercisli, S. (2011). Antibacterial and antioxidant activity of fruits of some rose

species from Turkey. *Romanian Biotechnological Letters*, 16(4), 6407–6411.

[248]. Güneş, M., Şen, S. M. (2001). Tokat yöresinde doğal olarak yetişen kusburnuların (*rosa spp.*) seleksiyon yoluyla ıslahı üzerinde bir araştırma, *30*, 9 16.

[249]. Cui, Z., Li, C., Song, C., Song, Y. (2008). An International journal combined microwave-vacuum and freeze drying of carrot and apple chips. *Drying Technology*, 28:, 1517–1523. doi:10.1080/07373930802463960.

[250]. Caixeta, A. T., Moreira, R., Castell-Perez, M. E. (2002). Impingement drying of potato chips. *J.Food Process. Eng.* 24.

[251]. Giri, S. K., Prasad, S. (2008). quality and moisture sorption characteristics of microwave-vacuum, air and freeze-dried button mushroom (*Agaricus Bisporus*). *Journal of Food Processing and Preservation*, 33(2009), 237–251. doi:10.1111/j.1745-4549.2008.00338.x.

[252]. Wojdyło, A., Figiel, A., Oszmianski, J. (2009). Effect of drying methods with the application of vacuum microwaves on the bioactive compounds, color, and antioxidant activity of strawberry fruits. *J. Agric. Food Chem.*, 57, 1337–1343.

[253]. Jiang, H., Zhang, M., Mujumdar, S., Lim, R. (2014). Comparison of drying characteristic and uniformity of banana cubes dried by pulse-spouted microwave vacuum drying, freeze drying and microwave freeze drying, *Journal of the Science of Food and Agriculture*, 94(9), 1827–1834 (November 2013). doi:10.1002/jsfa.6501.

[254]. Ekow, A. E., Haile, M. A., John, O., Narku, E. F. (2013). Microwave-vacuum drying effect on drying kinetics, lycopene and ascorbic acid content of tomato slices. *Journal of Stored Products and Postharvest Research*. 4(January), 11–22. doi:10.5897/JSPPR12.030.

[255]. Liu, C., Zheng X., Jia, S., Ding, N., Gao, X. (2009). Comparative experiment on hot-air and microwave-vacuum drying and puffing of blue honeysuckle snack. *International Journal of Food Engineering*. 5(4). doi:10.2202/1556-3758.1683..

[256]. Khraisheh, M. A. M., McMinn, W. A. M., Magee, T. R. A. (2004). Quality and structural changes in starchy foods during microwave and convective drying. *Food Research International*, 37, 497–503. doi:10.1016/j.foodres.2003.11.010.

[257]. Alibas Ozkan, I., Akbudak, B., Akbudak, N. (2007). Microwave drying characteristics of spinach, *78*, 577–583. doi:10.1016/j.jfoodeng.2005.10.026.

[258]. Koyuncu, T., Tosun, I., Ustun, N. S. (2016). Drying kinetics and color retention of dehydrated rosehips drying kinetics and color retention. *Drying Technology* 21(December), 1369–1381. doi:10.1081/DRT-120023184.

[259]. Pathare, P. B., Opara, U. L., Al-said, F. A. (2012). Colour measurement and analysis in fresh and processed foods : a review. doi:10.1007/s11947-012-0867-9.

[260]. Si, X., Chen, Q., Bi, J., Wu, X., Yi, J., Zhou, L., Li, Z. (2016). Comparison of different drying methods on the physical properties, bioactive compounds and antioxidant activity of raspberry

- powders. *J Sci Food Agric*, 96, 2055–2062. doi:10.1002/jsfa.7317.
- [261]. Jaiswal, A. K., Gupta, S., Abu-ghannam, N. (2012). Kinetic evaluation of colour , texture , polyphenols and antioxidant capacity of Irish York cabbage after blanching treatment. *Food Chemistry*, 131(1), 63–72. doi:10.1016/j.foodchem.2011.08.032.
- [262]. H., Durance, T. D., Drummond, L., Sun, D.-W. (2014). Combined microwave vacuum drying. Emerging. *Technologies for Food Processing*, 427–445. doi:10.1016/b978-0-12-411479-1.000231.
- [263]. Therdthai, N., Zhou, W. (2009). Characterization of microwave vacuum drying and hot air drying of mint leaves ( *Mentha cordifolia Opiz ex Fresen* ). *Journal of Food Engineering journal*, 91, 482–489. doi:10.1016/j.jfoodeng.2008.09.03.
- [264]. Kathirvel, K., Naik, K. R., Gariepy, Y., Orsat, V., Raghavan, G.S.V. (2006). *Microwave Drying - A promising alternative for the herb processing industry*. CSBE/SCGAB Edmonton, AB Canada, july 16-9. doi:10.13031/2013.22132.
- [265]. Therdthai, N. ve Northongkom, H. (2011). Characterization of hot air drying and microwave vacuum drying of fingerroot ( *Boesenbergia pandurata* ). *International Journal of Food Science and Technology*. 46 601–6.07. doi:10.1111/j.1365-2621.2010.02525.
- [266]. Cui, Z., Li, C., Song, C., Song, Y. (2017). Combined Microwave-Vacuum and Freeze Drying of Carrot and Apple Chips. *Drying Technology*, 26:12, 1517-1523 Doi:10.1080/0737393080246396
- [267]. Durance, T. D., Sham, P. W. Y., Scaman, C. H. (2001). Texture of vacuum microwave dehydrated apple chips as affected by calcium pretreatment , vacuum level , and apple variety. *Food Engineering and Physical Properties*, 66(9), 1341–1347.
- [268]. Jiang, N., Liu, C., Li, D., Zhang, Z., Liu, C., Wang, D., Zhang, M. (2017). Evaluation of freeze drying combined with microwave vacuum drying for functional okra snacks: Antioxidant properties , sensory quality , and energy consumption. *Food Science and Technology*, 82, 216–226.
- [269]. Lemos, R., Varaschim, J., Tribuzi, G., Carcio, B. A. M., Borges, J. (2018). Effect of multi-flash drying and microwave vacuum drying on the microstructure and texture of pumpkin slices. *Food Science and Technology*, 96, 612–619.
- [270]. Sham, P. W. Y. (1997) *Effect of calcium pretreatments, vacuum levels, and apple varieties, on the texture of vacuum microwave dehydrated apple chips*, Thesis of master, The University of British Columbia, Canada.
- [271]. Aral, S. ve BeŞe, A. V. (2016). Convective drying of hawthorn fruit ( *Crataegus spp* .): effect of experimental parameters on drying kinetics , color , shrinkage , and rehydration capacity. *Food Chemistry*, 210, 577–584.
- [272]. Yousif, A. N., Durance, T. D., Scaman, C. H., Girard, B. (2000). Headspace volatiles and physical characteristics of vacuum-microwave , air , and freeze-dried oregano ( *Lippia berlandieri Schauer* ). *Food Chemistry and Toxicology*, 65(6), 926–930.

[273]. Bondaruk, J., Markowski, M., Błaszczak, W. (2007). Effect of drying conditions on the quality of vacuum-microwave dried potato cubes. *Journal of Food Engineering* 81, 81, 306–312. doi:10.1016/j.jfoodeng.2006.10.028.

[274]. Figiel, A., Michalska, A. (2017). Overall Quality of fruits and vegetables products affected by the drying processes with the assistance of vacuum-microwaves. *Int. J. Mol. Sci*, 1–18. doi:10.3390/ijms18010071

[275]. Lemos, R., Augusto, B., Carciofi, M., Marsaioli, A., Borges, J. (2015). How to make a microwave vacuum dryer with turntable. *Journal of Food Engineering*, 166, 276–284.





## ÖZGEÇMİŞ

**Adı ve Soyadı** : Mahir CİN

**Doğum Tarihi** :05.02.1990

**E-mail** : mhrcn90@windowlive.com

**Öğrenim Durumu** :

Derece	Bölüm/Program	Üniversite	Yıl
Lise	Matematik/Fen	Süleyman Demirel Anadolu Lisesi	2004-2006
Lise	Matematik/Fen	Özel Genç Yıldızlar Lisesi	2006-2008
Lisans	Gıda Mühendisliği	Mersin Üniversitesi	2008 -2013
Yüksek Lisans	Gıda Mühendisliği	Mersin Üniversitesi	2015 -2019

