



**GÖLGEDE, MİKRODALGA, KONVEKTİF VE
KOMBİNE MİKRODALGA-KONVEKTİF KURUTMA
YÖNTEMLERİ KULLANILARAK KURUTULMUŞ
MUŞMULA MEYVESİNİN KURUTMA KİNETİĞİ VE
KALİTE PARAMETRELERİ AÇISINDAN
İNCELENMESİ**

Begüm ARKAIN



T.C.
BURSA ULUDAĞ ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

**GÖLGEDE, MİKRODALGA, KONVEKTİF VE KOMBİNE MİKRODALGA-
KONVEKTİF KURUTMA YÖNTEMLERİ KULLANILARAK KURUTULMUŞ
MUŞMULA MEYVESİNİN KURUTMA KİNETİĞİ VE KALİTE
PARAMETRELERİ AÇISINDAN İNCELENMESİ**

Begüm ARKAIN
0000-0001-6044-4517

Doç.Dr. İlknur ALİBAŞ
(Danışman)

YÜKSEK LİSANS TEZİ
BİYOSİSTEM MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI

BURSA – 2021

ÖZET

Yüksek Lisans Tezi

GÖLGEDE, MİKRODALGA, KONVEKTİF VE KOMBİNE MİKRODALGA-KONVEKTİF KURUTMA YÖNTEMLERİ KULLANILARAK KURUTULMUŞ MUŞMULA MEYVESİNİN KURUTMA KİNETİĞİ VE KALİTE PARAMETRELERİ AÇISINDAN İNCELENMESİ

Begüm ARKAIN

Bursa Uludağ Üniversitesi

Fen Bilimleri Enstitüsü

Biyosistem Mühendisliği Anabilim Dalı

Danışman: Doç. Dr. İlknur ALİBAŞ

Muşmula meyvesi (*Mespilus germanica*) 25 °C’de gölgede, 40, 50, 60 °C sıcaklıklarda konvektif, 200, 400 ve 600 W’da mikrodalga ve 200 W -40 °C, 200 W-50 °C, 200 W-60 °C, 400 W-40 °C, 400 W-50 °C, 400 W-60 °C, 600 W-40 °C, 600 W-50 °C ve 600 W-60 °C’de kombine mikrodalga-konvektif kurutma yöntemleriyle kurutulmuştur. Kütlesi 75.00 g olan meyvelerin, nem içeriği %74.07 ± 0.04’den %11.75 ± 0.07’ye düşürülmüştür. En kısa kurutma süresi 17 dakika ile 600 W-60 °C’de kombine mikrodalga-konvektif kurutma yönteminde ölçülürken, en uzun kurutma süresi ise 22500 dakika ile gölgede kurutma yönteminde belirlenmiştir. Kurutma verileri 22 farklı ince tabaka kurutma modeli ile modellenmiştir. Gölgede kurutma için Page eşitliği, 40 ve 60 °C için Weibull eşitliği, 600 W, 400 W-40 °C, 400 W-60 °C ve 600 W-50 °C için Jena Das eşitliği ve 600 W-60 °C için Logistic eşitliği en uygun ince tabaka kurutma modelleri olarak belirlenmiştir. Diğer kurutma yöntemlerinin tümünde Alibaş eşitliği en iyi tahminlerin elde edildiği modeldir. Ayrıca taze ürünün renk parametrelerine en yakın sonuçları veren kurutma yönteminin 600W-50 °C ve 400 W-40 °C’de kombine mikrodalga-konvektif kurutmada ölçüldüğü tespit edilmiştir. Buna karşın, gölgede ve konvektif kurutma yöntemlerinde renk parametrelerinde büyük kayıplara sebep olmuştur. Taze ürüne en yakın protein içeriği, 400 W’da mikrodalga kurutmada ölçülmüştür. Çalışmada taze ürüne en yakın fosfor, potasyum, sodyum ve bakır içerikleri 600 W-60 °C’de belirlenmiştir. Manganez ve magnezyum içeriği 400W-40°C’de maksimum düzeyde iken, 600 W-40 °C’de ise çinko en yüksek düzeyde korunmuştur. Buna karşın, taze ürüne en yakın kalsiyum ve demir içeriği ise sırasıyla 60 °C ve 200 W’da elde edilmiştir. Taze ürüne en yakın toplam ekstrakte edilebilir fenolik bileşenler 600 W-60 °C’de ölçülürken, toplam hidrolize edilebilir ve biyoalınabilir fenolik bileşenlerin en yüksek seviyede ölçüldüğü yöntem ise 60 °C’de kurutma yöntemi idi. Muşmulanın toplam fenolik bileşenlerin yüzdesel biyoalınabilirliği en yüksek, gölgede kurutmada analiz edilmiştir. Toplam antioksidan kapasitesini belirlemek için ABTS, CUPRAC ve DPPH yöntemleri kullanılmıştır. En yüksek antioksidan kapasitesi ise ABTS için gölgede kurutmada, DPPH için 200 W-50 °C’de ve CUPRAC için ise 400 W-60 °C’de ölçülmüştür. En yüksek değerlerin ölçüldüğü DPPH yöntemi, en uygun antioksidan kapasitesi belirleme yöntemi olarak seçilmiştir.

Anahtar Kelimeler: kurutma, enerji tüketimi, protein, besin elementleri, toplam fenolik, antioksidan kapasite

2021, vii + 99 sayfa.

ABSTRACT

MSc Thesis

INVESTIGATION OF DRIED MEDLAR FRUIT IN TERMS OF DRYING KINETICS AND QUALITY PARAMETERS USING NATURAL, MICROWAVE, CONVECTIVE AND COMBINED MICROWAVE-CONVECTIVE DRYING METHODS

Begüm ARKAİN

Bursa Uludağ University
Graduate School of Natural and Applied Sciences
Department of Biosystems Engineering

Supervisor: Assoc. Prof. Dr. İlknur ALİBAŞ

Medlar fruit (*Mespilus germanica*) was dried by the natural drying at 25 °C, convective drying at 40, 50, 60 °C, microwave drying at 200, 400, 600 W and combined microwave-convective drying at 200 W-40 °C, 200 W-50 °C, 200 W-60 °C, 400 W-40 °C, 400 W-50 °C, 400 W-60 °C, 600 W-40 °C, 600 W-50 °C, and 600 W-60 °C. The moisture content of fruits, whose mass is 75.00 g, was reduced from 74.07 ± 0.04 to 11.75 ± 0.07 . While the shortest drying period was measured in the combined microwave-convective drying method at 600 W-60 °C with 17 min, the longest method was determined in the natural drying method with 22500 min. The drying data were modeled with 22 different thin-layer drying models, Page equation for natural drying, Weibull equation for 40 and 60 °C, Jena Das equation for 600 W, 400 W-40 °C, 400 W-60 °C, 600 W-50 °C, and Logistic equation for 600 W-60 °C were determined as the most suitable thin layer drying models. In all other drying methods, the Alibas equation is the model in which the best estimates are obtained. The drying method closest to the color parameters of the fresh product was measured in combined microwave-convective drying at 600 W-50 °C and 400 W-40 °C. On the other hand, natural and convective drying methods caused great losses in color parameters. The protein content closest to the raw material was measured in microwave drying at 400 W. In the study, the closest phosphorus, potassium, sodium, and copper contents to the fresh sample were determined at 600 W-60 °C. While manganese and magnesium content was at the maximum level at 400 W-40°C, zinc was preserved at the highest level at 600 W-40 °C. However, the calcium and iron contents closest to the fresh product were obtained at 60 °C and 200 W, respectively. While the total extractable phenolic components closest to the fresh product were measured at 600 W-60 °C, the total hydrolyzable and bioaccessible phenolic components were measured at the highest 60 °C. The percentage of bioaccessibility of the total phenolic components of the medlar was analyzed in the highest natural drying. ABTS, CUPRAC, and DPPH methods were used to determine the total antioxidant capacity. The highest antioxidant capacity was measured for ABTS in natural drying, for DPPH at 200 W-50 °C, and for CUPRAC at 400 W-60 °C. The DPPH method, in which the highest values were measured, was chosen as the most appropriate antioxidant capacity determination method.

Keywords: drying, energy consumption, protein, nutrient elements, total phenolic, antioxidant capacity **2021, vii + 99 pages.**

TEŞEKKÜR

Tez çalışmalarım süresince araştırma konusunun belirlenmesinden araştırma bulguları elde edilinceye kadar her aşamada her zaman yanımda olan desteğini, yardımlarını, ilgisini benden hiçbir zaman esirgemeyen çok değerli Danışman Hocam Sayın Doç. Dr. İlknur ALİBAŞ'a, tez çalışmalarım süresince bana her konuda yardımcı olan Yüksek Biyosistem Mühendisi Aslıhan YILMAZ'a, biyokimyasal analizlerimin yapılmasında yardımcı olan Prof. Dr. Ozan GÜRBÜZ ve Dr. Elif YILDIZ'a sonsuz teşekkürlerimi sunarım.

Maddi ve manevi hiçbir zaman desteklerini benden esirgemedi, her koşulda yanımda olan babama, anneme, abime ve eşine sonsuz teşekkürlerimi sunarım.

Begüm ARKAİN

16/08/2021

İÇİNDEKİLER

	Sayfa
ÖZET	i
ABSTRACT	ii
TEŞEKKÜR	iii
İÇİNDEKİLER	iv
SİMGELER VE KISALTMA DİZİNİ	vi
ŞEKİLLER DİZİNİ	ix
ÇİZELGELER DİZİNİ	xi
1. GİRİŞ	1
2. KAYNAK ARAŞTIRMASI	7
3. MATERYAL ve YÖNTEM	15
3.1. Materyal	15
3.2. Kurutma Ekipmanları ve Kullanılan Cihazlar	15
3.2.1. Mikrodalga Kurutucu	15
3.2.2. Etüv	16
3.2.3. Hassas Teraziler	16
3.2.4. Santifrj Cihazı ve Mikropipetler	17
3.2.5. Su Banyosu ve pH-metre	17
3.2.6. Test Tüpleri, Küvetler, Spatula ve Pisetler	18
3.2.7. Cam Aparatlar ve Havan	18
3.2.8. Renk Ölçüm Cihazı	19
3.2.9. Kjeldahl Yöntemine Göre Protein Tayininde Kullanılan Cihazlar	19
3.2.10. Makro ve Mikro Besin Elementi Tayininde Kullanılan Cihazlar	20
3.2.11. Elektrik Sayacı	22
3.2.12. Toplam Fenolik İçeriği Analizi İçin Kullanılan Kimyasallar	23
3.2.13. Toplam Antioksidan Kapasitesi Analizi İçin Kullanılan Kimyasallar	23
3.2.14. Derin Dondurucu	23
3.3. Yöntem	23
3.3.1. Kurutma Yöntemi	23
3.3.2. Toplam Enerji Tüketimi ve Özgül Enerji Tüketimi	25
3.3.3. Renk Ölçüm Yöntemi	25
3.3.4. Besin Elementi Analizleri	27
3.3.5. Biyokimyasal Analizler	28
3.3.6. Toplam Fenolik İçerik Analizi	29
3.3.7. Toplam Antioksidan Kapasitesi Analizi	30
3.3.8. Veri Analizi	32
4. BULGULAR VE TARTIŞMA	34
4.1. Kurutma Kinetiği ve Matematiksel Modelleme	34
4.2. Toplam Enerji Tüketimi ve Özgül Enerji Tüketimi	57
4.3. Renk Parametreleri. Toplam Renk Değişimi ve Kahverengileşme İndeksi	60
4.3.1. Renk Parametreleri	60
4.3.2. Toplam Renk Değişimi, Kahverengileşme ve Beyazlaşma İndeksi	61
4.4. Protein İçeriği ve Makro-Mikro Besin Elementi Konsantrasyonu	65
4.5. Biyoaktif Bileşenler	70
4.5.1. Toplam Fenolik İçerik	70
4.5.2. Toplam Antioksidan Kapasitesi	73
4.6. Verilerin Doğrusal Korelasyonları	78

5. SONUÇ.....	83
KAYNAKLAR.....	86
ÖZGEÇMİŞ.....	99



SİMGELER VE KISALTMA DİZİNİ

Simgeler	Açıklama
Abs	Absorbans
$MR_{exp,i}$	Ayrılabilir nem içeriği(%)
MR	Ayrılabilir nem içeriği
$B\bar{I}$	Beyazlaşma indeksi
dev dk ⁻¹	Dakikadaki devir sayısı
M_e	Denge nem muhtevası (kg _{su} kg _{KM} ⁻¹)
M	Herhangi bir andaki nem içeriği (kg _{su} kg _{KM} ⁻¹)
L_1	İlk absorbans
$K\bar{I}$	Kahverengileşme indeksi
X^2	Ki kare
kWh	Kilowatt-saat
C	Kroma
D_w	Kuru ağırlık
DR	Kuruma hızı (kg _{su} kg _{KM} ⁻¹ dk ⁻¹)
a, a_0, b, c, g, h, m	Kurutma katsayıları
d_t	Kurutma periyodunda nem içeriği için hesaplandığı zaman, dk
N	Kurutma sabiti
T	Kurutma süresi, s
L_k	Materyalin kalınlığı (mm)
M_f	Materyalin kurutmadan sonraki yaş baza göre nem içeriği (%)
μmol	Mikromol, hacim birimi
μl	Mikrolitre, hacim birimi
mg	Miligram
ml	Mililitre
$M_{Rpre,i}$	Modelin tahmin ettiği nem içeriği
W_s	Numunelerdeki su kütlesi, kg
W_0	Numunelerin ilk andaki kütlesi, kg
W_k	Numunelerin toplam kuru kütlesi, kg
K	Özel kurutma sabiti (dk ⁻¹)
R^2	Regresyon katsayısı
a^*	Rengin kırmızılık / yeşillik değeri
L^*	Rengin parlaklığı / koyuluğu
b^*	Rengin sarılık / mavilik değeri
α°	Renk açısı
n_i	Sabit ve katsayıların sayısı (adet)
L_2	Son absorbans
$\pm$	Standart hata
M_t	t anındaki nem muhtevası (kg _{su} kg _{KM} ⁻¹)
M_{t+dt}	t+dt anındaki nem muhtevası (kg _{su} kg _{KM} ⁻¹)
N	Toplam gözlem sayısı (adet)
ΔE	Toplam renk değişimi
M_0	Ürünün ilk nem içeriği (kg _{su} kg _{KM} ⁻¹)

Kısaltmalar	Açıklama
$\text{CH}_3\text{COONH}_4$	Amonyum asetat
$(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$	Amonyum sülfat
<i>N</i>	Azot
<i>Cu</i>	Bakır
CuCl_2	Bakır klorür
CuSO_4	Bakır sülfat
<i>B</i>	Biyoalınabilir
CUPRAC	Cupric Reducing Antioxidant Capacity
<i>Zn</i>	Çinko
<i>Fe</i>	Demir
<i>E</i>	Ekstrakte
$\text{C}_2\text{H}_5\text{OH}$	Etanol
%B	Fenollerin yüzdesel biyoalınabilirliği
FCR	Folin Ciocalteau Reaktifi
<i>P</i>	Fosfor
GAE	Gallik asit eşiti
HCl	Hidroklorik asit
<i>H</i>	Hidrolize
<i>Ca</i>	Kalsiyum
Kg	Kilogram
KKE	Konveksiyonel kurutmanın etkisi
k.b	Kuru baz
KS	Kuruma süresi, dk
KY	Kurutma yöntemi
<i>Mg</i>	Magnezyum
<i>Mn</i>	Manganez
CH_3OH	Metanol
MGE	Mikroalga kurutmanın etkisi
HNO_3	Nitrik asit
O_2	Oksijen
KOH	Ortalama karesel hata
O_{KH}	Ortalama kuruma hızı ($\text{kg}_{\text{su}} \text{kg}_{\text{KM}}^{-1} \text{dk}^{-1}$)
ÖET	Özgöl enerji tüketimi ($\text{kWh kg}_{\text{su}}^{-1}$)
HClO_4	Perklorik asit
<i>K</i>	Potasyum
KCl	Potasyum klorür
$\text{K}_2\text{S}_2\text{O}_8$	Potasyum persülfat
K_2SO_4	Potasyum sülfat
<i>Se</i>	Selenyum
<i>Na</i>	Sodyum
NaOH	Sodyum hidroksit
NaCl	Sodyum klorür
Trolox	Suda çözünen E vitamini
H_2SO_4	Sülfürik asit
SH	Tahmini standart hata
TET	Toplam enerji tüketimi (kWh)

TP	Toplam protein içeriği (%)
TEAC	Trolox eş değeri antioksidan kapasite
y.b	Yaş baz
ABTS	2,2'-azino-bis (3-etilbenzotiyazolin-6 sũlfonik asit)
DPPH	2,2-difenil-1-pikrilhidrazil



ŞEKİLLER DİZİNİ

	Sayfa
Şekil 1.1. Gıdaların kuruma eğrisi.....	3
Şekil 3.1. Muşmula (<i>Mespilus germanica</i>).....	15
Şekil 3.2. (a) Kombine kurutucu (b) Etüv.....	16
Şekil 3.3. (a, b) Hassas teraziler.....	16
Şekil 3.4. (a) Santrifüj cihazı (b) Mikropipetler (c) Vorteks.....	17
Şekil 3.5. (a) Çalkalamalı su banyosu (b) pH-metre.....	18
Şekil 3.6. (a) Santifrüj tüpleri (b) Pisetler (c) Kuvars küvetler (d) Spatüller.....	18
Şekil 3.7. (a) Cam malzemeler (b) Porselen havan.....	19
Şekil 3.8. Renk ölçer.....	19
Şekil 3.9. Blok yakma sistemi.....	20
Şekil 3.10. Destilasyon Cihazı.....	20
Şekil 3.11. Hot plate.....	20
Şekil 3.12. Çeker ocak.....	21
Şekil 3.13. ICP cihazı.....	21
Şekil 3.14. Flame fotometre.....	22
Şekil 3.15. UV-Vis spektrofotometre.....	22
Şekil 3.16. Monofaze elektrik sayacı.....	22
Şekil 3.17. CIELAB renk skalası.....	26
Şekil 4.1. Konveksiyonlu ve gölgede kurutma yöntemleri kullanılarak kurutulmuş muşmulanın zamana bağlı nem içeriği.....	36
Şekil 4.2. 200 W mikrodalga kurutma ve 40, 50 ve 60 °C’de konveksiyonlu kurutma yöntemlerinin kombinasyonları kullanılarak kurutulmuş muşmulanın zamana bağlı nem içeriği.....	36
Şekil 4.3. 400 W mikrodalga kurutma ve 40, 50 ve 60 °C’de konveksiyonlu kurutma yöntemlerinin kombinasyonları kullanılarak kurutulmuş muşmulanın zamana bağlı nem içeriği.....	37
Şekil 4.4. 600 W mikrodalga kurutma ve 40, 50 ve 60 °C’de konveksiyonlu kurutma yöntemlerinin kombinasyonları kullanılarak kurutulmuş muşmulanın zamana bağlı nem içeriği.....	37
Şekil 4.5. Konveksiyonlu ve gölgede kurutma yöntemleri kullanılarak kurutulmuş muşmulanın nem içeriğine bağlı kuruma hızları.....	39
Şekil 4.6. 200 W mikrodalga kurutma ve 40, 50 ve 60 °C’de konveksiyonlu kurutma yöntemlerinin kombinasyonları kullanılarak kurutulmuş muşmulanın nem içeriğine bağlı kuruma hızları.....	39
Şekil 4.7. 400 W mikrodalga kurutma ve 40, 50 ve 60 °C’de konveksiyonlu kurutma yöntemlerinin kombinasyonları kullanılarak kurutulmuş muşmula meyvesinin nem içeriğine bağlı kuruma hızları.....	40
Şekil 4.8. 600 W mikrodalga kurutma ve 40, 50 ve 60 °C’de konveksiyonlu kurutma yöntemlerinin kombinasyonları kullanılarak kurutulmuş muşmula meyvesinin nem içeriğine bağlı kuruma hızları.....	40
Şekil 4.9. Konveksiyonlu ve gölgede kurutma yöntemleri kullanılarak kurutulmuş muşmula meyvesinin deneysel ve deneysel sonuçlara en yakın sonuçları veren model aracılığıyla hesaplanan tahmini ayrılabilir nem içeriği.....	43

Şekil 4.10.	200 W mikrodalga kurutma ve 40, 50 ve 60 °C’de konveksiyonlu kurutma yöntemlerinin kombinasyonları kullanılarak kurutulmuş muşmulanın deneysel ve deneysel sonuçlara en yakın sonuçları veren model aracılığıyla hesaplanan tahmini ayrılabilir nem içeriği.....	43
Şekil 4.11.	400 W mikrodalga kurutma ve 40, 50 ve 60 °C’de konveksiyonlu kurutma yöntemlerinin kombinasyonları kullanılarak kurutulmuş muşmulanın deneysel ve deneysel sonuçlara en yakın sonuçları veren model aracılığıyla hesaplanan tahmini ayrılabilir nem içeriği.....	44
Şekil 4.12.	600 W mikrodalga kurutma ve 40, 50 ve 60 °C’de konveksiyonlu kurutma yöntemlerinin kombinasyonları kullanılarak kurutulmuş muşmulanın deneysel ve deneysel sonuçlara en yakın sonuçları veren model aracılığıyla hesaplanan tahmini ayrılabilir nem içeriği.....	44



ÇİZELGELER DİZİNİ

	Sayfa
Çizelge 3.1. Muşmulanın kurutulmasında kullanılan modeller.....	33
Çizelge 4.1. Gölgede kurutma ve 40, 50 ve 60 °C’de konveksiyonlu kurutma yöntemleriyle kurutulan muşmulanın modellenmesinde kullanılan ince tabaka kurutma eşitliklerinin istatistiksel parametreleri.....	45
Çizelge 4.2. 200 W ve kombinasyonları ile kurutulan muşmulanın modellenmesinde kullanılan ince tabaka kurutma eşitliklerine ilişkin istatistiksel parametreler...	46
Çizelge 4.3. 400 W ve kombinasyonları ile kurutulan muşmulanın modellenmesinde kullanılan ince tabaka kurutma eşitliklerine ilişkin istatistiksel parametreler...	47
Çizelge 4.4. 600 W ve kombinasyonları ile kurutulan muşmulanın modellenmesinde kullanılan ince tabaka kurutma eşitliklerine ilişkin istatistiksel parametreler...	48
Çizelge 4.5. Gölgede ve 40 °C’de konvektif kurutma ile kurutulan muşmulanın modellenmesinde kullanılan ince tabaka kurutma eşitliklerindeki kurutma sabit ve katsayıları.....	49
Çizelge 4.6. 50 ve 60 °C’de konvektif kurutma ile kurutulan muşmulanın modellenmesinde kullanılan ince tabaka kurutma eşitliklerindeki kurutma sabit ve katsayıları.....	50
Çizelge 4.7. 200 W ve 200 W-40 °C ile kurutulan muşmulanın modellenmesinde kullanılan ince tabaka kurutma eşitliklerindeki kurutma sabit ve katsayıları....	51
Çizelge 4.8. 200 W-50 °C ve 200 W-60 °C’de kurutulan muşmulanın modellenmesinde kullanılan ince tabaka kurutma eşitliklerindeki kurutma sabit ve katsayıları....	52
Çizelge 4.9. 400 W ve 400 W-40 °C’de kurutulan muşmulanın modellenmesinde kullanılan ince tabaka kurutma eşitliklerindeki kurutma sabit ve katsayıları....	53
Çizelge 4.10. 400 W-50 °C ve 400 W-60 °C’de kurutulan muşmulanın modellenmesinde kullanılan ince tabaka kurutma eşitliklerindeki kurutma sabit ve katsayıları....	54
Çizelge 4.11. 600 W ve 600 W-40 °C’de kurutulan muşmulanın modellenmesinde kullanılan ince tabaka kurutma eşitliklerindeki kurutma sabit ve katsayıları...	55
Çizelge 4.12. 600 W-50 °C ve 600 W-60 °C’de kurutulan muşmulanın modellenmesinde kullanılan ince tabaka kurutma eşitliklerindeki kurutma sabit ve katsayıları....	56
Çizelge 4.13. Muşmulanın farklı yöntemlerle kurutulması sırasındaki kurutma süresi, ortalama kuruma hızı, toplam enerji tüketimi ve özgül enerji tüketimi.....	59
Çizelge 4.14. Taze ve kurutulmuş muşmulanın renk parametreleri, toplam renk değişimi, kahverengileşme indeksi ve beyazlaşma indeksi.....	64
Çizelge 4.15. Taze ve kurutulmuş muşmulanın protein içeriği ve makro besin elementleri....	68
Çizelge 4.16. Taze ve kurutulmuş muşmulanın mikro besin elementleri.....	69
Çizelge 4.17. Farklı kurutma yöntemleri ile kurutulmuş muşmulanın toplam fenolik içeriği..	72
Çizelge 4.18. Farklı kurutma yöntemleri ile kurutulmuş muşmulanın DPPH* yöntemine göre antioksidan kapasitesi.....	76
Çizelge 4.19. Farklı kurutma yöntemleri ile kurutulmuş muşmulanın TEAC _{CUPRAC} yöntemine göre antioksidan kapasitesi.....	77
Çizelge 4.20. Farklı kurutma yöntemleri ile kurutulmuş muşmulanın ABTS*+ yöntemine göre antioksidan kapasitesi.....	78
Çizelge 4.21. Farklı yöntemlerle kurutulmuş muşmulanın ölçülen parametreleri arasındaki doğrusal ilişkiler.....	82

1. GİRİŞ

Muşmula (*Mespilus Germanica L.*), “Gülgiller (*Rosaceae*)” familyasında, iki çenekliler sınıfına dahil, *Maloideae* alt familyasında yer alan, türleri içerisinde meyvesi tüketilebilen Anadolu’da “döngel, beşbıyık”, Azerbeycan’da “ezgil”, Gürcistan’da “bushmala” olarak adlandırılan yumuşak çekirdekli, yabani ve sınır ağacı şeklinde yetişen bir meyve çeşididir. Anavatanı Avrupa ve Batı Asya olan muşmulanın, ülkemizde üretim alanları bakımından en çok bulunan bölgelere bakıldığında Karadeniz bölgesinde ladin ormanları içinde veya orman içi çalı bölümünde, Marmara bölgesinde orman içi çalı kısmında nemden hoşlanan küçük ağaççıklar biçiminde yetiştirme sahası bulmuştur (Aksu, 2018; Cevahir, 2019; Maral, 2019).

Kış mevsiminde yapraklarını döken ve genel olarak 3-5 m boyunda olan muşmulanın 8 metreye kadar çıkan türleri de bulunmaktadır. Muşmulanın yaprakları kalın, sert ve alt kısımları açık yeşil, üst yüzü mat koyu yeşil ve tüylü, yaprak uçları sivri, meyveleri yuvarlak veya oval biçimde koyu renklidir. Meyveleri çoğunlukla beş çekirdekli olup, ağaçtan koparıldığında sert, yendiğinde ağızda buruk bir tat bırakmaktadır. Ağaçtan toplanan meyvelerin yumuşak bir kıvama gelinceye kadar bekletilerek tüketilmesi buruk tadın azalmasına yardımcı olmaktadır (Cevahir, 2019). Meyveler, Ekim-Kasım aylarında hasat edilmektedir (Anonim, 2020a).

Muşmula, yüksek miktarda mineral içeriğini ve vitaminleri içerisinde barındırır. Organik asitler, pektin, potasyum (K), C vitamini ve daha az oranda A, B1 ve B2 vitaminlerini bünyesinde taşır (Maral, 2019). İçeriğinde yüksek oranda bulunan A vitamini sayesinde göz sağlığını korumaya yardımcı olmaktadır. Antioksidan özelliği, zararlı toksinlerin yok edilmesinde yardımcıdır. Lif bakımından zengin olduğu için sindirimi kolaylaştırmakta ve uzun süre tokluk hissi vererek kişinin fazla yemek yemesine engel olmaktadır. Muşmulanın yaprakları ise sindirimi kolaylaştırmaya, idrar söktürücü özelliği ile mesane ve böbrek taşlarını dökmeye, karaciğer ve akciğerin temizlenmesine yardımcı olur (Anonim, 2020b).

Muşmulada bulunan “melovin” maddesi deforme olan hücrelerin sayısını azaltılarak sinir sisteminin daha sağlıklı işlemesine katkıda bulunur. Üstelik kan dolaşımına da büyük ölçüde etkileyerek beyne giden oksijen oranının artmasını ve kişinin gün

içerisinde kendini daha dinç hissetmesini sağlar. Sıvı oranı bakımından zengin olduğu için vücuttaki su dengesinin düzenlenmesinde, böbrek üstü bezlerinin çalışmasında, bağırsak florasının etkinliğinin artmasında etkilidir. Bunun yanı sıra bağırsak iltihaplanmasının önüne geçerek ishal ve dizanteri gibi ciddi sağlık problemlerini yok eder. Muşmula püresi, kabızlığın giderilmesini sağlarken, muşmula çayı ise bronşit ve astım rahatsızlıklarının azaltılmasında ve gut hastalığının tedavi edilmesinde etkilidir. Ayrıca muşmula çayı kalsiyum oranı bakımından yüksek bir değere sahip olduğundan dolayı kas ve kemik yapısını güçlenmesine katkı sağlamaktadır. Çekirdekleri kaynatılmasıyla elde edilen su, vücuttaki ödemin dışarı atılmasını sağlayarak zayıflamaya yardımcı olur (Anonim, 2020b).

Muşmula meyvesinden turşu, marmelat, pekmez, sirke, reçel gibi ürünler yapılmakta ve tüketilmektedir (Gürbüz ve Bostan, 2020). Muşmula, ülkemizde ya taze olarak tüketilir ya da raf ömrünü uzatmada en eski yöntemlerden biri olan turşu yapımında kullanılır (Aksu, 2018).

Muşmula meyvesinin sayısız faydalarının yanında bazı yan etkileri de bulunmaktadır. Alerjik bünyelerde cildin kızarmasına sebep olan muşmula, aşırı tüketildiğinde vücutta gaz sıkışmasına neden olabilir. Ayrıca kronik hastalığa sahip ve kalp-damar hastalıkları, bazı kanser türleri, obezite, KOAH ve astım ilaçları kullanan kişilerin muşmulayı daha dikkatli tüketmesi gerekmektedir (Anonim, 2020b).

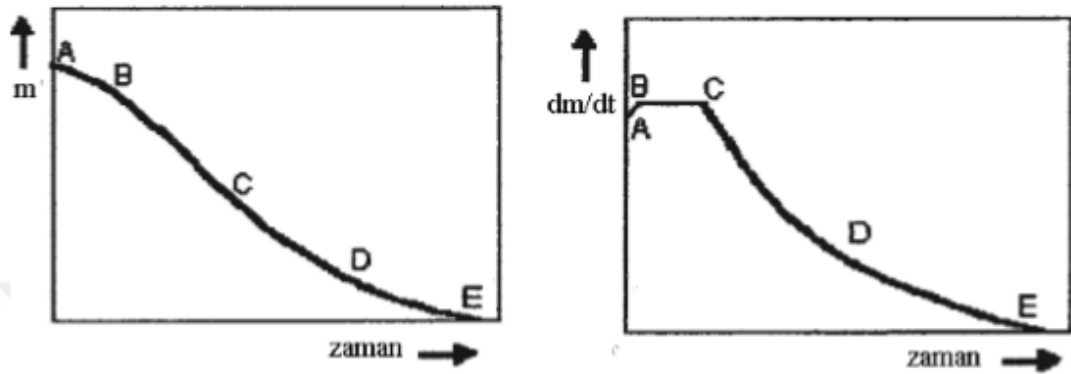
Hasat sonrası taze meyve ve sebzelerin kalitesini ve stabilitesini korumak, mikroorganizmaların sebep olduğu çürüme ve kimyasal bozulmaların önüne geçebilmek ve daha uzun raf ömrü sağlamak için kullanılan en uygun muhafaza tekniği kurutma yöntemidir. En kısa tanımıyla kurutma, “üründe bulunan suyun uzaklaştırılması” olarak ifade edilebilir. Üründeki suyun uzaklaştırılması ile ürünün kütlesi ve hacmi azalmakta aynı zamanda depolama, paketlenme, nakliye, taşıma işlemleri sırasında kolaylık sağlamaktadır (Nguyen ve ark., 2018; Sarıgök, 2019).

Kurutma işlemi sırasında ısı ve kütle transferi eş zamanlı olarak gerçekleşir. Isı transferinin başlangıcında gıda, kurutucu içinde dolanan sıcak hava ile temas ederek ısınmaya başlar. Kütle transferi ise gıdanın yüzeyindeki nem, tamamen kuruduktan

sonra, iç kısımlarda bulunan nemin, difüzyonla yüzeye taşınmasıyla gerçekleşir (Alkaç, 2019).

Gıdaların kurutulması esnasında 2 farklı kurutma evresi olduğu bilinmektedir (Şekil 1.1). Kurutmanın ilk aşamasında, gıda içerisindeki nem miktarı yüksek olduğundan dolayı nemi uzaklaştırmak adına kurumanın yüksek hız değerinde başladığı bir “sabit hızla kuruma evresi” devamında ise artık nem içeriği azaldığı için hızın giderek yavaşladığı ve başlangıca göre daha az miktarda suyun buharlaştırıldığı “azalan hızla kuruma evresi” görülmektedir (Taştekinöğlu, 2019).

Şekil 1.1’deki grafikte görüldüğü üzere gıdaların kurutulması esnasında elde edilen eğride BC arası sabit hızla kuruma, CE arası azalan hızla kuruma evresinin gerçekleştiği aralıklardır. Bununla birlikte, C noktası ürünün yüzeyinde serbestçe buharlaşabilen nemin sona erdiği noktayı gösterir. Ayrıca, bu noktada sabit hızla kuruma evresi sona erer ve bu noktadaki neme “kritik nem” denir (Taştekinöğlu, 2019).



Şekil 1.1. Gıdaların kuruma eğrisi (Taştekinöğlu, 2019)

Kurutmada amaç düşük enerji tüketimi sağlanarak, mümkün olan en kısa zaman diliminde renk, koku, tat bakımından yüksek kaliteli ürün elde etmektir. Bunlar, kurutma işlemi sırasında ve sonrasında yer alan en önemli üç ana faktördür (Polatçı ve Taşova, 2018; Tekgül, 2019). Farklı ürünler için kurutma süresi, enerji tüketimi ve ürün kalitesi kurutulan üründen ürüne ve uygulanan kurutma yöntemine göre farklılık göstermektedir. Bu nedenle, geçmişten günümüze konvektif, mikrodalga, vakum, kızıl ötesi, akışkan yataklı, osmotik, sprey ve dondurarak kurutma gibi pek çok kurutma yöntemi geliştirilmiştir (Alibas ve ark., 2020; Bilaloğlu, 2019; Eyiz ve ark., 2020; Kovacı ve ark., 2018; Timurtaş, 2020; Top ve ark., 2019).

Gölgede kurutma yöntemi bilinen en eski kurutma yöntemidir. Bu yöntemde ürünler çok uzun sürede kurumakta, kurutma için çok geniş alanlara ihtiyaç duyulmakta, işgücü gereksinimi yüksek olmakta, üründe mikro küflenmeler meydana gelmekte ve açık alanda kurutmadan dolayı ürün toz, böcek, kuş ve diğer mikroorganizmalara maruz kalmaktadır. Tüm bu olumsuz yönlerinden dolayı gölgede kurutma, gıdalar için uygun ve yeterli bir yöntem olarak görülmemektedir (Alibas ve ark., 2021; Taşova ve ark., 2019).

Konvektif kurutma, güneşte kurutma yönteminden kaynaklanan olumsuzlukları aşmak için geliştirilmiş olup günümüzde ticari olarak en yaygın kullanılan kurutma yöntemidir (Alibas ve ark., 2020). Bu yöntemin kurulum ve işletim masrafları oldukça düşüktür (Günaydın, 2020). Konveksiyonel kurutma yönteminde sıcak hava, kurutulan ürün katmanının üzerinden veya içinden geçirilerek konveksiyon (taşıma) yoluyla iletilir (Bilaloğlu, 2019; Tekgül, 2019). Üründen buharlaşan nemin ortamdaki uzaklaşma hızını belirlediği için kurutma havasının hızı, bu yöntemde de en önemli faktörlerden birisidir. Hava hızı, sabit hızla kuruma evresinde etkili olmakta buna karşın azalan hızla kuruma evresinde herhangi bir etkisi olmamaktadır (Aksoy, 2019; Taştekinoglu, 2019). Konvektif kurutma yöntemi, ürünün yüzey üzerinde ve yüzeye yakın kısımlarındaki serbest suyun yok edilmesi için diğer kurutma yöntemlerine göre daha etkindir (Xu ve ark., 2018). Ancak, bu yöntemin yüzey sertleştirme etkisi nedeniyle suyun iç kısımdan buharlaşması oldukça zor olmaktadır. Bununla birlikte, konvektif kurutma yöntemi, kurutma süresinin uzunluğu, üründe aroma, tat, renk, besin içeriği kayıpları ve yüksek enerji tüketimi gibi dezavantajlara sebep olur (Arslan ve ark., 2019; Başataç, 2019; İncedayı ve ark., 2016; Yıldız, 2019; Yılmaz ve Alibas, 2021). Bu gibi olumsuz özellikleri en aza indirebilmek için mikrodalga, dondurma, ultrason gibi farklı enerji kaynakları ile kombine edilerek hibrit kurutma yöntemleri uygulanabilir (Kovacı, 2019; Yıldız, 2019).

Mikrodalga kurutma, gıdanın içindeki su moleküllerinin titreşerek sürtünme sonucu ısı enerjisinin açığa çıkmasıyla, nemin hızlı bir şekilde uzaklaştırılması prensibine dayanır (Lenaerts ve ark., 2018; Tekgül, 2019). Bu yöntem ile diğer yöntemlere kıyasla oldukça kısa sürede ürünlerin kurutulması mümkündür (Taşova ve ark., 2019). Düşük mikrodalga çıkış güçleri ile kurutulan ürünlerin iç yapılarında çok fazla değişimin

meydana gelmediği yapılan çalışmalar sonucu kanıtlanmıştır (Alibas ve ark., 2020). Mikrodalga kurutma yöntemiyle taze ürünlere yakın aroma, tat ve renk değerlerinin yanı sıra yeniden kolayca su çekebilen ürünler elde edilmiştir (Göksu, 2019). Ayrıca, mikrodalga kurutmada, diğer geleneksel yöntemlere göre enerji tüketiminin az olması, tekdüze sıcaklık dağılımı sağlaması, kalite kayıplarının en aza indirilmesi, besin içeriğinin korunması gibi avantajlarından dolayı yaygın olarak kullanılan bir yöntem haline gelmiştir (Alibas ve ark., 2021; Şimşek, 2018)

Mikrodalga kurutma, elektromanyetik dalgalar aracılığıyla gıdaların sadece yüzeyini değil, ürünün tamamının hacimsel olarak ısıtılmasına dayanan bir kurutma metodudur (Lenaerts ve ark., 2018). Kurutulan gıda maddelerinin iç sıcaklığı, yüzey sıcaklığından daha yüksek olup, diğer kurutma yöntemlerine göre daha etkin bir nem aktarımı sağlar (Arda, 2017). Mikrodalga kurutucular temel olarak, elektrik enerjisini mikrodalgaya dönüştüren magnetron ve dalga yayıcıdan (diffüzör) oluşur (Anonim, 2020c).

Mikrodalga kurutma yönteminin yüksek yatırım maliyeti gerektirmesi ve yüksek mikrodalga çıkış güçlerinde üründe patlama, yarıma ve yanma gibi olumsuzluklara neden olmasından dolayı, düşük mikrodalga güçlerinin farklı kurutma yöntemleri ile kombine edilerek kullanılması literatürde son yıllarda yaygın olarak çalışılan bir konu haline gelmiştir (Polatçı ve Taşova, 2017). Mikrodalga ile vakum kurutma yönteminin kombine edilmesiyle ürün kalitesinin yanı sıra enerji verimliliğini de arttırmıştır. Mikrodalga ile konvektif kurutma yönteminin kombinasyonu ise diğer geleneksel kurutma yöntemlerine kıyasla kurutma süresini önemli ölçüde azaltmıştır (Doğu, 2016).

Birçok araştırmacı tarafından literatürde konvektif kurutma yöntemiyle kurutulan kuşburnu (Bicer ve Kar, 2013), dağ çileği (Orak ve ark., 2012), armut ve alıç (Aladag ve ark., 2020), mikrodalga kurutma yöntemiyle yenedünya (Polatçı ve Taşova, 2018), karayemiş (Güleç ve Özdemir, 2017), ayva (Karaaslan ve ark., 2016), elma kabuğu (Alibas ve ark., 2020) ve çilek (Alibaş, 2012b), kombine mikrodalga konvektif kurutma yöntemi ile kayısı (İncedayi ve ark., 2016), vişne (Horuz ve ark., 2017) gibi birçok meyvenin kurutulması sağlanmıştır.

Bu çalışmanın amacı; i) muşmulanın mikrodalga, konvektif, kombine mikrodalga-konvektif ve gölgede kurutma yöntemleri ile kurutulması, ii) kurutma sırasında oluşan

toplam enerji tüketimi ve özgül enerji tüketiminin saptanması, iii) deneysel verilerin 22 farklı ince tabaka kurutma eşitliği kullanılarak modellenmesi, iv) kurutulan ürünlerdeki renk değişiminin taze ürünle kıyaslanarak belirlenmesi, v) taze ve kurutulmuş muşmula meyvesinde toplam protein miktarı ile makro ve mikro besin elementlerinin ortaya koyulması, vi) ABTS, DPPH, CUPRAC yöntemlerini kullanarak toplam antioksidan kapasitesini, toplam fenolik içeriğinin belirlenmesi, vii) kurutma süresi, enerji tüketimi, renk parametreleri, besin elementleri, toplam fenolik içeriği ve antioksidan kapasitesi dikkate alınarak taze muşmula örneklerine en yakın sonuçları veren kurutma yönteminin belirtilmesidir.



2. KAYNAK ARAŞTIRMASI

Koyuncu ve ark.(2007) Akdeniz bölgesinde yetişen kırmızı (*Crataegus monogyna*) ve sarı (*Crataegus aronia*) renkteki muşmulaları konvektif kurutma yöntemiyle 60 ve 70 °C sıcaklıklarda ve 0.25 m s⁻¹ hava hızında kurutulmuştur. Çalışmada, kırmızı muşmulanın özgül enerji tüketimi 42.80 kWh kg⁻¹ iken, sarı çeşidin ki ise 27.68 kWh kg⁻¹ olarak tespit edilmiştir. Ayrıca, 70 °C sıcaklıkta kurutmanın, hem kurutma süresi hem de enerji tüketim değerleri açısından en uygun yöntem olduğu belirtilmiştir.

Rahman ve ark. (2007) elma ve patatesi 55 °C’de ısı pompası destekli konvektif kurutucuda kurutmuş ve toplam kurutma periyodunun neredeyse yarısına denk gelen bölümünde ayrılabilir nemin %45’inin ürünlerden uzaklaştığını tespit etmiştir.

Fang ve ark. (2009) Çin hünnabını 50, 60 ve 70 °C’de konvektif kurutucuda kurutmuş ve 13 farklı ince tabaka kurutma eşitliği kullanarak deneysel verileri modellemiştir. Verma modeli ile deneysel verilere en yakın tahmin sonuçları elde edilmiş olup aktivasyon enerjisi ise 54.51 kJ mol⁻¹ olarak belirlenmiştir.

Ong ve Law (2011) yılan (*Salacca zalacca*) meyvesini 40, 50, 70 ve 90 °C’de sıcak hava ile kurutma, 26 ve 37°C’de ısı pompalı destekli kurutma ve 50, 60 ve 70 °C sıcaklıklarda ön işlem uygulanarak dondurarak kurutma yöntemleriyle kurutmuş ve kurutulmuş meyvelerdeki toplam renk değişimini (ΔE) incelemiştir. Sıcaklığın artmasıyla kuruma süresi azalırken, doku bozulmasından kaynaklı olarak ΔE değeri artmış, yani meyve koyu bir renk almıştır. En düşük renk kaybı ise ısı pompalı destekli kurutma yönteminde ölçülmüştür.

Orak ve ark. (2012) dağ çileğini 65 °C’de konvektif ve -40 °C’de dondurarak kurutma yöntemleri ile kurutmuş ve yöntemlerin, renk değişimi, toplam fenolik içerik, askorbik asit, antioksidan kapasitesi ve besin elementlerine etkisini incelemiştir. Taze ürüne en yakın renk değişimi, toplam fenolik, askorbik asit, antioksidan kapasitesi ve besin elementleri dondurarak kurutma yönteminde ölçülmüştür.

Alibaş (2012b) yaş baza göre %92.15 ilk nem içeriğine sahip çilek dilimlerini 350, 500, 750 ve 1000 W’da mikrodalga kurutma yöntemiyle son nemi %13.87 oluncaya kadar

kurutmuş ve taze ürüne en yakın renk ve C vitamini (askorbik asit) içeriğini 500 W'da ölçmüştür. Çalışmada elde edilen deneysel verilere en yakın sonuçların elde edildiği ince tabaka kurutma modelinin Alibaş eşitliği olduğu tespit edilmiştir.

Bicer ve Kar (2013) kuşburnuyu 50, 60 ve 70 °C sıcaklık ve 0.5, 1 ve 1.5 m s⁻¹ hava hızlarının kombinasyonu ile kurutmuş ve sıcaklığın artmasının C vitamini içeriğini olumsuz etkilediğini vurgulamıştır. Ayrıca, 70 °C sıcaklık değerinde numunenin renginde yüksek düzeyde kahverengileşme meydana gelmiştir.

Chiau ve ark. (2013) muşmulayı (*Vangueria Infausta*) 60 ve 80 °C ile 3 m s⁻¹ hava hızı kombinasyonunda konvektif bir kurutucuda kurutmuştur. Numuneler maltodekstrin ve sükroz ile muamele edilmiş ve kurutma sıcaklığının, su içeriği ve su aktivitesi üzerindeki etkileri incelenmiştir. Buna göre, 80 °C'de 240 dakikada kuruyan muşmulanın su aktivitesi 0.633-0.759 değer aralığındadır. Sıcaklık arttıkça kurutma süresi de kısalmıştır.

Oancea ve ark. (2014) ahududuyu -18 °C'de dondurarak ve 60 ve 80 °C'de konveksiyonlu olarak kurutmuş ve sıcaklığın artması ile antioksidan kapasitesinin ve fenolik bileşenlerin konsantrasyonunun azaldığını belirlemiştir.

Aghilinategh ve ark. (2015) elmayı konvektif 40-80 °C'de, mikrodalga 200-600 W güç seviyesinde kurutmuş, rehidrasyon oranı, yığın yoğunluğu, toplam fenolik içeriği, renk değişimi ve enerji tüketimine etkisi araştırılmıştır. Sıcaklıktaki ve mikrodalga gücündeki artış, yığın yoğunluğu ve enerji tüketiminin düşmesine, düşük sıcaklık ve mikrodalga gücü renk değişiminin daha az olmasına sebep gösterilmiştir. Mikrodalga gücündeki artış toplam fenolik içeriğini arttırmış, fakat kurutma sıcaklıklarındaki artışla azalmıştır.

Raice ve ark. (2015) muşmulayı (*Mespilus Germanica*) püre haline getirilerek 40, 60 ve 80 °C sıcaklıklarda ve 1, 3 ve 4 m s⁻¹ hava hızında konvektif kurutma yöntemiyle kurutmuş ve kurutulmuş numunelerin su aktivitesi ve aroma bileşenleri üzerindeki etkisini incelemiştir. Uygulanan sıcaklık ve hava hızına bağlı olarak numunelerin kuruma süresi 60 ila 420 dakika arasında gerçekleşmiştir. Su aktivitesi ve aroma

bileşenleri bakımından 80 °C sıcaklık ve 3 m s⁻¹ hava hızında yapılan kurutmanın en iyi kurutma yöntemi olduğu vurgulanmıştır.

Zarein ve ark. (2015) elmayı 200, 400 ve 600 W'da mikrodalga kurutma yöntemiyle kurutmuş ve mikrodalga çıkış gücünün artması ile kütle transfer hızının ve difüzyon enerjisinin (D_{eff}) arttığını belirlemiştir. Çalışmada, aktivasyon enerjisi 12.15 W g⁻¹ olarak hesaplanmıştır.

İncedayi ve ark. (2016) kayısıyı 50 ve 75 °C'de konvektif kurutma, 90 ve 160 W'da mikrodalga kurutma ve tüm sıcaklık ve mikrodalga çıkış güçlerinin kombinasyonu ile kombine mikrodalga-konvektif kurutma yöntemleriyle kurutmuş ve kurutma tekniklerinin renk parametreleri, β -karoten, antioksidan kapasitesi ve besin elementlerine etkisini araştırmıştır. Renk parametreleri ve antioksidan kapasitesinde kurutma sonunda azalma gözlenmiştir. Çalışmada, en yüksek β -karoten içeriği 160W-50 °C kombinasyonunda ölçülmüştür. En yüksek K ve Ca içeriği 75 °C'de, Mg içeriği 90 W-50 °C kombinasyonunda ve Zn içeriğini ise 160 W'da en yüksek seviyede tespit edilmiştir.

Çakmak ve ark. (2016) dağ çileğini -50 °C'de dondurarak kurutma ve 60 °C sıcaklık ile 0.6 m s⁻¹ hava hızının kombinasyonu ile konveksiyonlu kurutma yöntemleri ile kurutmuş ve kurutulmuş örneklerde C vitamini, toplam fenolik madde, antioksidan kapasitesi ve renk parametrelerini analiz etmiştir. Tüm kurutma yöntemlerinde kurutma sürelerinin uzun olması nedeniyle C vitamini, toplam fenolik madde, antioksidan kapasitesi içeriğinde yüksek oranda kayıp tespit edilmiştir. Ayrıca, a^* parametresi konveksiyonel kurutucuda, buna karşın L^* ve b^* parametreleri ise dondurarak kurutma yönteminde taze ürüne yakın bulunmuştur.

Pető ve ark. (2016) *Szentesi Rose* ve *Dutch Giant* olmak üzere iki farklı muşmula çeşidini 70 °C'de konvektif kurutma yöntemi ile kurutmuş ve kurutulan ürünleri şeker içeriği, titre edilebilir asit, C vitamini ve besin element içerikleri açısından incelemiştir. Çalışmada, iki muşmula çeşidi arasında Ca , Mg ve Na konsantrasyonu bakımından fark olmamasına karşın, *Dutch Giant* çeşidinde P , Zn ve B ve *Szentesi Rose* çeşidinde ise K , Fe ve Mn 'nin yüksek olduğu saptanmıştır. Titre edilebilir asit, kuru madde ve indirgen şeker içeriği, *Dutch Giant* çeşidinde daha yüksek iken, C vitamini konsantrasyonu ise

Szentezi Rose çeşidinde *Dutch Giant*'a kıyasla 3 kat daha yüksek olduğu tespit edilmiştir.

Wojdyło ve ark. (2016) hünnabı 50, 60 ve 70 °C'de sıcak hava, 480, 120 W, 480-120 W, 60 °C, 4 ve 6 kPa basınçta vakum-mikrodalga ve -60 °C'de dondurarak kurutma yöntemleriyle kurutmuştur. Çalışmada, kurutma yöntemlerinin, toplam fenolik ve flavonoid içeriği, C vitamini konsantrasyonu, antioksidan aktivite ve renk değişimine etkisi incelenmiş olup, tüm fitokimyasal parametreler açısından en yüksek değerler dondurarak kurutma yönteminde elde edilmiştir. Sıcak hava ile kurutulan örneklerde diğer yöntemlere kıyasla kahverengileşme gözlemlenmiştir. Kurutma süresi oldukça kısa olmasına karşın, 70 °C'de kurutulan örneklerde, yüksek sıcaklık ve malzemenin ısıya karşı hassasiyeti nedeniyle fitokimyasal parametreler olumsuz etkilenmiştir.

Karaaslan ve ark. (2016) ayva dilimlerini 3.75 kg_{su} kg_{KM}⁻¹ ilk nem içeriğinden 0.12 kg_{su} kg_{KM}⁻¹ son nem içeriğine kadar 180, 360, 540, 720 ve 900 W'da mikrodalga kurutucuda kurutmuş ve mikrodalga gücünün artması ile kuruma süresinin kısaldığını, buna karşın kuruma hızının arttığını belirtmiştir. Deneysel verilere en yakın tahmin sonuçları Midilli ve ark. modeli ile elde edilmiştir.

Kowalski ve ark. (2016) çalışmasında çileği 100 W'da mikrodalga kurutma, 50 °C'de konvektif kurutma ve 100 W-50 °C'de kombine mikrodalga-konvektif kurutma yöntemlerini kullanarak kurutmuş ve en yüksek özgül enerji tüketimini 50 °C'de konvektif kurutma yönteminde ölçmüştür.

Horuz ve ark. (2017) vişneyi 50, 60 ve 70 °C'de konvektif, 120, 150 ve 180 W'da mikrodalga ve hem sıcaklık hem de mikrodalga çıkış güçlerinin kombinasyonu ile mikrodalga-konvektif kurutma yöntemlerini kullanarak kurutmuştur. Çalışmada, kurutma yöntemlerinin toplam fenolik içerik, antioksidan kapasite, askorbik asit içeriği, renk değişimi ve rehidrasyon oranına etkisi belirlenmiştir. Mikrodalga gücünün artmasıyla hem kurutma süresi hem de enerji tüketiminde azalma olduğu vurgulanmıştır. Ayrıca, 180 W-70 °C'de kombine mikrodalga-konvektif yönteminde tüm fitokimyasal parametrelerin ve rehidrasyon oranının diğer yöntemlere kıyasla daha yüksek olduğu saptanmış olup hem konvektif hem de kombine kurutma yönteminde askorbik asit içeriğinin büyük oranda kayba uğradığı gözlenmiştir.

Adak ve ark. (2017) çileği 100, 200, 300 W'da mikrodalgada ve 60, 80 ve 100°C'de konvektif kurutma yöntemiyle kurutmuş ve kurutma yöntemlerinin toplam fenolik içeriği, antosiyanin içeriği, renk parametreleri ve makro-mikro besin elementleri üzerindeki etkisini araştırmıştır. Mikrodalga çıkış gücünün ve hava sıcaklığının artması ile kurutma süresi azalmış, ancak üründe renk kayıpları ortaya çıkmıştır. En yüksek fenolik ve antosiyanin içeriği 300 W ve 60 °C'de ölçülmüştür. Sıcaklığın artması ile *N*, *P* ve *K* içeriğinde artma, *Mn*, *Zn* ve *Ca* içeriğinde ise azalma meydana gelmiştir. Çileğin kurutulması için en uygun kurutma yöntemlerinin 200 W'da mikrodalga ve 100 °C'de konveksiyonel kurutma yöntemleri olduğu vurgulanmıştır.

Güleç ve Özdemir (2017) karayemişi kurutma özelliklerini belirlemek amacıyla güneşe sererek geleneksel kurutma yöntemiyle ortalama 33 °C'de, 460, 600 ve 700 W'da mikrodalga kurutma ve 200-500 W aralığında infrared kurutma yöntemleriyle kurutmuştur. Infrared kurutmada en kısa kurutma süresi 90 dakika ile 500 W'da tespit edilirken, 700 W'da mikrodalga kurutmada 20 dakika ile en kısa kurutma süresi elde edilmiştir. En uzun kurutma süresi ise güneşe sererek kurutmada belirlenmiştir.

Coklar ve ark. (2018) alıcı dondurarak -18 °C'de, 60 °C'de konveksiyonla ve 360 W-60 °C'de kombine mikrodalga-konvektif kurutma yöntemi ile kurutmuş ve kurutmanın toplam fenolik içeriği, renk parametreleri ve antioksidan kapasitesine etkisini araştırmıştır. Kombine kurutma meyve rengi üzerinde olumsuz sonuçlara neden olurken, dondurarak kurutma yöntemi ile kurutulmuş meyvelerin toplam fenolik içeriği ve antioksidan kapasitesi en yüksek düzeyde bulunmuştur.

Polatçı ve Taşova (2018) yenidoğruyayı 360, 540, 720 ve 900 W mikrodalga çıkış gücünde mikrodalga kurutma yöntemiyle kurutmuş ve mikrodalga gücünün artması ile kurutma süresinin kısaldığını, buna karşın etkin nem difüzyonunun (D_{eff}) arttığını vurgulamıştır. Taze ürüne en yakın kroma değeri 360 W'da ölçülürken, deneysel verilere en yakın tahmin sonuçları Midilli ve ark. modeli ile elde edilmiştir.

Paunović ve ark. (2019) kuşburnuyu 60 °C sıcaklıkta 16 saat ve sonra 50 °C sıcaklıkta 20 saatten oluşan iki aşamalı konveksiyonel kurutma yöntemiyle kurutmuş ve kurutmanın makro-mikro besin elementi, C vitamini, toplam fenolik içerik, toplam flavonoid ve antioksidan kapasitesi üzerine etkisini incelemiştir. Ayrıca, toplam fenolik,

toplam flavonoid, antioksidan kapasitesi ve C vitamininin taze örneklerle kıyasla önemli ölçüde azaldığı tespit edilmiştir.

Suna (2019) muşmula püresini 90 ve 180 W'da mikrodalga kurutucuda, 60 ve 70 °C'de konveksiyonlu kurutucuda ve 60, 70 °C ile 200, 300 mbar kombinasyonlarını kullanarak vakumla kurutmuştur. Çalışmada, kurutma yöntemlerinin kurutma süresine, toplam fenolik içeriğe, antioksidan kapasitesine, renk değişimine ve muşmula pestilinin *in-vitro* gastrointestinal sindirime etkisi araştırılmıştır. En kısa kurutma süresi 180 W'da mikrodalga kurutmada elde edilmiştir. Ayrıca çalışmada konvektif kurutmada, artan kurutma sıcaklığı ile kurutma sürecini hızlandırdığı ve kurutma süresinin kısaldığı vurgulanmıştır. Taze ürüne en yakın renk kriterleri mikrodalga kurutmada ölçülürken, konvektif kurutmanın renk kriterlerini en olumsuz etkileyen yöntem olduğu belirlenmiştir.

Seerangurayar ve ark. (2019) farklı olgunluk seviyesine (*khalal*, *rutab* ve *tamr*) sahip hurmaları (*Phoenix Dactylifera*) 41°C'de güneşe sererek, 49°C'de konvektif kurutma yöntemiyle ve 51°C'de tünel tipi serada kurutmuş ve kurutulan meyvelerdeki renk parametreleri (L^* , a^* , b^* , a^0) ile toplam renk değişimini (ΔE) incelemiştir. *Khalal* aşamasındaki konvektif kurutma ile kurutulan hurmaların b^* değeri en yüksek düzeyde korunmuştur. Olgunluk seviyelerinin tümünde, konvektif kurutma yöntemi ile kurutulan hurmaların, tünel tipi serada kurutulan ve güneşe sererek kurutulan hurmalardan daha iyi renk ve doku özelliklerine sahip olduğu görülmüştür.

Raza ve ark. (2019) *dhakki*, *aseel* ve *rabi* çeşidi hurma çeşitlerini 60 °C'de konvektif ve 150 °C'de ve 30 ml min⁻¹ akış hızı koşullarında spreyl kurutma yöntemleri ile kurutmuş ve hurma tozunun toplam fenolik içeriği, renk parametreleri, higroskopisite, yığın yoğunluğu ve çözünürlük gibi bazı fizikokimyasal özelliklere etkisini saptamıştır. Konvektif kurutulmuş ürünlerin fenolik bileşenlerce daha zengin olduğu tespit edilmiştir. En yüksek L^* değeri spreylde kurutulmuş *aseel* çeşidinde ölçülürken, *dhakki* çeşidinde a^* değeri açısından en iyi sonuçlar spreyl kurutmada ve b^* değeri *aseel* çeşidinde konvektif kurutmada yüksek değerler almıştır. Konvektif ve spreyl kurutma yöntemleri için en yüksek çözünürlük değeri %83 bulunmuştur.

Taşova ve ark. (2019) kuşburnuyu 360, 540, 720 ve 900 W'da mikrodalga ve 50, 60 ve 70 °C'de konveksiyonel kurutucuda kurutmuş ve kurutmanın renk parametreleri ve C vitamini içeriğine olan etkisini araştırmıştır. Çalışmada, kurutma sıcaklığının ve mikrodalga güç seviyesinin artırılmasıyla kurutma sürelerinin önemli oranda azaldığı vurgulanmıştır. Tüm kurutma yöntemleri içinde en uzun kurutma süresi 7.5 saat ile 50 °C'de ölçülürken, en kısa kurutma süresi 9 dakika ile 900 W'da tespit edilmiştir. Taze ürüne en yakın renk parametreleri, 70 °C'de konvektif ve 720 W'da mikrodalga kurutma yöntemleriyle kurutulmuş ürünlerde elde edilmiştir. Buna karşın en yüksek C vitamini konsantrasyonu ise 900 W ve 70 °C'de analiz edilmiştir.

Aladag ve ark. (2020) armut ve alıcı 70 °C'de konvektif kurutma yöntemiyle kurutmuş ve kurutmanın toplam fenolik, antioksidan kapasitesi, besin elementlerine etkisini incelemiştir. Kurutulmuş ürünlerin toplam fenolik içeriğinin önemli ölçüde azaldığı görülmüştür. *P, K, Ca, Mg, Fe, Cu, Mn* ve *Zn* konsantrasyonunun konvektif kurutma ile azalmadığı gözlenmiştir.

Alibas ve ark. (2020) elma kabuklarını 25 °C'de gölge ortamda ve 400, 600, 800 ve 1000 W'da mikrodalga kurutma ile kurutmuş ve kurutmanın renk parametreleri ile makro-mikro besin elementlerine olan etkisini incelemiştir. En yüksek *P, K, Mg, Na, Fe, Cu, Mn* ve *Zn* konsantrasyonu 400 W'da ölçülürken, *N* ve *Ca* için 600 W'da maksimum konsantrasyon tespit edilmiştir. Mikrodalga çıkış gücünün artması ile makro ve mikro besin elementi içeriğinde azalma gözlemlenmiştir.

Zia ve Alibas (2021a) yaban mersinini 25 °C'de gölge bir ortamda doğal kurutma, 100, 300 ve 500 W'da mikrodalga kurutma ve 50, 70 ve 90 °C'de konveksiyonlu kurutma yöntemlerini kullanarak kurutmuştur. Çalışmada, 100, 300 ve 500 W mikrodalga çıkış güçleri ile 50, 70 ve 90 °C sıcaklıkların kombinasyonları da kullanılmıştır. En uzun kurutma süresi gölgede kurutma yönteminde kaydedilirken, en yüksek enerji tüketimi ise konveksiyonlu kurutma yönteminde ölçülmüştür. Taze ürüne en yakın renk, antioksidan kapasitesi, antosiyanin ve C vitamini içeriği 300 ve 500 W mikrodalga kurutma yönteminde belirlenmiş olup CUPRAC yönteminin antioksidan kapasitesinin tespit edilmesinde en uygun yöntem olduğu vurgulanmıştır.

Zia ve Alibas (2021b) başlangıç nemi %72.56 olan kızılcığı 25 °C’de gölge bir ortamda doğal kurutma, 100, 300 ve 500 W’da mikrodalgada ve 50, 70 ve 90 °C’de konvektif kurutma yöntemlerinin yanı sıra kombine mikrodalga-konvektif kurutma yöntemini kullanarak %10.27 nem içeriğine kadar kurutmuştur. En kısa kurutma süresi 500 W-90 °C’de kombine kurutmada iken, en yüksek özgül enerji tüketimi ise 50 °C’de konvektif kurutma yönteminde ölçülmüştür. Toplam fenolik içerik, antioksidan kapasitesi, C vitamini ve antosiyanin içeriği bakımından taze ürüne en yakın değerler 300 W’da mikrodalga kurutma yönteminde elde edilmiştir.



3. MATERYAL ve YÖNTEM

3.1. Materyal

Muşmula

Bursa Hikmet Şahin Kent halinden temin edilen muşmulanın (*Mespilus germanica*), tazeliğini korumak amacıyla $+4 \pm 0.5$ °C sıcaklıkta taşınabilir tip bir buzdolabına konularak laboratuvara getirilmiştir. Denemeler sırasında muşmula, nem içeriğini kaybetmemesi için atmosfer kontrollü bir soğutucuda bekletilmiştir (Vestel, Puzzle NF665X , Türkiye).



Şekil 3.1. Muşmula (*Mespilus germanica*) (Aksu, 2018)

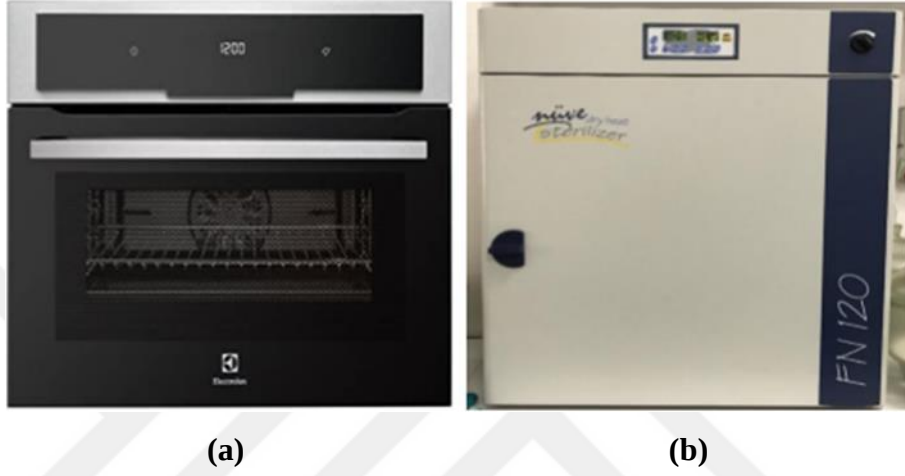
3.2. Kurutma Ekipmanları ve Kullanılan Cihazlar

3.2.1. Mikrodalga Kurutucu

Muşmula meyvesinin konvektif (sıcak hava) ve mikrodalga kurutma işlemleri 230 ± 10 V~, 50 Hz ve 3000 W teknik özelliklerine sahip olan çok fonksiyonlu bir kurutucu (Electrolux, EVY7800AAX, USA) yardımıyla yapılmıştır. Kurutucunun kurutma bölmesinin hacmi 800 x 430 x 210 mm olup kurutma tepsisinin alanı 410 x 320 mm'dir. Programlanabilir dijital mikrodalga kurutucunun kontrol panosundaki dijital zaman göstergesi ile kurutma süresi ölçülmüştür. Kurutucu 100 ile 1000 W mikrodalga güç aralığında 10 farklı mikrodalga çıkış gücünde ve 5 °C hassasiyette 30 °C ile 230 °C aralığındaki tüm sıcaklıklarda çalışabilmektedir. Ayrıca kurutucunun 100-600 W arasındaki tüm çıkış güçleri ile tüm sıcaklık seviyelerinin bir arada kullanılmasına olanak tanıyan kombine kurutma özelliği de bulunmaktadır. Kullanılan kombine kurutucu Şekil 3. 2.(a) 'da gösterilmiştir.

3.2.2. Etüv

Muşmula meyvesinin başlangıç nem oranlarını belirlemek için numuneler 105 °C’de 24 saat süreyle etüvde (Nüve, FN 120, Türkiye) bekletilmiştir. Kurutma öncesi ve sonrası ağırlık ölçümlerinden yola çıkılarak numunelerin ilk ve son nem oranları tespit edilmiştir (Alibaş, 2012b). Tüm kurutma denemeleri kombine bir kurutucu kullanılarak gerçekleştirilmiştir. Çalışmada kullanılan etüv Şekil 3.2.(b)’de gösterilmiştir.



Şekil 3.2. (a) Kombi kurutucu (b) Etüv

3.2.3. Hassas Teraziler

Kurutma sırasında zamana bağlı nem içeriğinin belirlenmesi amacıyla kurutulan örneklerin kütleleri 0.01 g hassasiyetli, otomatik kalibrasyonlu analitik bir terazi (Radwag, PS 4500 R2, Polonya) aracılığıyla periyodik olarak ölçülmüştür. Ayrıca, kurutma örneklerinin ilk nem oranının belirlenmesi için 0.0001 g hassasiyetli manuel kalibrasyonlu bir hassas terazi (Metler-Todelo, ME-203, İsviçre) kullanılmıştır. Çalışmada kullanılan terazi çeşitleri Şekil 3. 3 (a, b)’de gösterilmiştir.



Şekil 3.3. (a, b) Hassas teraziler

3.2.4. Santifrüj Cihazı ve Mikropipetler

Meyve ekstratlarının, ekstraksiyon solüsyonundan ayrılması için 50 ml tüp kapasiteli soğutmalı santifrüj cihazı (Nüve, NF 800R, Türkiye) ve 15 ml tüp kapasiteli (Nüve NF 200, Türkiye) kullanılmıştır. Küçük hacimli solüsyonları ölçmek amacıyla (2 µl-10 ml) arasında değişen mikropipetlerden (ISOLAB labourgeräte, GmbH) faydalanılmıştır. Ayrıca kimyasal reaktiflerin karıştırılması için elektronik bir vorteks (Velp Scientifica, İtalya) kullanılmıştır. Şekil 3.4.(a)'da soğutmalı santrifüjler, (b)'de mikropipetler ve (c)'de ise vorteks gösterilmiştir.



(a)



(b)



(c)

Şekil 3.4. (a) Santrifüj cihazı (b) Mikropipetler (c) Vorteks

3.2.5. Su Banyosu ve pH-metre

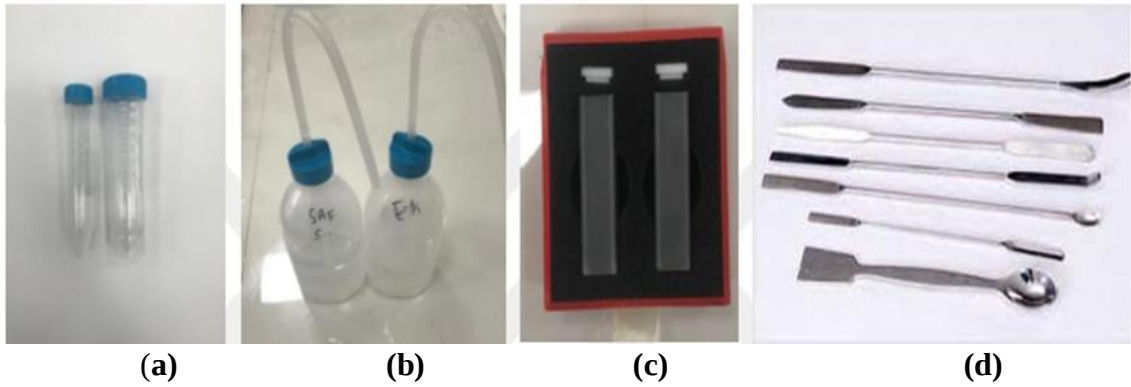
Belirli sıcaklık değerlerinde homojen bir kimyasal çözelti hazırlamak için çalkalamalı su banyosu (Nuve ST 30) kullanılmıştır. Tampon çözeltilerin pH'ını ayarlamak için pH-metre (Mettler Toledo, Türkiye) kullanılmıştır. Şekil 3.5'te aletler gösterilmiştir.



Şekil 3.5. (a) Çalkalamalı su banyosu (b) pH-metre

3.2.6. Test Tüpleri, Küvetler, Spatula ve Pisetler

Kimyasal analizlerinin yapılması için 15 ve 50 ml (ISOLAB, Türkiye) olmak üzere iki farklı hacimde santrifüj tüplerinden faydalanılmıştır. İstenilen miktarda kimyasalın tartımı esnasında bir dizi spatula (ISOLAB, Türkiye) kullanılmıştır. Spektrofotometrik analizlerde kuvars küvetler ve analizler sırasında santrifüj tüpleri ve küvetlerin dezenfekte edilmesi için 500 ml'lik pisetler kullanılmıştır. Şekil 3.6'da test tüpleri, pisetler, kuvars küvetler ve spatüller gösterilmiştir.



Şekil 3.6. (a) Santrifüj tüpleri (b) Pisetler (c) Kuvars küvetler (d) Spatüller

3.2.7. Cam Aparatlar ve Havan

Deneyler sırasında farklı hacim ve boyutlarda beher, volumetrik şişeler, erlenler ve ölçüm silindirleri gibi farklı cam malzemeler kullanılmıştır. Kurutulmuş muşmulayı ince kuru toz haline getirmek için porselen havan ve havanelinden yararlanılmıştır. Şekil 3.7'de cam malzemeler ve porselen havan gösterilmiştir.



(a)



(b)

Şekil 3.7. (a) Cam malzemeler (b) Porselen havan

3.2.8. Renk Ölçüm Cihazı

Taze ve kurutulmuş örneklerin renk parametrelerinin (L^* , a^* , b^* , C , α°) belirlenmesi amacıyla otomatik kalibrasyonlu, noktasal ölçüm yapan bir renk ölçer (Konica-Minolta, CR10, Japonya) kullanılmıştır. Çalışmada kullanılan cihaz Şekil 3.8’de gösterilmiştir.



Şekil 3.8. Renk ölçer

3.2.9. Kjeldahl Yöntemine Göre Protein Tayininde Kullanılan Cihazlar

Kjeldahl yöntemine göre protein tayininin belirlenmesi esnasında kullanılan blok yakma sistemi (Buchi, K-437, İsviçre) Şekil 3.9’da gösterilmiştir.



Şekil 3.9. Blok yakma sistemi

Besin elementlerinin saptanmasında kullanılan buharlı damıtma cihazı (Buchi, K-350, İsviçre) Şekil 3.10’da verilmiştir.



Şekil 3.10. Destilasyon cihazı

3.2.10. Makro ve Mikro Besin Elementi Tayininde Kullanılan Cihazlar

Nitrik-perklorik asit karışımı ve örnek kademeli olarak yaklaşık 200 °C’de reaksiyona girmesi için bir hot plate kullanılmıştır (Stuart SB500, Almanya). Şekil 3.11’de gösterilmiştir.



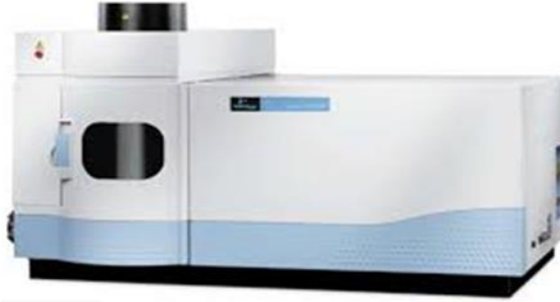
Şekil 3.11. Hot plate

Reaksiyon sırasında ortaya çıkan gaz formundaki zararlı kimyasalların atmosfere ulaşması amacıyla bir çeker ocak kullanılmıştır (Hedlab Xpro, Türkiye). Çeker ocak Şekil 3.12’de gösterilmiştir.



Şekil 3.12. Çeker ocak

Yakma işleminin hemen arkasından taze ve kurutulmuş örneklerin demir (*Fe*), bakır (*Cu*), çinko (*Zn*), magnezyum (*Mg*) ve manganez (*Mn*) analizlerinin yapılmasında bir ICP-OES (Perkin Elmer, OPTİMA 2100DV ICP OES, Amerika) cihazı kullanılmıştır. Cihaz Şekil 3.13’te gösterilmiştir.



Şekil 3.13. ICP cihazı

Taze ve kurutulmuş örneklerin sodyum (*Na*), potasyum (*K*) ve kalsiyum (*Ca*) içeriklerinin tespit edilmesi amacıyla bir flame fotometreden (Eppendorf Elex 6361, Almanya) yararlanılmıştır. Cihaz Şekil 3.14’te gösterilmiştir.



Şekil 3.14. Flame fotometre

Taze ve kurutulmuş örneklerin fosfor (P) içeriğinin yanısıra toplam fenolik madde ve antioksidan kapasitesi tayini için dalga aralığı 190-1100 nm olan bir UV-Vis spektrofotometre (Spectrum SP-UV-300SRB, Almanya) kullanılmıştır. Cihaz Şekil 3.15’te gösterilmiştir.



Şekil 3.15. UV-Vis spektrofotometre

3.2.11. Elektrik Sayacı

Çalışmada kullanılan kurutucuların harcadığı toplam elektrik enerjisi miktarının saptanması için Şekil 3.16’da gösterilen monofaze bir elektrik sayacı (Makel, M600 2251, Türkiye) kullanılmıştır.



Şekil 3.16. Monofaze elektrik sayacı

3.2.12. Toplam Fenolik İçeriği Analizi İçin Kullanılan Kimyasallar

Kurutulmuş muşmulanın fenolik tahminlerinin analizi için gallik asit (Fluka, St.Louis, MO, USA), Folin-Ciocalteu reaktifi (FCR) ve Lawry-C çözeltisi kullanılmıştır.

3.2.13. Toplam Antioksidan Kapasitesi Analizi İçin Kullanılan Kimyasallar

Toplam antioksidan kapasite analizi için Troloks ((±)-6-hidroksi-2,5,7,8-tetrametilkroman-2-karboksilik asit), neokuproin (2,9-dimetil-1,10-fenantrolin), amonyum asetat ($\text{CH}_3\text{COONH}_4$), bakır klorür (CuCl_2), DPPH (2,2-difenil-1-pikrilhidrazil) radikali, metanol (CH_3OH), ABTS (2,2'-azinobis (3-etilbenzotiazolin-6-sülfonik asit) diamonyum tuzu, etanol ($\text{C}_2\text{H}_5\text{OH}$) ve potasyum persülfat ($\text{K}_2\text{S}_2\text{O}_8$) kullanılmıştır.

3.2.14. Derin Dondurucu

Besin elementi analizleri yapılmaya kadar kurutulmuş örnekler derin dondurucuda (Vestel, Puzzle NF665X , Türkiye) $-24\text{ }^\circ\text{C}$ sıcaklıkta bekletilmiştir.

3.3. Yöntem

3.3.1. Kurutma Yöntemi

Kurutulacak olan muşmula örnekleri her bir deneme için 75 ± 0.6 g olarak tartılmıştır. Gölgede kurutma yönteminde muşmula örnekleri $25 \pm 1\text{ }^\circ\text{C}$ sıcaklıkta ve $\%60 \pm 5$ bağıl nem şartlarında güneş görmeyen bir ortamda kurutulmuştur. Gölgede kurutma işlemi süresince zamana bağlı nem içeriğinin hesaplanmasında kullanılmak üzere her altı saatte bir ağırlık ölçümü alınmıştır.

Konvektif kurutma işlemi 40 , 50 ve $60\text{ }^\circ\text{C}$ sıcaklık değerlerinde ve 1 m s^{-1} kurutma hızında gerçekleştirilirken, mikrodalga kurutma denemeleri ise 200 , 400 ve 600 W mikrodalga güç seviyelerinde yürütülmüştür. Kombine kurutma denemeleri ise 40 , 50 ve $60\text{ }^\circ\text{C}$ sıcaklık seviyeleri ile 200 , 400 ve 600 W mikrodalga güç seviyelerinin kombinasyonu kullanılarak $200\text{ W-}40\text{ }^\circ\text{C}$, $200\text{ W-}50\text{ }^\circ\text{C}$, $200\text{ W-}60\text{ }^\circ\text{C}$, $400\text{ W-}40\text{ }^\circ\text{C}$, $400\text{ W-}50\text{ }^\circ\text{C}$, $400\text{ W-}60\text{ }^\circ\text{C}$, $600\text{ W-}40\text{ }^\circ\text{C}$, $600\text{ W-}50\text{ }^\circ\text{C}$, $600\text{ W-}60\text{ }^\circ\text{C}$ olmak üzere dokuz farklı kombinasyon seviyesinde gerçekleştirilmiştir. Zamana bağlı nem içeriğinin hesaplanabilmesi için konvektif kurutma yöntemde her 30 dakikada bir ölçüm alınırken,

mikrodalga ve kombine mikrodalga-konvektif kurutma yönteminde bir dakikalık aralıklarla ölçüm alınmıştır.

Kurutma öncesinde materyalin neminin tespit edilmesi amacıyla 105 °C sıcaklıkta 24 saat boyunca etüvde nem tayini gerçekleştirilmiş ve materyalin etüve konulmadan önceki ve sonraki ağırlıkları yardımıyla yaş ve kuru baza göre nem içeriği sırasıyla aşağıdaki eşitlikler (Eş. 3.1 ve Eş. 3.2) ile hesaplanmıştır.

$$M_{y0} = \frac{(W_0 - W_k)}{W_0} \times 100 = \frac{W_s}{W_0} \times 100 \quad (3.1)$$

$$M_{k0} = \frac{(W_0 - W_k)}{W_k} = \frac{W_s}{W_k} \quad (3.2)$$

Burada: M_{y0} , materyalin yaş baza göre ilk nem içeriği (%); M_{k0} , materyalin kuru baza göre ilk nem içeriği ($\text{kg}_{\text{su}} \text{kg}_{\text{KM}}^{-1}$); W_0 , numunelerin ilk kütlesi (kg); W_k , numunelerin kuru kütlesi (kg) ; W_s , numunelerdeki su kütlesi (kg).

Kuruma hızı (DR) aşağıdaki eşitlik (Eş. 3.3) yardımıyla hesaplanmıştır;

$$DR = \frac{M_{t+dt} - M_t}{d_t} \quad (3.3)$$

Burada: DR , kuruma hızı ($\text{kg}_{\text{su}} \text{kg}_{\text{KM}}^{-1} \text{dk}^{-1}$); M_{t+dt} , $t+dt$ zamandaki nem içeriği ($\text{kg}_{\text{su}} \text{kg}_{\text{KM}}^{-1}$); M_t , t anındaki nem içeriği ($\text{kg}_{\text{su}} \text{kg}_{\text{KM}}^{-1}$); d_t , kurutma periyodunda nem içeriğinin hesaplandığı süre (dk) (Doymaz ve ark., 2006).

Ayrılabilir nem içeriği (MR) aşağıdaki eşitlik (Eş. 3.4) kullanılarak hesaplanmıştır;

$$MR = \frac{M}{M_0} \quad (3.4)$$

M : herhangi bir zamandaki nem içeriği ($\text{kg}_{\text{su}} \text{kg}_{\text{KM}}^{-1}$); M_0 : ürünün ilk nem içeriği ($\text{kg}_{\text{su}} \text{kg}_{\text{KM}}^{-1}$) (Soysal, 2004).

3.3.2. Toplam Enerji Tüketimi ve Özgül Enerji Tüketimi

Kurutucuların işlem sırasında harcadıkları toplam enerji tüketim (*TET*) miktarı monofaze bir elektrik sayacı aracılığıyla hesaplanmıştır. Cihaz, monofaze sayaca doğrudan bağlanmış ve kurutma esnasında harcanan enerji ilk ve son sayaç okumalarından yararlanılarak belirlenmiştir. Özgül enerji tüketiminin hesaplanmasında aşağıdaki eşitlik (Eş 3.5) kullanılmıştır (Motevali ve ark., 2011).

$$\dot{OET} = \frac{TET}{\left(W_0 \cdot \frac{M_0 - M_f}{100 - M_f} \right)} \quad (3.5)$$

Burada: $\dot{OET}$, özgül enerji tüketimi (kWh kgsu⁻¹); *TET*, toplam enerji tüketimi (kWh), W_0 , materyalin ilk kütlesi (kg); M_0 , materyalin yaş baza göre ilk nem içeriği (%); M_f , materyalin kurutmadan sonraki yaş baza göre nem içeriğidir (%).

3.3.3. Renk Ölçüm Yöntemi

Taze ve kurutulmuş ürünlerin parlaklık-koyuluk “ L^* ”, kırmızılık-yeşillik “ a^* ” ve sarılık-mavilik “ b^* ” değerleri renk ölçer yardımıyla herhangi bir hesaplama tabii tutulmadan direkt olarak ölçülmüştür. Kroma “ C ” ve renk açısı “ α° ” ise daha hassas ölçüm yapılabilmesi için renk ölçer yerine aşağıdaki eşitlikler (Eş. 3.6 ve Eş. 3.7) yardımıyla belirlenmiştir.

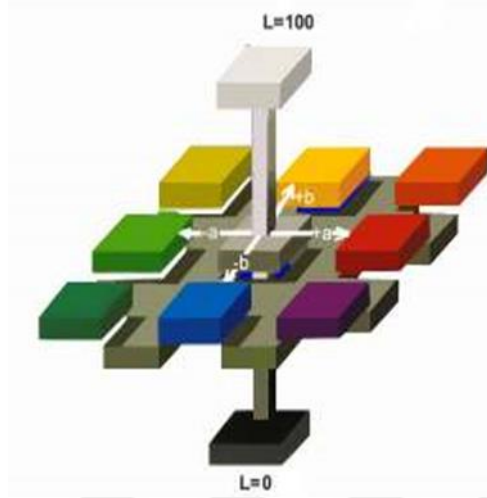
$$C = \sqrt{(a^{*2} + b^{*2})} \quad (3.6)$$

$$\tan^{-1} \alpha^\circ = \frac{b^*}{a^*} \quad (3.7)$$

Renk ölçümleri CIELAB renk ölçüm sistemi ile yapılmaktadır. Bu sistemde renkli ürünlerin ölçümü, “ L^* , a^* , b^* ” renk koordinat sistemine göre okunmaktadır. Renk koordinatları “ a^* ” ve “ b^* ” pozitif değerlerde sırasıyla kırmızılık ve sarılığı, negatif değerlerde yine sırasıyla yeşillik ve maviliği temsil etmektedir.

Numunelerin L^* değeri 0’a yaklaştıkça koyuluk, 100’e yaklaştıkça parlaklığı nitelendirmektedir. Örneğin canlılığı ya da pastelliği ise kroma (C) ile tanımlanmakta olup, 0’a yakın değerlerde C pastel tonları, 100’e yakın değerler de ise canlı tonları

temsil etmektedir. Renk açısı “ α^0 ” ise örneğin temel rengine karşılık gelen açı değerini gösterir.



Şekil 3.17. CIELAB renk skalası (Dadalı, 2007)

Toplam renk değişimi (ΔE) numunenin kurutma işleminden ne oranda etkilendiğini belirlemek için önemli bir faktör olup aşağıdaki eşitlik (Eş.3.8) yardımıyla hesaplanmaktadır (Zia ve Alibas, 2021a).

$$\Delta E = \sqrt{(L_t^* - L_k^*)^2 + (a_t^* - a_k^*)^2 + (b_t^* - b_k^*)^2} \quad (3.8)$$

Burada: t indisiyle gösterilen değerler taze, k indisiyle gösterilen değerler ise kurutulmuş örneklerin ilgili renk parametrelerini vermektedir.

Kurutma işleminin materyale olan etkisini tespit etmek için kahverengileşme indeksinden (KI) ve beyazlaşma indeksinden (BI) yararlanılmaktadır. Kahverengileşme indeksi (KI) sırasıyla aşağıdaki eşitlikler (Eş. 3.9 ve Eş. 3.10) yardımıyla beyazlaşma indeksi (BI) ise (Eş. 3.11) ile hesaplanmaktadır (Zia ve Alibas, 2021a).

$$x = \frac{a^* + (1.75 \times L^*)}{[(5.645 \times L^*) + (a^* - (3.012 \times b^*))]} \quad (3.9)$$

$$KI = \frac{[100 \times (x - 0.31)]}{0.17} \quad (3.10)$$

$$BI = 100 - \sqrt{[(100 - L^*)^2 + (a^*)^2 + (b^*)^2]} \quad (3.11)$$

3.3.4. Besin Elementi Analizleri

Toplam azot analizi Kjeldahl metoduna göre yapılmıştır. İşlem yakma, damıtma ve titrasyon basamaklarını kapsamaktadır. Yakma aşamasında öncelikle örnekler öğütülerek homojenize edilmiştir. Homojenize edilen karışımdan 0.2 g ürün alınarak potasyum sülfat (K_2SO_4), %99'luk sülfürik asit (H_2SO_4), selenyum (Se) ve bakır sülfat ($CuSO_4$) karışımından oluşan bir karışım kapsül ile birlikte yakma tüpüne eklenerek 2 saat boyunca 385 °C sıcaklıkta tepkimeye sokulmuştur.

Yakma basamağında materyalin yapısında bulunan organik madde, kimyasal karışımın içinde bulunan oksijen (O_2) molekülleri ile tepkimeye girerek yanma işlemi gerçekleşmiş ve devamında yanan organik maddeler parçalanmıştır. Yanarak parçalanmış organik madde asidik ortamda $(NH_4)_2SO_4$ biçiminde elde edilmiştir. İkinci aşama olan damıtma basamağında, tepkime sırasında aktif olmayan sülfürik asit (H_2SO_4) ve amonyum sülfattan $(NH_4)_2SO_4$ oluşan bir karışım hazırlanmıştır. Bu karışıma sodyum hidroksit (NaOH) eklenerek su buharı yardımıyla damıtma işlemi gerçekleştirilmiştir.

Destilasyon işleminde uçucu halde bulunan ve su buharı ile beraber harekete geçen amonyak gazı damıtma cihazının yoğunlaştırma bölümüne gelerek borik asit ile etkileşime girmiş ve amonyum borata dönüştürülmüştür. Son aşama olan titrasyon basamağında, amonyum borat çözeltisi yoğunluğu belli olan 0.1 M H_2SO_4 çözeltisi ile titrasyona tabi tutularak nötralize edilmiştir.

Titrasyon işleminin sonunda, harcanan asit hacminden toplam azot (N) miktarı belirlenmiştir. Belirlenen N miktarı proteine dönüştürme katsayısı ile çarpılarak toplam protein içeriği tespit edilmiştir (Bremner, 1965; Horneck ve Hanson, 1998).

Kütlesi 0.5-2.0 g olarak belirlenen taze ve kurutulmuş muşmula örnekleri nitrik asit (HNO_3) ve perklorik asit ($HClO_4$) karışımı (4:1 v/v) kullanılarak yaş yakma işlemi yapılmıştır. Erlenmayer içine alınan çözelti, çeker ocak içindeki hot plate üzerine konularak 150-200 °C sıcaklık değerinde tepkimeye sokulmuştur. Nitrik asidin ortamdan ayrılması için erlenmayer tepkime sırasında hafifçe çalkalanmıştır. Erlenmayer içerisindeki karışımın içinden nitrik asitin uçurulması ile karışım açık sarı renkte elde edilmiştir. Karışımda kalan perklorik asitin ortamdan uzaklaştırılmasıyla

çözelti beyaz bir renk almıştır. Bu işlemden sonra yakma işlemine 30 dakika daha devam edilmiştir.

Yakma işleminin sonunda şeffaf bir çözelti elde edilmiş olup herhangi bir örnek kaybı oluşmaması için çözelti saf su ile 3- 4 kez yıkanmıştır. Çözelti oda sıcaklığına geldikten sonra saf su ile 100 ml'ye tamamlanmıştır. Yaş yakma işleminin devamında ICP cihazı yardımıyla *Fe, Cu, Zn, Mg ve Mn*; UV-VIS spektrofotometre aracılığıyla *P* ve Flame Fotometre aracılığıyla ise *Na, K ve Ca* içerikleri saptanmıştır (Hernández-Urbiola ve ark., 2011; Isaac ve Johnson, 1998).

3.3.5. Biyokimyasal Analizler

Örnek Hazırlama

Taze ve kurutulan muşmula numuneleri porselen bir havan yardımıyla öğütülmüş ve her deneme için ekstrakte aşamasında bu toz örneklerin 0.5 gramı, 15 ml metanol / su / HCl karışımı ile 50 ml'lik falcon tüplerde karıştırılmıştır. Kuru örneklerin rehidre olabilmesi için bu karışım içinde 1 gün boyunca bekletilmesi sağlanmıştır. Taze örneklerde ise bekletilmeye gerek kalmadan işleme devam edilmiştir. İşlemin başında bu karışım 2 saat boyunca 20 °C sıcaklıkta çalkalayıcı su banyosunda bekletilmiştir. Santifrüj cihazında 3500 dev dk⁻¹'da 10 dakika 4 °C'de santrifüjlenmiş, daha sonra süpernatant (sıvı kısmı) 15 ml test tüplerine süzölmüş ve biyokimyasal test için kullanılabilecek kadar -4 °C'de muhafaza edilmiştir (Vitali ve ark., 2009). İkinci aşamada, 50 ml falcon tüpünde kalan residue (çökelti), 20 saat 85 °C sıcaklıkta çalkalayıcı su banyosunda H₂SO₄/ metanol karışımı ile homojenize edilmiştir. Bu aşamada meyve numuneleri H₂SO₄/ metanol karışımı içinde hidrolize edilmiştir. Çözeltinin buharlaşmasını önlemek için tüp kapakları hava geçirmez şekilde kapatılmış ve örneklerin karışmaması adına cam yazar ile falcon tüplerin üzerine örnek kodları yazılmıştır. Su banyosunda 20 saat çalkalamadan sonra, numuneler oda sıcaklığına ulaşması için bekletilmiş ve hacim aynı çözücü karışımı ile tekrar 15 ml'ye getirilmiştir. Numuneler, 3500 dev dk⁻¹'da 10 dakika 4 °C sıcaklıkta santrifüjlendikten sonra süpernatant kısmı ayrılmış ve örnekler kullanılabilecek kadar -4 °C sıcaklıkta tutulmuştur.

Biyoalınabilirlik prosesinde ise gastrointestinal sistemi taklit eden *in vitro* sindirim sistemi metodu kullanılmıştır. Bu işlem laboratuvar ortamında canlı organizma

kullanılmadan, pepsin (mide) enzimi ve bağırsak enzimleri kullanılarak sahte bir mide ve bağırsak ortamı yaratılarak gerçekleştirilmiştir (Kızmaz, 2019). Bu yöntemde her deneme için öğütülmüş örneklerin 0.5 gramı 10 ml saf su ile tamamlanarak 50 ml'lik falcon tüplerde karıştırılmış ve 1 gün boyunca bekletilmiştir. Ardından, 0.5 ml pepsin çözeltisi 50 ml'lik falcon tüplere ilave edilmiş ve pH-metre yardımıyla, pH'sının 2'ye getirilmesi için hazırlanan pH-2 çözeltisi eklenmiştir. Bunu takiben, örnekler 37 °C sıcaklıkta 150 dev dk⁻¹'da 2 saat çalkalayıcı su banyosunda bekletilmiş ve ardından üzerine pH-7.2 çözeltisi ilave edildikten sonra 2.5 ml pankreatin-byle tuzu ve NaCl-KCl çözeltisinden eklenmiş ve 37 °C sıcaklıkta 150 dev dk⁻¹'da 2 saat çalkalayıcı su banyosunda homojenize edilmiştir. Santrifüj cihazında 3500 dev dk⁻¹'da 10 dakika 4 °C'de santrifüjlenmiş, daha sonra süpernatant (sıvı kısmı) 15 ml falcon tüplere aktararak analizler yapılncaya kadar -4 °C'de muhafaza edilmiştir.

3.3.6. Toplam Fenolik İçerik Analizi

Muşmula örneklerinin toplam fenolik içeriğini belirlemek amacıyla Folin-Ciocalteu spektrofotometrik yönteminden faydalanılmıştır. Folin-Ciocalteu yöntemin esası fenolik bileşiklerin bazik ortamda Folin-Ciocalteu ayracını indirgeyerek, oksitlenmiş biçime dönüştüğü bir redoks tepkimesine dayanır. Folin-Ciocalteu ayracı, analizde oksitleyici bileşik olarak yer alır. Tepkime sonunda ayrıca oluşan mavi rengin spektrofotometrede 750 nm dalga boyunda okunması ile toplam fenolik bileşik içeriği hesaplanmaktadır. Sonuçlar mg gallik asit eş değeri (GAE) g⁻¹ olarak ifade edilmiştir (Cemeroğlu, 2013).

İlk önce gallik asit yardımıyla standart eğrisi hazırlanmış, bu eğriler yardımıyla ölçülen absorbans değer aralıkları belirlenmiş ve önceden hazırlanmış ekstrakte, hidrolize ve biyoalınabilir örnekler ile analize başlanmıştır. Standart eğrilerden hesaplanan değerlerden ekstrakte, hidrolize ve biyoalınabilir örnek miktarları sırasıyla 200, 100 ve 100 µl olarak belirlenmiştir. Analiz sırasında, x ml örneğin üzerine, (2-x) ml saf su ve üzerine belirli miktarda Lawry-C çözeltisinden eklenerek 10 dakika boyunca karanlıkta bekletilmiştir. Ardından karışımın üzerine Folin çözeltisi eklenerek 30 dakika karanlıkta bekletilerek spektrofotometrede 750 nm dalga boyunda okuması yapılmıştır.

3.3.7. Toplam Antioksidan Kapasitesi Analizi

Antioksidan kapasitesi analizinde, ekstrakte edilmiş, hidrolize edilmiş, biyoalınabilir örneklerin, Trolox (suda çözünen E vitamini) cinsinden eşdeğeri (TEAC) olarak ifadesi aşağıda belirtilen ABTS, DPPH (serbest radikal süpürme aktivitesi) ve CUPRAC (Bakır (II) İyonu İndirgeme) yöntemleri ile belirlenmiştir.

Antioksidan kapasitesi sonuçları, gram kuru ağırlık başına µmol Trolox eşdeğeri olarak ölçülmüş olup, her bir yöntem için ekstrakte edilebilir (E), hidrolize edilebilir (H) ve biyoalınabilir (B) sonuçları fenollerin biyoalınabilirlik yüzdesi ile hesaplanmıştır.

Fenollerin biyoalınabilirlik yüzdesi (Eş. 3.12) ile hesaplanmıştır (Zia ve Alibas, 2021a).

$$\%B = \frac{B}{E+H} \times 100 \quad (3.12)$$

2,2-Azinobis (3-Etilbenzotiazolin-6-Sülfonik asit) (ABTS) Analizi

Antioksidan kapasitenin belirlenmesi için, 0.0066 gr potasyum persülfat ($K_2S_2O_8$) saf su ile 10 ml'ye tamamlanmış ve 0.0384 gr ABTS saf su ile 10 ml'ye tamamlanan stok çözeltisi ile karıştırılmış ve kullanılmadan önce 12-16 saat karanlık bir ortamda bekletilmiştir. Trolox çözeltisi %96 etanol içinde hazırlanmıştır.

Standart eğri için, ABTS %96 etanol ile 10:1 oranında seyreltilerek farklı konsantrasyonlarda seyreltilmiş ABTS çözeltisiyle (stok çözeltisinden çalışmada kullanmak için) karıştırılmış, 6 dakika karanlıkta bekletildikten sonra spektrofotometrede 734 nm dalga boyunda saf etanole karşı okuma yapılmıştır.

Analizde standart eğriye göre belirlenen miktarda sırasıyla ekstrakte, hidrolize ve biyoalınabilir örneklerden 250, 100 ve 250 µl alınmıştır. Analiz aşamasında, x ml örneğin üzerine, (4-x) ml %96 etanol ve 1 ml seyreltilmiş ABTS eklenerek, karanlıkta 6 dakika bekletilmiş ve spektrofotometrede 734 nm dalga boyunda saf etanole karşı okuma yapılmıştır. Sonuçlar gram kuru ağırlık başına µmol Trolox eşdeğeri antioksidan kapasitesi (TEAC) olarak ölçülmüştür (Apak ve ark., 2008).

2,2-Difenil-1-Pikrilhidrazil (DPPH) Analizi

Analizde 0.0394 g DPPH metanolde çözdürülerek 100 ml'ye tamamlanarak stok çözelti hazırlanmış ve kullanılabildiği kadar karanlıkta -4 °C'de saklanmıştır. Ardından hazırlanan stok DPPH çözeltisinden 6 ml alınıp, çalışmada kullanılmak üzere metanol ile seyreltilip 100 ml'ye tamamlanmıştır. Standart stok çözeltisi için 0.0121 g Trolox, 50 ml metanol (%96 saf, v/v) içinde çözdürülerek karanlıkta bekletilmiştir. Farklı konsantrasyonlarda alınan Trolox'tan uygun örnekler, çalışmada kullanılacak olan DPPH çözeltisinden ilave edilerek 30 dakika karanlıkta bekletilmiştir. 30 dakikanın sonunda, standart eğrinin belirlenmesi için spektrofotometrede saf metanole karşı 515 nm absorbans değerinde okunarak ve gram başına µmol Trolox eş değer antioksidan kapasitesi (TEAC) olarak ifade edilmiştir.

Standart eğrilerden hesaplanan değerlerden ekstrakte, hidrolize ve biyoalınabilir örnek miktarları sırasıyla 10, 25 ve 50 µl olarak belirlenmiştir. Analiz sırasında, x µl örneğin üzerine, (100-x) µl metanol ve çalışmada kullanılacak olan 3900 µl DPPH çözeltisinden ilave edilmiş ve 30 dakika karanlıkta bekletilmiştir. 30 dakikanın sonunda saf metanole karşı 515 nm absorbans değerinde okunmuştur. İnhibisyon oranı aşağıdaki (Eş 3.13) yardımıyla hesaplanmıştır (Sahan ve ark., 2017).

$$\% \text{İnhibisyon oranı} = (A_{\text{Skontrol}} - A_{\text{Sörnek}}) / A_{\text{Skontrol}} \times 100 \quad (3.13)$$

Burada; A_{Skontrol} : saf metanolün absorbansı, $A_{\text{Sörnek}}$: örneğin absorbansı

Bakır (II) İyonu İndirgeme Esası (CUPRAC) Analizi

Standart eğrinin hazırlanması için trolox 0.0121 g tartılıp %96'lık etanolle çözdürülerek 50 ml'ye tamamlanmıştır. Bakır klorür çözeltisi, 0.4262 g (CuCl_2) suda çözdürülerek saf su ile 100 ml'ye tamamlanmıştır. Neokuproin çözeltisi, 0.156 g neokuproin etanolde (%96) çözdürülerek 100 ml'ye tamamlanmış, amonyum asetat çözeltisi, 7.708 g ($\text{CH}_3\text{COONH}_4$) suda çözdürülerek saf su ile 100 ml'ye tamamlanmıştır. Standart eğrinin belirlenmesi için 0, 10, 25, 50, 75, 100, 150, 200 ve 300 µl farklı konsantrasyonlarda trolox çözeltilerinin üzerine, 1 ml CuCl_2 , (1-x) ml saf su, 1 ml neokuproin, 1 ml $\text{CH}_3\text{COONH}_4$ eklenmiştir. Karışım 30 dakika boyunca karanlıkta

bekletilmiş, ardından spektrofotometrede 450 nm dalga boyunda saf suya karşı okuması yapılmıştır.

Standart eğrilerden hesaplanan değerlerden ekstrakte, hidrolize ve biyoalınabilir örneklerin konsantrasyonları sırasıyla 25, 50 ve 50 µl olarak tespit edilmiştir. Analiz sırasında x ml örnek, 1 ml CuCl₂, (1-x) ml saf su, 1 ml neokuproin, 1 ml CH₃COONH₄ eklenmiştir. Karışım 30 dakika boyunca karanlıkta bekletilmiş, ardından spektrofotometrede 450 nm dalga boyunda saf suya karşı okuması yapılmıştır. Sonuçlar, gram kuru ağırlık başına µmol Trolox eşdeğeri antioksidan kapasitesi (TEAC) olarak ifade edilmiştir (Sahan ve ark., 2017).

3.3.8. Veri Analizi

Çalışma tesadüfi deneme parselleri metoduna göre kurulmuş olup renk okumaları 20, diğer tüm analizler ve kurutma denemeleri 3 tekerrürlü olarak yapılmıştır. Tekerrürlerin ortalamaları ve standart hata değerleri JMP 7.0 istatistik programı kullanılarak hesaplanmıştır. Ayrıca gruplararası harflendirmeler aynı program kullanılarak LSD yöntemi aracılığıyla belirlenmiştir.

Çalışmada deneysel, yarı deneysel ve teorik 22 farklı ince tabaka kurutma eşitliği kullanılmış olup bu eşitlikler Çizelge 3.1’de sunulmuştur. Bu eşitlikler aracılığıyla, NLREG 6.2 istatistik programı kullanılarak zamana bağlı deneysel ayrılabilir nem oranı verilerinden, tahmin verileri elde edilmiştir.

Regresyon katsayısı (R^2) ve tahmini standart hata (SH) verileri ile eşitliklere ilişkin kuruma sabit ve katsayıları program aracılığıyla belirlenmiştir. Karesel ortalama hata (KOH) aşağıdaki eşitlik (Eş.3.14) kullanılarak hesaplanmıştır.

$$KOH = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^N (MR_{tahmini,i} - MR_{deneysel,i})^2}{N}} \quad (3.14)$$

Burada; $MR_{deneysel,i}$, deneysel ayrılabilir nem içeriği ; $MR_{tahmini,i}$, modelin tahmin ettiği ayrılabilir nem içeriği ve N , gözlem sayısıdır.

Tahminin ki kare (χ^2) değeri aşağıdaki eşitlik (Eş. 3.15) ile hesaplanmıştır (Zia ve Alibas, 2021a).

$$\chi^2 = \frac{\sum_{i=1}^N (MR_{deneysel,i} - MR_{tahmini,i})^2}{N - n_i} \quad (3.15)$$

Burada: n_i , ince tabaka kurutma eşitliğinde yer alan sabit ve katsayıların toplamıdır.

Regresyon katsayısı (R^2) deneysel verilere en yakın tahmin modelinin seçilmesinde ana kriter olarak rol oynamaktadır. Bu katsayının sayısal değerinin mümkün olduğunca “1.00”e yakın olması gerekir. Buna karşı tahminin standart hatası (SH) ise en iyi modelin seçiminde ikinci kriter olmakla birlikte standart hata değerinin “0.00”a yakın olması istenmektedir. Benzer R^2 ve SH değerlerinin olması durumunda sırasıyla KOH ve χ^2 parametrelerine bakılmaktadır. Her iki parametrenin de mümkün olduğunca “0.00”a yakın olması gerekmektedir.

Çizelge 3.1. Muşmulanın kurutulmasında kullanılan modeller

No	Model Adı	Model eşitliği	Referanslar
1	Lewis	$MR = \exp(-kt)$	Lewis, 1921
2	Page	$MR = \exp(-kt^n)$	Page, 1949
3	Geliştirilmiş Page Eşitliği-1	$MR = a \exp[-(kt^n)]$	Dinrifo, 2012
4	Geliştirilmiş Page	$MR = \exp[-(kt^n)]$	Overhults ve ark., 1973
5	Henderson ve Pabis	$MR = a \exp(-kt)$	Henderson ve Pabis, 1961
6	Logaritmik	$MR = a \exp(-kt) + c$	Kingsly ve ark., 2007
7	İki terimli	$MR = a \exp(-kt) + b \exp(-mt)$	Henderson, 1974
8	İki terimli exponansiyel	$MR = a \exp(-kt) + (1-a) \exp(-kat)$	Sharaf-Elden ve ark., 1980
9	Wang ve Singh	$MR = 1 + at + bt^2$	Wang ve Singh, 1978
10	Thomson	$t = a \ln(MR) + b [\ln(MR)]^2$	Thomson ve ark., 1968
11	Difüzyon yaklaşımı	$MR = a \exp(-kt) + (1-a) \exp(-kbt)$	Kassem, 1998
12	Verma ve ark.	$MR = a \exp(-kt) + (1-a) \exp(-gt)$	Verma ve ark., 1985
13	Geliştirilmiş Henderson ve Pabis	$MR = a \exp(-kt) + b \exp(-gt) + c \exp(-ht)$	Karathanos, 1999
14	Simplified Fick's diffusion (SFFD) eşitliği	$MR = a \exp[-c(t/L_k^2)]$	Diamente ve Munro, 1991
15	Geliştirilmiş Page eşitliği-II	$MR = \exp[-k(t/L_k^2)^n]$	Diamente ve Munro, 1993
16	Midilli ve ark.	$MR = a \exp(-kt^n) + bt$	Midilli ve ark., 2002
17	Weibull dağılımı	$MR = a - b \exp[-(kt^n)]$	Babalıs ve ark., 2006
18	Aghbashlo ve ark.	$MR = \exp(-at/1 + bt)$	Aghbashlo ve ark., 2009
19	Logistic	$MR = a/(1 + a \exp(kt))$	Chandra ve Singh, 1995
20	Jena Das	$MR = a \exp(-kt + b\sqrt{t}) + c$	Jena ve Das, 2007
21	Demir ve ark.	$MR = a \exp(-kt)^n + c$	Demir ve ark., 2007
22	Alibas Modeli	$MR = a \exp((-kt^n) + (bt)) + g$	Alibas, 2012a

MR , nem oranı; a, a_0, b, c, g, m, h kurutma katsayıları; t , kurutma süresi, (dk); n , kurutma sabiti; k , özel kurutma sabiti (dk^{-1}); L_k , materyal kalınlığı (mm).

4. BULGULAR VE TARTIŞMA

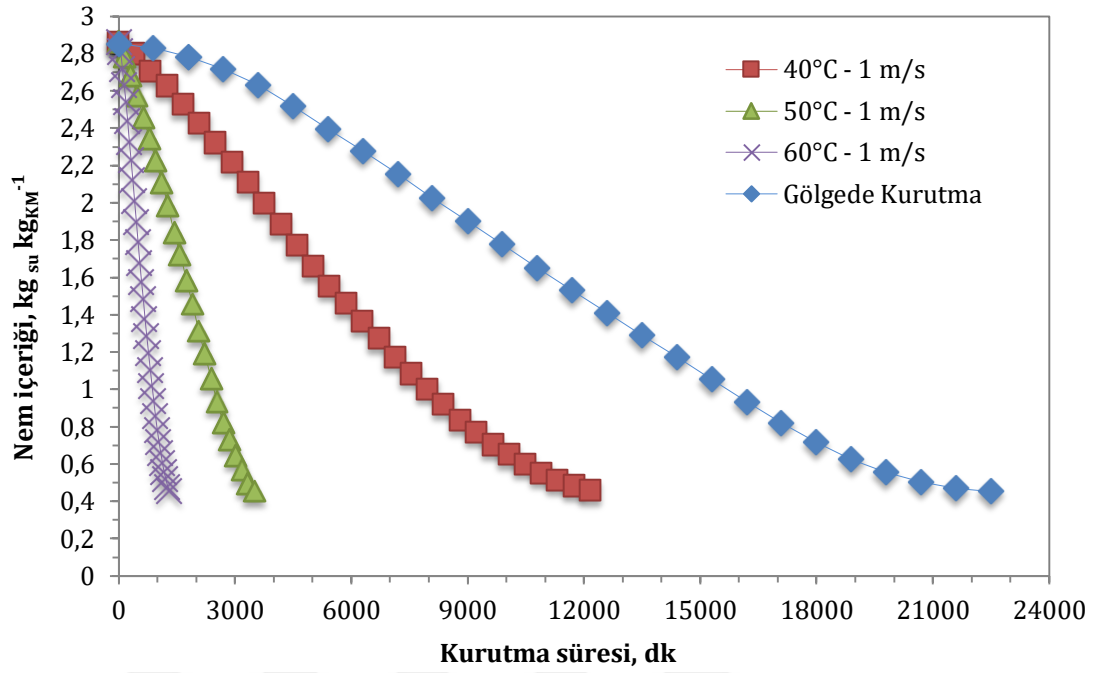
4.1. Kurutma Kinetiği ve Matematiksel Modelleme

Muşmulanın kurutma süresine bağlı kuru baza göre nem içeriği Şekil 4.1, 4.2, 4.3 ve 4.4'te gösterilmiştir. İlgili şekillere göre, ilk nem içeriği $2.86 \pm 0.01 \text{ kg}_{\text{su}} \text{ kg}_{\text{KM}}^{-1}$ ($\%74.07 \pm 0.04 \text{ y.b.}$) olan muşmula örnekleri son nem içeriği $0.45 \pm 0.01 \text{ kg}_{\text{su}} \text{ kg}_{\text{KM}}^{-1}$ ($\%11.75 \pm 0.07 \text{ y.b.}$) oluncaya dek 25°C 'de gölgede, 40 , 50 ve 60°C 'de konvektif, 200 , 400 ve 600 W 'da mikrodalga ve $200 \text{ W-}40^\circ\text{C}$, $200 \text{ W-}50^\circ\text{C}$, $200 \text{ W-}60^\circ\text{C}$, $400 \text{ W-}40^\circ\text{C}$, $400 \text{ W-}50^\circ\text{C}$, $400 \text{ W-}60^\circ\text{C}$, $600 \text{ W-}40^\circ\text{C}$, $600 \text{ W-}50^\circ\text{C}$, $600 \text{ W-}60^\circ\text{C}$ 'de kombine mikrodalga-konvektif kurutma yöntemleri ile kurutulmuştur. Gölgede kurutma 22500 dakika ile en uzun kurutma yöntemidir. Konvektif kurutma işlemleri uygulanan sıcaklığa bağlı olarak 12180 ile 1305 dakika arasında tamamlanırken, mikrodalga kurutma ise uygulanan mikrodalga çıkış gücüne bağlı olarak 100.5 ile 31 dakika arasında sürmüştür. Bununla birlikte kombine mikrodalga-konvektif kurutma işlemleri ise hem uygulanan kurutma sıcaklığı hem de mikrodalga çıkış gücüne bağlı olarak 93 ile 17 dakika arasında tamamlanmıştır. En kısa kurutma yöntemi olan $600\text{W-}60^\circ\text{C}$ 'de kombine mikrodalga-konvektif kurutma yöntemi, gölgede kurutma yöntemine göre 1323.53 kat daha kısa sürmüştür. Bunun yanında, $600 \text{ W-}60^\circ\text{C}$ 'de kurutma, en yüksek mikrodalga çıkış gücü olan 600 W ve en yüksek kuruma sıcaklığı olan 60°C 'den sırasıyla 1.82 ve 76.77 kat daha kısa sürede tamamlanmıştır. Yüksek sıcaklık ve mikrodalga güç seviyelerinde kombine mikrodalga-konvektif kurutma yönteminin kullanılmasıyla kurutma süresi önemli ölçüde azalmıştır (Çelen ve ark., 2017; Horuz ve ark., 2017). Çizelge 4.13'te kurutma süresinin konveksiyonel kurutmaya ve mikrodalga kurutmaya etkisi verilmiştir. Çizelgeye göre, konveksiyonel kurutmada uygulanan sıcaklığın kurutma süresini istatistiksel olarak etkilemediği, buna karşın mikrodalga kurutmada uygulanan farklı çıkış güçlerinin kurutma süresi üzerinde etkili olduğu saptanmıştır.

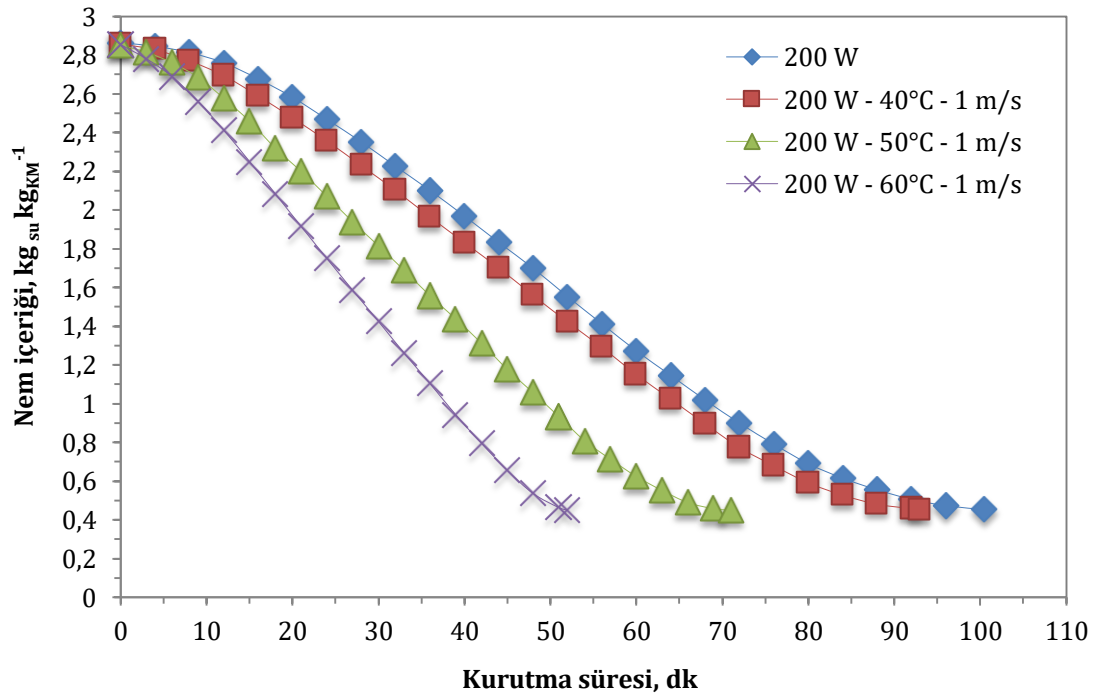
Koyuncu ve ark. (2007) konveksiyonlu kurutma yöntemi ile 60°C sıcaklık değerinde kurutulan muşmulanın kurutma süresinin çalışmamızdaki bulgulardan 6.51 kat daha uzun sürdüğünü belirlemiştir. Chiau ve ark. (2013) çalışmasında muşmulayı konvektif bir kurutucu kullanarak 60°C sıcaklıkta 338 dakikada kurutmuştur. Söz konusu kuruma süresi bulgularımızdan 3.86 kat daha kısa sürmüştür. Polatçı ve Taşova (2018)

yenidünyayı 360 W’da mikrodalga kurutma yöntemi ile 28 dakikada ve 540 W ile 15.5 dakikada kurutmuştur. Horuz ve ark. (2017) vişneyi 50 ve 60 °C’de konveksiyonlu, 180 W’da mikrodalga ve 180 W-50 °C ile 180 W-60 °C’de kombine kurutma yöntemleri kurutmuş olup en kısa kurutma süresini kombine kurutma yönteminde kaydetmiştir. Elde edilen bu sonuç çalışmamızla paralellik göstermiştir. Alibas ve ark. (2020) elma kabuklarını mikrodalga kurutma yöntemiyle 400 W’da 33 dakikada ve 600 W’da 27 dakikada kurutmuştur. Taşova ve ark. (2019) 540 W’da kurutulan kuşburnuyu 50 °C’dekilerden yaklaşık 70.71 kat daha kısa sürede kurutulduğunu kaydetmiştir. Zarein ve ark. (2015) elmayı mikrodalga kurutma yöntemi kullanılarak 200, 400 ve 600 W çıkış güçlerinde kurutmuş ve 600 W çıkış gücünün uygulanması ile kurutma süresinin 200 W’a kıyasla 5.88 kat azaldığını saptamıştır. Kowalski ve ark. (2016) çileği 50 °C’de konvektif, 100 W’da mikrodalga ve 100W-50 °C’de kombine kurutma yöntemleri ile kurutmuş ve kombine kurutmanın konvektif kurutmaya kıyasla %93 oranında daha kısa sürdüğünü tespit etmiştir.

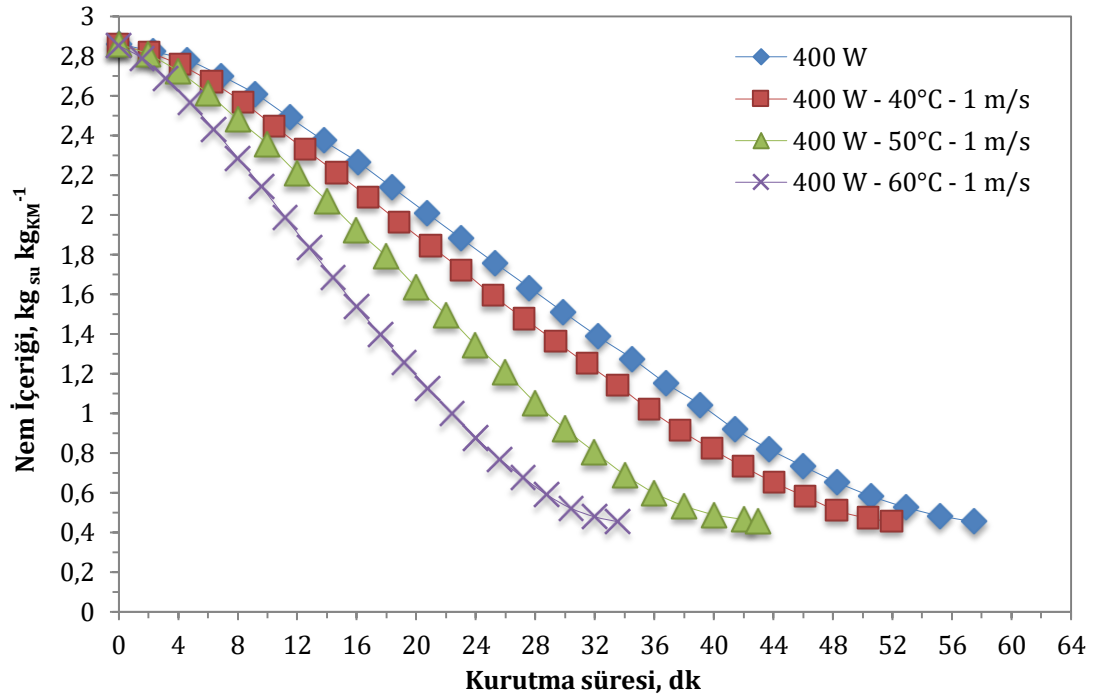
Farklı kurutma yöntemleri kullanılarak kurutulmuş muşmulanın nem içeriğine bağlı kuruma hızları Şekil 4.5, 4.6, 4.7 ve 4.8’de gösterilmiştir. Ayrıca, tüm kurutma yöntemlerinin ortalama kuruma hızı ise Çizelge 4.13’te verilmiştir. Ortalama kuruma hızları gölgede kurutma için $0.00009 \text{ kg}_{\text{su}} \text{ kg}_{\text{KM}}^{-1} \text{ dk}^{-1}$ iken, 40, 50 ve 60 °C’de konvektif kurutma için sırasıyla 0.0002, 0.00061 ve 0.00182 $\text{kg}_{\text{su}} \text{ kg}_{\text{KM}}^{-1} \text{ dk}^{-1}$ olarak tespit edilmiştir. Öte yandan, ortalama kurutma hızları 200, 400 ve 600 W’da mikrodalga kurutma için sırasıyla 0.021, 0.0369 ve 0.0769 $\text{kg}_{\text{su}} \text{ kg}_{\text{KM}}^{-1} \text{ dk}^{-1}$ olup, kombine kurutmada ise uygulanan sıcaklık ve mikrodalga çıkış gücüne bağlı olarak 0.0236 ile 0.131 $\text{kg}_{\text{su}} \text{ kg}_{\text{KM}}^{-1} \text{ dk}^{-1}$ arasında değişim göstermiştir. En düşük ortalama kuruma hızı $0.00009 \text{ kg}_{\text{su}} \text{ kg}_{\text{KM}}^{-1} \text{ dk}^{-1}$ ile gölgede kurutmada, buna karşın en yüksek ortalama kuruma hızı ise $0.131 \text{ kg}_{\text{su}} \text{ kg}_{\text{KM}}^{-1} \text{ dk}^{-1}$ ile 600 W-60 °C’de mikrodalga-konvektif kurutmada kaydedilmiştir. Hem mikrodalga çıkış gücünün ve hem de sıcaklık değerlerinin artması ile kuruma hızının da arttığı görülmüştür (Bicer ve Kar, 2013; Güleç ve Özdemir, 2017).



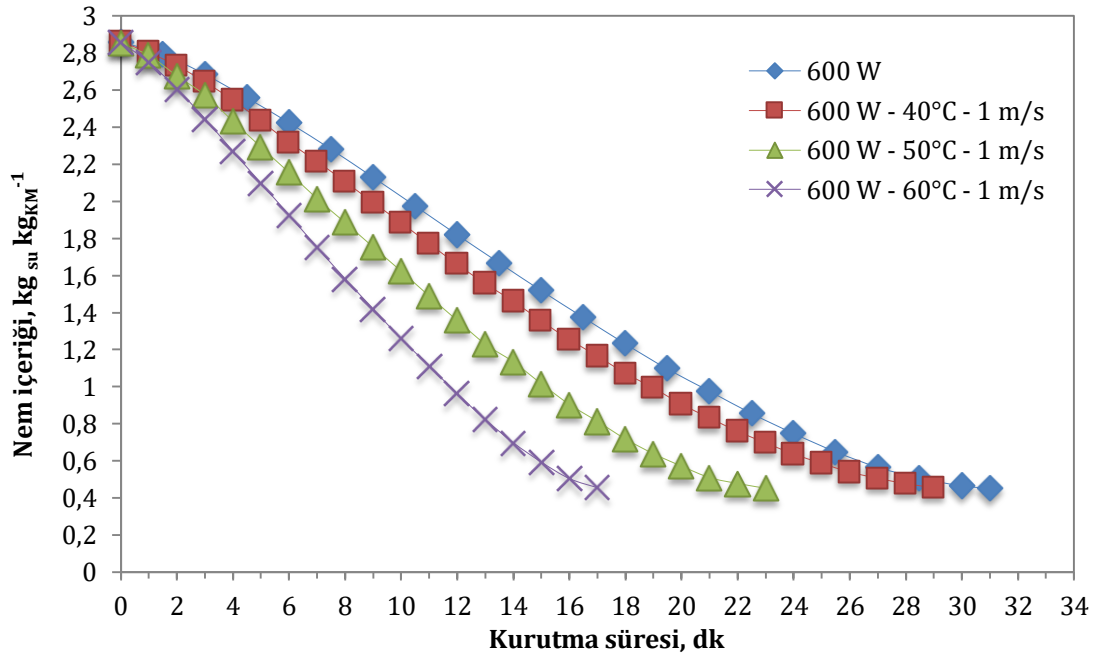
Şekil 4.1. Konveksiyonlu ve gölgede kurutma yöntemleri kullanılarak kurutulmuş muşmula meyvesinin zamana bağlı nem içeriği



Şekil 4.2. 200 W mikrodalga kurutma ve 40, 50 ve 60 °C'de konveksiyonlu kurutma yöntemlerinin kombinasyonları kullanılarak kurutulmuş muşmulanın zamana bağlı nem içeriği



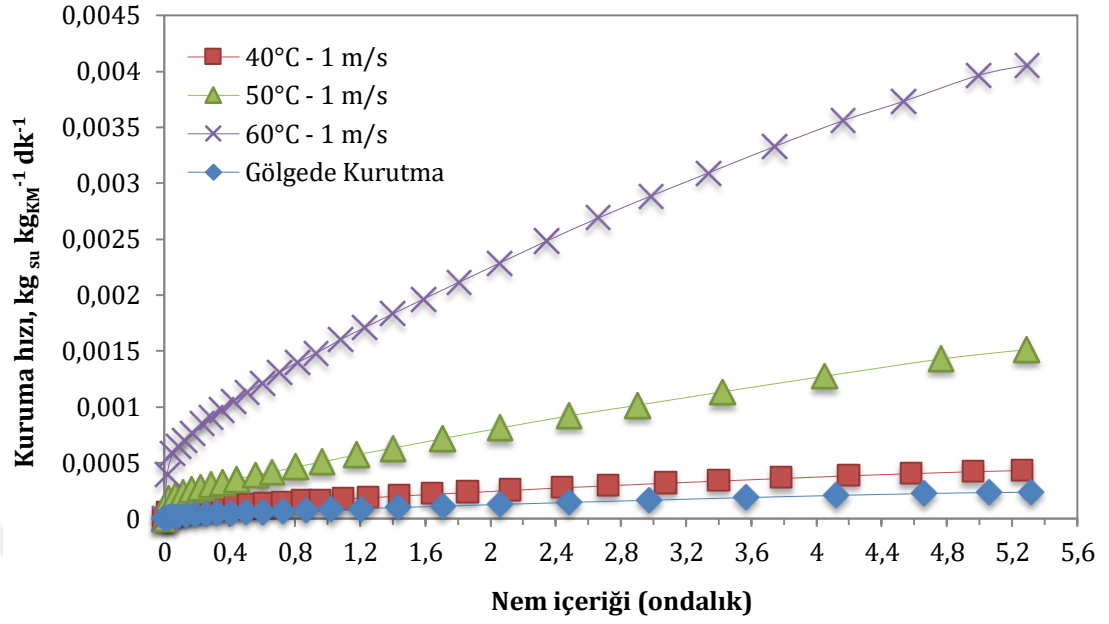
Şekil 4.3. 400 W mikrodalga kurutma ve 40, 50 ve 60 °C'de konveksiyonlu kurutma yöntemlerinin kombinasyonları kullanılarak kurutulmuş muşmulanın zamana bağlı nem içeriği



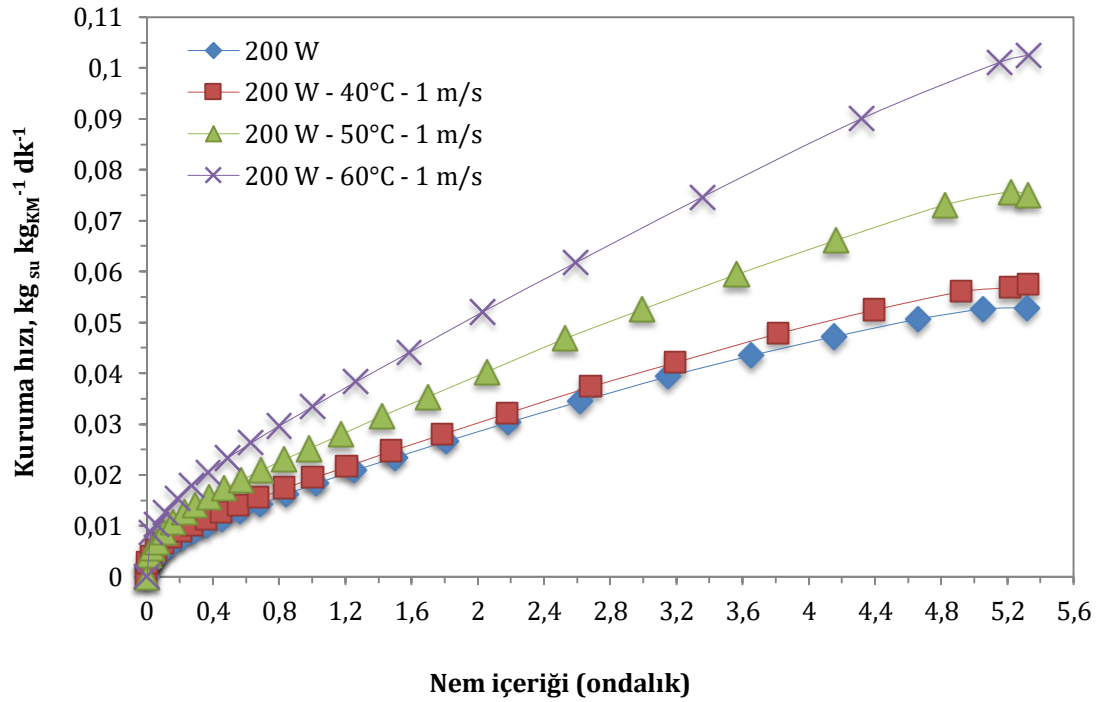
Şekil 4.4. 600 W mikrodalga kurutma ve 40, 50 ve 60 °C'de konveksiyonlu kurutma yöntemlerinin kombinasyonları kullanılarak kurutulmuş muşmulanın zamana bağlı nem içeriği

En kısa kurutma süresiyle 600 W-60 °C'deki kuruma hızı, en uzun kuruma süresinin tespit edildiği gölgede kurutma yöntemindeki kuruma hızından 1455.5 kat daha yüksektir. Üstelik, 600 W-60 °C'deki kuruma hızı kuruma süresi bakımından kendisinden sonraki en kısa kurutma yöntemi olan 600 W-50 °C'deki kuruma hızından da 1.25 kat daha fazladır. Yüksek mikrodalga güç seviyelerinin ve yüksek sıcaklık değerlerini birleştiren kombine mikrodalga-konvektif kurutma yönteminde kuruma süresini büyük ölçüde kısaltırken, kuruma hızını da artırmıştır. Kurutmanın ilk aşaması olan sabit hızda kuruma evresinde, materyal içerisindeki nem içeriği yüksek olduğundan dolayı nem kaybı daha hızlı olmuş, yani kuruma hızı artmıştır. Sonraki aşama olan azalan hızda kuruma evresinde ise nemin büyük bir kısmı buharlaştığından ötürü, materyaldeki nem kaybı az olmuş ve bundan dolayı kuruma hızları azalmıştır (Günaydın, 2020). Çizelge 4.13'e göre, konveksiyonel kurutmanın ortalama kuruma hızına önemli bir etkisi olmamıştır. Buna karşın, mikrodalga kurutmanın ortalama kuruma hızı üzerinde anlamlı bir etkisi bulunmaktadır.

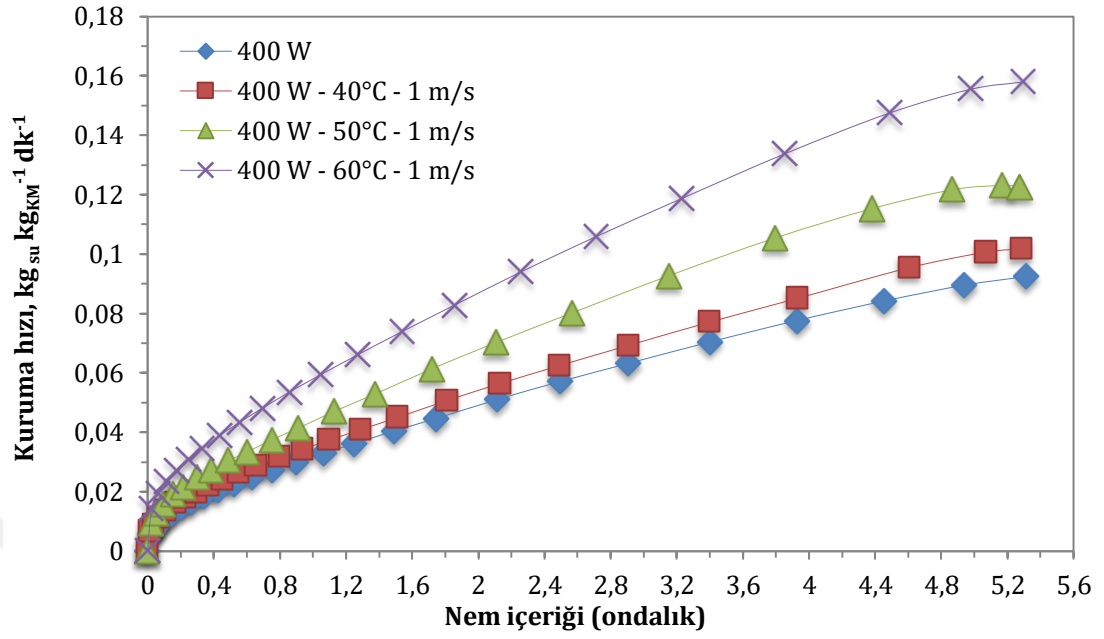
Raice ve ark. (2015) muşmulanın kuruma hızının kurutmanın ilk aşamasında yüksek olduğunu, materyalde oluşan nem kaybının belirli bir süreden sonra azaldığından dolayı kuruma hızının da azaldığını belirtmiştir. Güleç ve Özdemir (2017) mikrodalga kurutma tekniği ile kuruttukları karayemişin kuruma hızının, kurumanın başlangıcında artış gösterdiğini, ancak yaklaşık 30 dakikalık bir süreçten sonra kuruma hızının minimum değere düştüğünü bildirmiştir. Fang ve ark. (2009) hünnapdaki nem içeriğindeki azalma ile birlikte kuruma hızlarının azaldığını ve kurutmanın tamamında azalan hızla kuruma evresi gözlenirken, sabit hızda kuruma evresinin görülmediğini gözlemlemiştir.



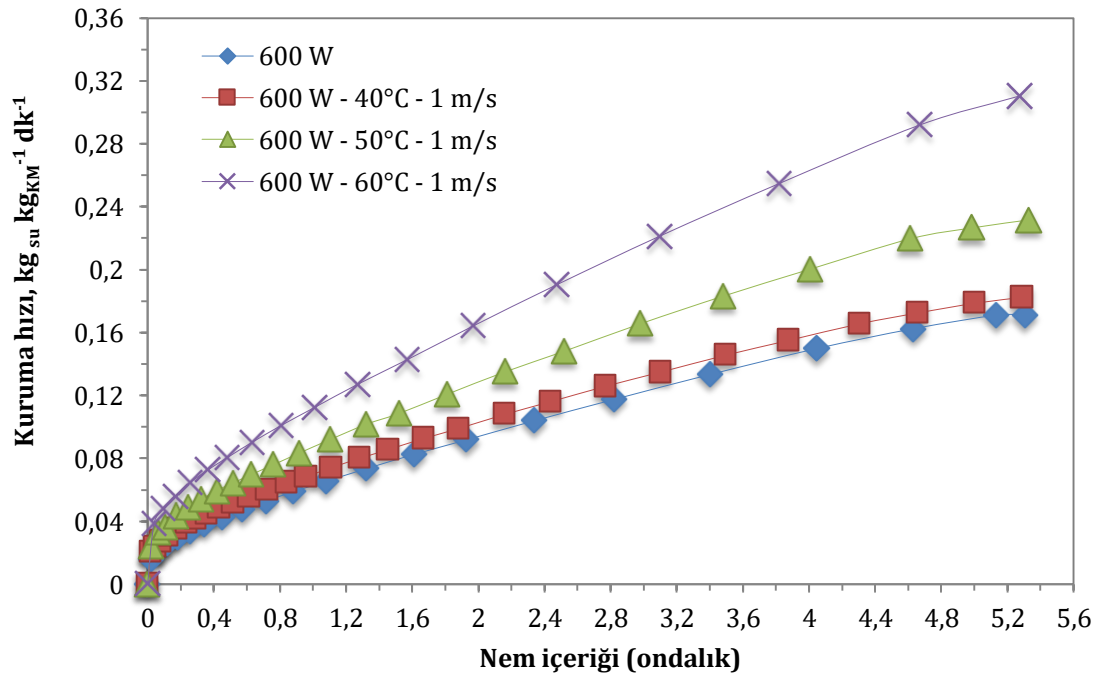
Şekil 4.5. Konveksiyonlu ve gölgede kurutma yöntemleri kullanılarak kurutulmuş muşmulanın nem içeriğine bağlı kuruma hızları



Şekil 4.6. 200 W mikrodalga kurutma ve 40, 50 ve 60 °C'de konveksiyonlu kurutma yöntemlerinin kombinasyonları kullanılarak kurutulmuş muşmulanın nem içeriğine bağlı kuruma hızları



Şekil 4.7. 400 W mikrodalga kurutma ve 40, 50 ve 60 °C'de konveksiyonlu kurutma yöntemlerinin kombinasyonları kullanılarak kurutulmuş muşmulanın nem içeriğine bağlı kuruma hızları



Şekil 4.8. 600 W mikrodalga kurutma ve 40, 50 ve 60 °C'de konveksiyonlu kurutma yöntemlerinin kombinasyonları kullanılarak kurutulmuş muşmulanın nem içeriğine bağlı kuruma hızları

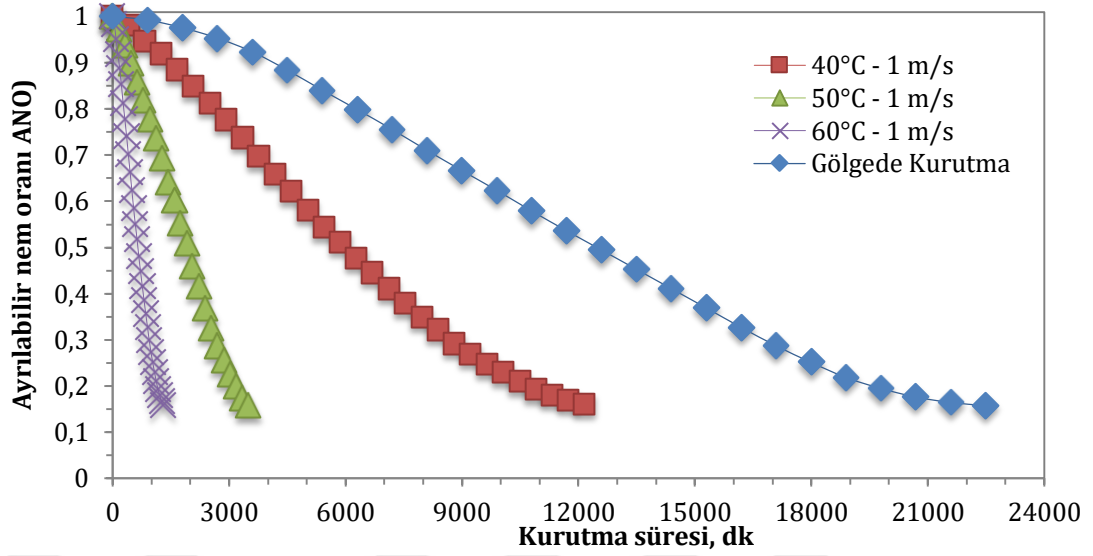
Farklı yöntemler kullanılarak kurutulmuş muşmularının zamana bağlı deneysel ayrılabilir nem içerikleri, en iyi sonuçları veren tahmin modeli aracılığıyla hesaplanan tahmini ayrılabilir nem içerikleri ile birlikte sırasıyla Şekil 4.9, 4.10, 4.11 ve 4.12’de verilmiştir. Şekil 4.9’a göre, 40, 50 ve 60 °C ile gölgede kurutma süresinin yarısına denk gelen zaman diliminde, ayrılabilir nemin yaklaşık %50’sinin üründen buharlaşarak uzaklaştırıldığı görülmüştür. Şekil 4.10’a göre, 200 W, 200 W-40 °C, 200 W-50 °C ve 200 W-60 °C’deki kurutma sürelerinin yarısında, ayrılabilir nemin sırasıyla %59, %48, %55 ve %55’inin üründen uzaklaştırıldığı belirlenmiştir. Ayrıca, 400 W, 400 W-40 °C, 400 W-50 °C ve 400 W-60 °C’deki kurutma periyodunun ilk on dakikasında ayrılabilir nemin sırasıyla %85, %85, %82 ve %75’inin üründen buharlaştırıldığı (Şekil 4.11), buna karşın 600 W, 600 W-40 °C, 600 W-50 °C ve 600 W-60 °C’deki toplam kurutma sürelerinin ilk on dakikasında ayrılabilir nemin sırasıyla %69, %65, %56 ve %44’ünün üründen uzaklaştırıldığı tespit edilmiştir (Şekil 4.12).

Güleç ve Özdemir (2017) karayemişin 200 ve 600 W’da kurutulmasında, sırasıyla 140 ve 22’nci dakikada ayrılabilir neminin %90’ının üründen buharlaşarak ayrıldığını belirlemiştir. Alibas ve ark. (2020) elma kabuklarını mikrodalga kurutma yöntemiyle kurutmuş, 400 W’ta kurutmanın 10’uncu dakikasında ayrılabilir nemin %68.11’inin uçurulduğunu tespit etmiştir. Bu değer çalışmamızla paralellik göstermektedir. Rahman ve ark. (2007) elmayı 55 °C’de konvektif kurutma yöntemiyle kurutmuş ve kurutma periyodunun neredeyse yarısında ayrılabilir nemin %45’inin buharlaştırıldığını gözlemlemiştir. Maskan (2000) muzı mikrodalga kurutma yöntemiyle 350 ve 490 W’da kurutmuş ve kurutmanın 10’uncu dakikasında ayrılabilir nemin sırayla %30 ve %10’unun üründen uzaklaştığını bildirmiştir. Babalis ve Belessiotis (2004) inciri 55 ve 65 °C’de konvektif kurutma yöntemiyle kurutmuş ve kurutma periyodunun 10’uncu dakikasında ayrılabilir nemin sırasıyla %60 ve %50’sinin uçurulduğunu tespit etmiştir. Demirhan ve Özbek (2011) kereviz yaprağını 360 W’da mikrodalga kurutma yöntemiyle kurutmuş ve kurutmanın ilk on dakikasında ayrılabilir nemin %60’ının üründen uzaklaştırdığını vurgulamıştır.

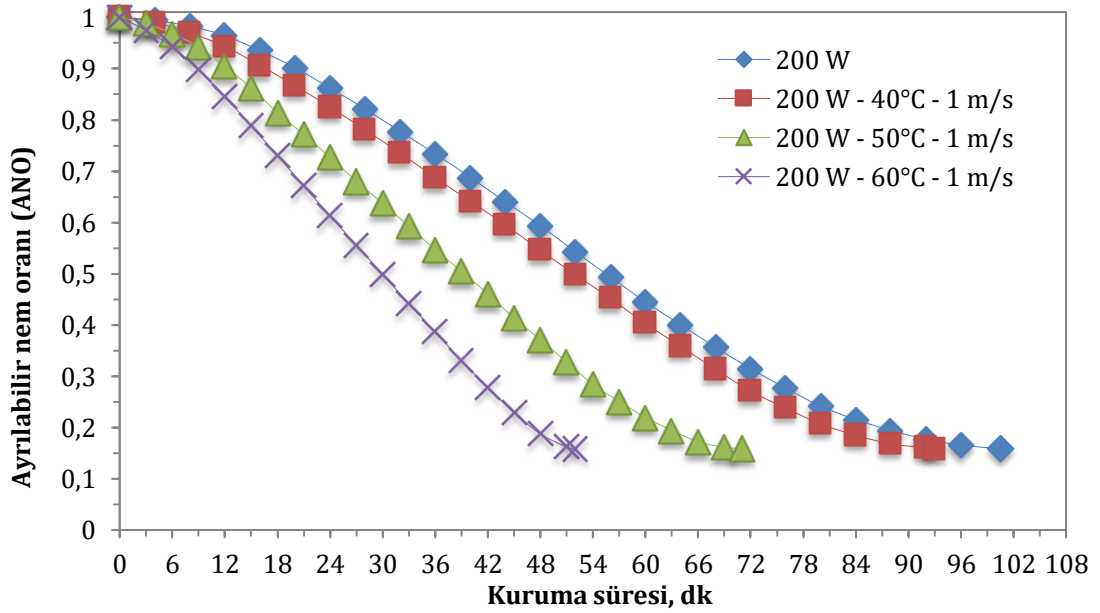
Deneysel veriler ile çalışmada kullanılan 22 farklı ince tabaka kurutma eşitliğinden elde edilen tahmin verilerine ilişkin istatistiksel parametreler (R^2 , SH , KOH ve χ^2) gölgede kurutma, 40, 50 ve 60 °C için Çizelge 4.1’de, 200 W ve kombinasyonları için Çizelge

4.2’de, 400 W ve kombinasyonları için Çizelge 4.3’te ve 600 W ve kombinasyonları için Çizelge 4.4’te verilmiştir. Gölgede kurutma için 0.9994 regresyon katsayısı ile Page eşitliği en iyi model olarak belirlenirken, 40 ve 60 °C’de kurutma için sırayla, 0.9997 ve 0.9998 regresyon katsayıları ile Weibull eşitliği en iyi tahmin eşitliği olarak seçilmiştir. Bununla birlikte, 50 °C, 200 W, 400 W, 200 W-40 °C, 200 W-50 °C, 200 W-60 °C, 400 W-50 °C ve 600 W-40 °C’de kurutma için sırasıyla 0.9999, 0.9997, 0.9997, 0.9997, 0.9995, 0.9998, 0.9998 ve 0.9999 regresyon katsayıları ile Alibaş eşitliği en iyi modeldir. Ayrıca, 600 W, 400 W-40 °C, 400 W-60 °C ve 600 W-50 °C’de kurutma için sırayla 0.9999, 0.9998, 0.9999 ve 0.9998 regresyon katsayıları ile Jena Das eşitliği en iyi tahmin modelleri olarak seçilmiş olup, 600 W-60 °C’de kurutma için 0.9998 regresyon katsayısı ile Logistic eşitliği en iyi model tayin edilmiştir.

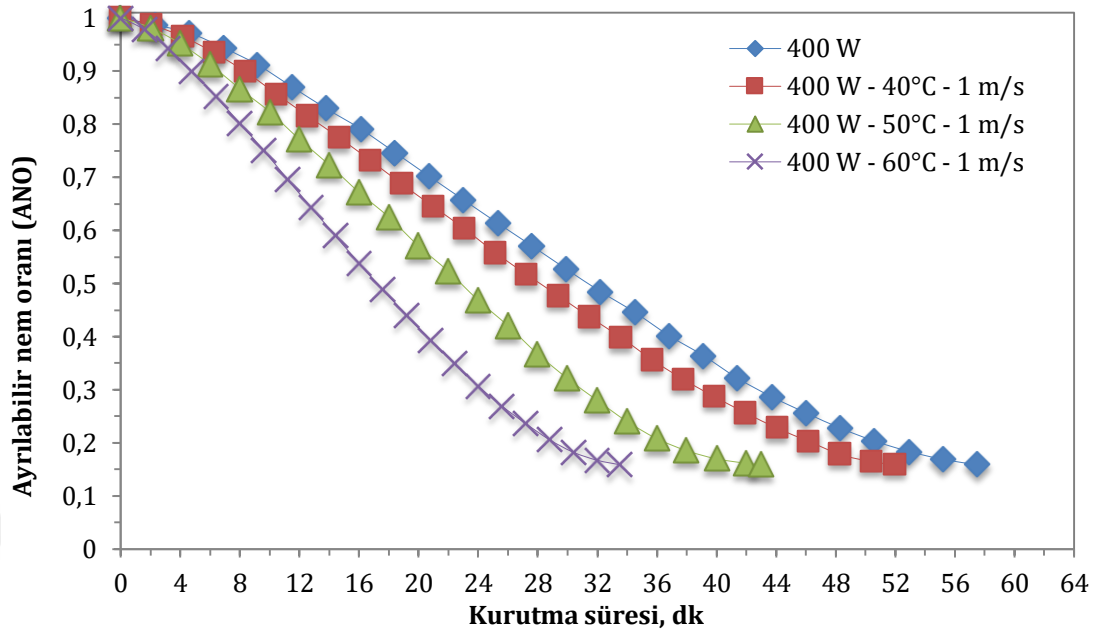
Suna (2019) 60 °C için Geliştirilmiş Page ve 180 W için Page eşitliklerini en yüksek regresyon katsayıları ile en iyi model olarak vurgulamıştır. Alibas ve ark. (2020) tarafından yürütülen bir çalışmada, elma kabuklarının 400 W’da mikrodalga kurutma yöntemiyle kurutulmasında elde edilen deneysel verilere en yakın modelin Alibaş eşitliği olduğunu tespit etmiştir. López ve ark. (2010) yaban mersinini 50-90°C’de konvektif kurutma yöntemi ile kurutmuş ve deneysel verilere en yakın modelin Weibull eşitliği olduğunu belirtmiştir. Zuo ve ark. (2015) yürüttükleri bir çalışmada, alıç meyvesini 50-70°C’de konvektif kurutma yöntemi ile kurutmuş ve deneysel verilere en yakın modelin Weibull eşitliği olduğunu ifade etmiştir. Zhang ve ark. (2012) hünnapı 45, 55 ve 65°C’de konvektif kurutma yöntemiyle kurutmuş ve Weibull modelinin deneysel değerlere en yakın sonuçları veren eşitlik olduğuna değinmiştir. Alibaş ve Köksal (2017) böğürtlendi 50 °C ve 500 W’da kurutmuş ve elde edilen deneysel verilere en yakın modelin sırasıyla Alibaş ve Jena Das eşitliği olduğunu vurgulamıştır.



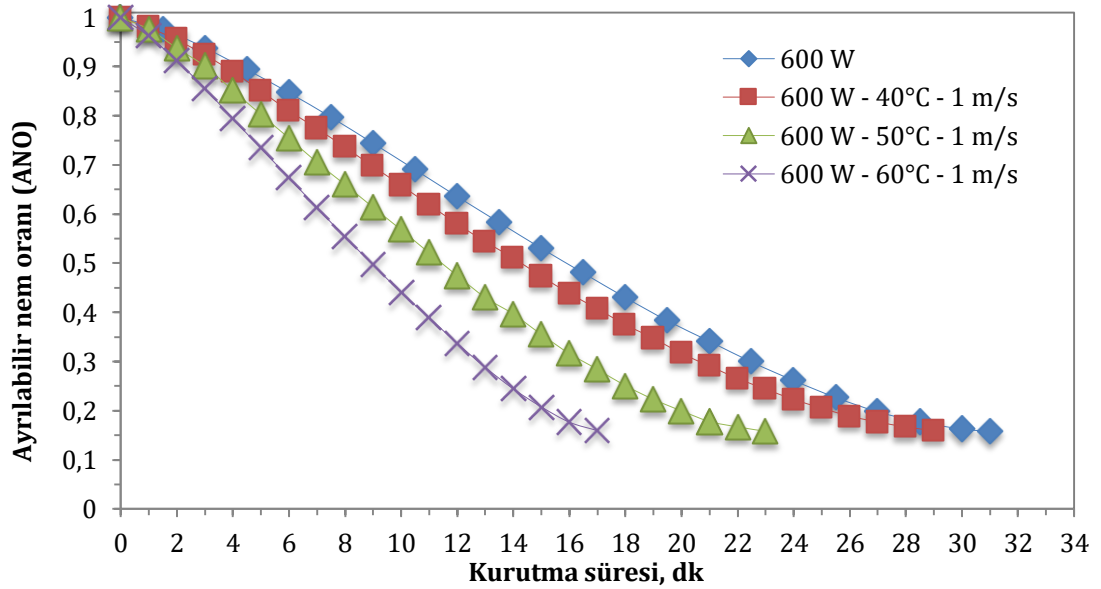
Şekil 4.9. Konveksiyonlu ve gölgede kurutma yöntemleri kullanılarak kurutulmuş muşmulanın deneyel ve deneysel sonuçlara en yakın sonuçları veren model aracılığıyla hesaplanan tahmini ayrılabilir nem içeriği: gölgede için Page eşitliği, 40 ve 60 °C için Weibull eşitliği, 50 °C için Alibaş eşitliği ve en iyi model olarak seçilmiştir.



Şekil 4.10. 200 W mikrodalga kurutma ve 40, 50 ve 60 °C’de konveksiyonlu kurutma yöntemlerinin kombinasyonları kullanılarak kurutulmuş muşmulanın deneyel ve deneysel sonuçlara en yakın sonuçları veren model aracılığıyla hesaplanan tahmini ayrılabilir nem içeriği: 200 W, 200 W-40 °C, 200 W-50 °C ve 200 W-60 °C için Alibaş eşitliği en iyi model olarak seçilmiştir.



Şekil 4.11. 400 W mikrodalga kurutma ve 40, 50 ve 60 °C'de konveksiyonlu kurutma yöntemlerinin kombinasyonları kullanılarak kurutulmuş muşmulanın deneysel ve deneysel sonuçlara en yakın sonuçları veren model aracılığıyla hesaplanan tahmini ayrılabilir nem içeriği: 400 W, 400 W-50 °C için Alibaş eşitliği, 400 W-40 °C ve 400 W-60 °C için Jena Das eşitliği en iyi model olarak seçilmiştir.



Şekil 4.12. 600 W mikrodalga kurutma ve 40, 50 ve 60 °C'de konveksiyonlu kurutma yöntemlerinin kombinasyonları kullanılarak kurutulmuş muşmulanın deneysel ve deneysel sonuçlara en yakın sonuçları veren model aracılığıyla hesaplanan tahmini ayrılabilir nem içeriği: 600 W ve 600 W-50 °C için Jena Das eşitliği, 600 W-40 °C için Alibaş eşitliği ve 600 W-60 °C için Logistic eşitliği en iyi model olarak seçilmiştir.

Çizelge 4.1. Gölgede kurutma ve 40, 50 ve 60 °C’de konveksiyonlu kurutma yöntemleriyle kurutulan muşmulanın modellenmesinde kullanılan ince tabaka kurutma eşitliklerinin istatistiksel parametreleri

Gölgede Kurutma					40 °C			
Model	R^2	SH	KOH	χ^2	R^2	SH	KOH	χ^2
1	0.9147	0.0860	$7.9642 \cdot 10^{-2}$	$6.5966 \cdot 10^{-3}$	0.9613	0.0547	$4.8196 \cdot 10^{-2}$	$2.4030 \cdot 10^{-3}$
2	0.9994	0.0077	$1.2744 \cdot 10^{-3}$	$1.7596 \cdot 10^{-6}$	0.9997	0.0053	$4.1254 \cdot 10^{-3}$	$1.8235 \cdot 10^{-5}$
3	0.9522	0.0672	$2.9823 \cdot 10^{-2}$	$1.0054 \cdot 10^{-3}$	0.9791	0.0417	$2.1500 \cdot 10^{-2}$	$5.1361 \cdot 10^{-4}$
4	0.9147	0.0878	$7.9617 \cdot 10^{-2}$	$6.8671 \cdot 10^{-3}$	0.9613	0.0557	$4.8193 \cdot 10^{-2}$	$2.4884 \cdot 10^{-3}$
5	0.9522	0.0657	$2.9820 \cdot 10^{-2}$	$9.6336 \cdot 10^{-4}$	0.9791	0.0409	$2.1490 \cdot 10^{-2}$	$4.9482 \cdot 10^{-4}$
6	0.9925	0.0267	$5.4523 \cdot 10^{-9}$	$3.3605 \cdot 10^{-17}$	0.9961	0.0180	$5.0982 \cdot 10^{-9}$	$2.8880 \cdot 10^{-17}$
7	0.9645	0.0591	$2.5820 \cdot 10^{-2}$	$7.8790 \cdot 10^{-4}$	0.9844	0.0367	$1.8179 \cdot 10^{-2}$	$3.8133 \cdot 10^{-4}$
8	0.9950	0.0212	$1.9261 \cdot 10^{-2}$	$4.0192 \cdot 10^{-4}$	0.9991	0.0084	$8.1405 \cdot 10^{-3}$	$7.1002 \cdot 10^{-5}$
9	0.9868	0.0345	$4.0006 \cdot 10^{-2}$	$1.7338 \cdot 10^{-3}$	0.9941	0.0217	$2.8074 \cdot 10^{-2}$	$8.4446 \cdot 10^{-4}$
10	0.9712	1192.29	$2.3024 \cdot 10^3$	$5.7428 \cdot 10^6$	0.9910	356.417	$6.0999 \cdot 10^2$	$3.9866 \cdot 10^5$
11	0.9645	0.0566	$2.5891 \cdot 10^{-2}$	$7.5779 \cdot 10^{-4}$	0.9613	0.0567	$4.8196 \cdot 10^{-2}$	$2.5809 \cdot 10^{-3}$
12	0.9645	0.0578	$2.5821 \cdot 10^{-2}$	$7.5366 \cdot 10^{-4}$	0.9844	0.0360	$1.8177 \cdot 10^{-2}$	$3.6713 \cdot 10^{-4}$
13	0.8987	0.1022	$1.5674 \cdot 10^{-1}$	$3.1939 \cdot 10^{-2}$	0.9113	0.0892	$1.3969 \cdot 10^{-1}$	$2.4390 \cdot 10^{-2}$
14	0.9522	0.0672	$2.9821 \cdot 10^{-2}$	$1.0053 \cdot 10^{-3}$	0.9791	0.0417	$2.1491 \cdot 10^{-2}$	$5.1317 \cdot 10^{-4}$
15	0.9994	0.0078	$1.2779 \cdot 10^{-3}$	$1.8459 \cdot 10^{-6}$	0.9997	0.0054	$4.1255 \cdot 10^{-3}$	$1.8911 \cdot 10^{-5}$
16	0.9919	0.0078	$4.5724 \cdot 10^{-16}$	$2.4708 \cdot 10^{-31}$	0.9997	0.0047	$1.5009 \cdot 10^{-5}$	$2.5992 \cdot 10^{-10}$
17	0.9994	0.0080	$9.7757 \cdot 10^{-12}$	$1.1294 \cdot 10^{-22}$	0.9997	0.0047	$8.4029 \cdot 10^{-11}$	$8.1472 \cdot 10^{-21}$
18	0.9915	0.0278	$4.1671 \cdot 10^{-2}$	$1.8812 \cdot 10^{-3}$	0.9965	0.0168	$2.2366 \cdot 10^{-2}$	$5.3597 \cdot 10^{-4}$
19	0.9991	0.0090	$1.3354 \cdot 10^{-3}$	$2.0160 \cdot 10^{-6}$	0.9996	0.0055	$1.6378 \cdot 10^{-3}$	$2.9804 \cdot 10^{-6}$
20	0.9972	0.0166	$3.9543 \cdot 10^{-10}$	$1.8480 \cdot 10^{-19}$	0.9985	0.0115	$6.0470 \cdot 10^{-9}$	$4.2192 \cdot 10^{-17}$
21	0.9925	0.0273	$8.2887 \cdot 10^{-7}$	$8.1193 \cdot 10^{-13}$	0.9961	0.0184	$2.0744 \cdot 10^{-6}$	$4.9653 \cdot 10^{-12}$
22	0.9986	0.0273	$1.7940 \cdot 10^{-9}$	$3.9849 \cdot 10^{-18}$	0.9993	0.0077	$1.4526 \cdot 10^{-8}$	$2.5319 \cdot 10^{-16}$
50 °C					60 °C			
Model	R^2	SH	KOH	χ^2	R^2	SH	KOH	χ^2
1	0.9403	0.0684	$5.1082 \cdot 10^{-2}$	$2.7280 \cdot 10^{-3}$	0.9593	0.0561	$5.0653 \cdot 10^{-2}$	$2.6542 \cdot 10^{-3}$
2	0.9980	0.0127	$1.5016 \cdot 10^{-2}$	$2.4695 \cdot 10^{-4}$	0.9997	0.0046	$4.1677 \cdot 10^{-3}$	$1.8610 \cdot 10^{-5}$
3	0.9622	0.0571	$2.3023 \cdot 10^{-2}$	$6.0955 \cdot 10^{-4}$	0.9782	0.0425	$2.1816 \cdot 10^{-2}$	$5.2883 \cdot 10^{-4}$
4	0.9403	0.0701	$4.6387 \cdot 10^{-2}$	$2.3566 \cdot 10^{-3}$	0.9593	0.0571	$4.9762 \cdot 10^{-2}$	$2.6531 \cdot 10^{-3}$
5	0.9622	0.0557	$2.2865 \cdot 10^{-2}$	$5.7262 \cdot 10^{-4}$	0.9782	0.0417	$2.1813 \cdot 10^{-2}$	$5.0979 \cdot 10^{-4}$
6	0.9965	0.0174	$8.5511 \cdot 10^{-10}$	$8.4089 \cdot 10^{-19}$	0.9965	0.0170	$1.2377 \cdot 10^{-8}$	$1.7020 \cdot 10^{-16}$
7	0.9706	0.0517	$1.9736 \cdot 10^{-2}$	$4.7149 \cdot 10^{-4}$	0.9838	0.0373	$1.8501 \cdot 10^{-2}$	$3.9496 \cdot 10^{-4}$
8	0.9943	0.0216	$1.8034 \cdot 10^{-2}$	$3.5620 \cdot 10^{-4}$	0.9990	0.0088	$8.4375 \cdot 10^{-3}$	$7.6277 \cdot 10^{-5}$
9	0.9950	0.0202	$1.8600 \cdot 10^{-2}$	$3.7891 \cdot 10^{-4}$	0.9943	0.0214	$2.8487 \cdot 10^{-2}$	$8.6947 \cdot 10^{-4}$
10	0.9874	123.689	$1.8589 \cdot 10^2$	$3.7848 \cdot 10^4$	0.9912	37.9015	$6.7549 \cdot 10^1$	$4.8889 \cdot 10^3$
11	0.9957	0.0192	$1.6305 \cdot 10^{-2}$	$3.0572 \cdot 10^{-4}$	0.9956	0.0189	$1.8434 \cdot 10^{-2}$	$3.7758 \cdot 10^{-4}$
12	0.9706	0.0504	$1.9739 \cdot 10^{-2}$	$4.4807 \cdot 10^{-4}$	0.9838	0.0366	$1.8501 \cdot 10^{-2}$	$3.8031 \cdot 10^{-4}$
13	0.9667	0.5650	$1.3407 \cdot 10^{-2}$	$2.4317 \cdot 10^{-4}$	0.9009	0.0943	$1.4377 \cdot 10^{-1}$	$2.5837 \cdot 10^{-2}$
14	0.9622	0.0571	$2.2866 \cdot 10^{-2}$	$6.0128 \cdot 10^{-4}$	0.9782	0.0425	$2.1813 \cdot 10^{-2}$	$5.2869 \cdot 10^{-4}$
15	0.9980	0.0130	$1.5016 \cdot 10^{-2}$	$2.5930 \cdot 10^{-4}$	0.9997	0.0046	$4.1678 \cdot 10^{-3}$	$1.9300 \cdot 10^{-5}$
16	0.9959	0.0194	$1.3229 \cdot 10^{-7}$	$2.1184 \cdot 10^{-14}$	0.9998	0.0041	$1.3249 \cdot 10^{-5}$	$2.0253 \cdot 10^{-10}$
17	0.9993	0.0082	$3.7082 \cdot 10^{-11}$	$1.6645 \cdot 10^{-21}$	0.9998	0.0041	$4.0054 \cdot 10^{-11}$	$1.8512 \cdot 10^{-21}$
18	0.9977	0.0137	$1.5019 \cdot 10^{-2}$	$2.4706 \cdot 10^{-4}$	0.9967	0.0163	$2.2885 \cdot 10^{-2}$	$5.6112 \cdot 10^{-4}$
19	0.9998	0.0045	$3.2132 \cdot 10^{-4}$	$1.1873 \cdot 10^{-7}$	0.9998	0.0045	$1.1629 \cdot 10^{-3}$	$1.5025 \cdot 10^{-6}$
20	0.9981	0.0132	$4.3172 \cdot 10^{-10}$	$2.2562 \cdot 10^{-19}$	0.9988	0.0103	$5.2596 \cdot 10^{-10}$	$3.1920 \cdot 10^{-19}$
21	0.9965	0.0178	$6.3100 \cdot 10^{-3}$	$4.8199 \cdot 10^{-5}$	0.9965	0.0174	$4.2703 \cdot 10^{-6}$	$2.1041 \cdot 10^{-11}$
22	0.9999	0.0037	$3.3910 \cdot 10^{-12}$	$1.4693 \cdot 10^{-23}$	0.9995	0.0066	$3.9239 \cdot 10^{-10}$	$1.8477 \cdot 10^{-19}$

R^2 , regresyon katsayısı; SH, tahminin standart hatası; KOH, karesel ortalama hata; χ^2 , ki-kare.

Çizelge 4.2. 200 W ve kombinasyonları ile kurutulan muşmulanın modellenmesinde kullanılan ince tabaka kurutma eşitliklerine ilişkin istatistiksel parametreler

Model	200 W				200 W – 40 °C			
	R^2	SH	KOH	χ^2	R^2	SH	KOH	χ^2
1	0.8979	0.0966	9.0583 10 ⁻²	3.2821 10 ⁻⁴	0.9142	0.0876	4.4772 10 ⁻²	5.8239 10 ⁻³
2	0.9990	0.0096	5.1444 10 ⁻³	2.8671 10 ⁻⁵	0.9992	0.0084	2.7518 10 ⁻³	8.2309 10 ⁻⁶
3	0.9422	0.0757	3.3353 10 ⁻²	1.2575 10 ⁻³	0.9505	0.0695	3.1534 10 ⁻²	1.1300 10 ⁻³
4	0.8979	0.0985	9.0299 10 ⁻²	8.8334 10 ⁻³	0.9142	0.0895	7.4164 10 ⁻²	5.9785 10 ⁻³
5	0.9422	0.0741	3.3344 10 ⁻²	1.2045 10 ⁻³	0.9505	0.0680	3.1530 10 ⁻²	1.0806 10 ⁻³
6	0.9873	0.0355	3.8253 10 ⁻⁸	1.6542 10 ⁻¹⁵	0.9915	0.0288	1.6979 10 ⁻⁸	3.2761 10 ⁻¹⁶
7	0.9966	0.0187	8.0985 10 ⁻³	7.7509 10 ⁻⁵	0.9966	0.0186	8.2650 10 ⁻³	8.1322 10 ⁻⁵
8	0.9939	0.0242	2.3456 10 ⁻²	5.9601 10 ⁻⁴	0.9940	0.0231	2.1212 10 ⁻²	4.8907 10 ⁻⁴
9	0.9794	0.0443	4.8480 10 ⁻²	2.5462 10 ⁻³	0.9861	0.0360	3.8676 10 ⁻²	1.6259 10 ⁻³
10	0.9552	6.6175	1.3215 10 ¹	1.8919 10 ²	0.9705	5.1344	9.3629 10 ⁰	9.5286 10 ¹
11	0.9960	0.0200	1.9210 10 ⁻²	4.1714 10 ⁻⁴	0.9961	0.0194	1.7678 10 ⁻²	3.5514 10 ⁻⁴
12	0.9960	0.0200	1.9206 10 ⁻²	4.1700 10 ⁻⁴	0.9961	0.0194	1.7677 10 ⁻²	3.5509 10 ⁻⁴
13	0.9983	0.0137	3.8953 10 ⁻³	1.9726 10 ⁻⁵	0.9966	0.0191	8.2683 10 ⁻³	8.9955 10 ⁻⁵
14	0.9422	0.0757	3.3346 10 ⁻²	1.2570 10 ⁻³	0.9505	0.0695	3.2422 10 ⁻²	1.1945 10 ⁻³
15	0.9990	0.0098	5.1444 10 ⁻³	2.9916 10 ⁻⁵	0.9992	0.0086	2.7585 10 ⁻³	8.6472 10 ⁻⁶
16	0.9995	0.0069	4.3364 10 ⁻⁵	2.2223 10 ⁻⁹	0.9919	0.0288	1.5006 10 ⁻⁷	2.6808 10 ⁻¹⁴
17	0.9996	0.0068	4.0328 10 ⁻¹¹	1.9220 10 ⁻²¹	0.9993	0.0084	2.5821 10 ⁻¹⁰	7.9374 10 ⁻²⁰
18	0.9855	0.0371	5.5930 10 ⁻²	3.3888 10 ⁻³	0.9911	0.0288	4.0559 10 ⁻²	1.7881 10 ⁻³
19	0.9986	0.0120	4.5507 10 ⁻³	2.3410 10 ⁻⁵	0.9992	0.0087	2.2409 10 ⁻³	5.7064 10 ⁻⁶
20	0.9946	0.0236	4.6425 10 ⁻⁹	2.5471 10 ⁻¹⁷	0.9964	0.0087	2.2409 10 ⁻³	5.9782 10 ⁻⁶
21	0.9873	0.0363	8.1678 10 ⁻⁷	7.8842 10 ⁻¹³	0.9915	0.0295	6.6190 10 ⁻⁷	5.2156 10 ⁻¹³
22	0.9997	0.0056	1.8668 10⁻¹⁰	4.3146 10⁻²⁰	0.9997	0.0053	2.0987 10⁻⁴	5.5058 10⁻⁸
Model	200 W – 50 °C				200 W – 60 °C			
	R^2	SH	KOH	χ^2	R^2	SH	KOH	χ^2
1	0.9221	0.0821	7.1220 10 ⁻²	5.2836 10 ⁻³	0.9241	0.0808	5.7243 10 ⁻²	3.4588 10 ⁻³
2	0.9993	0.0081	3.7611 10 ⁻³	1.5376 10 ⁻⁵	0.9989	0.0100	1.0106 10 ⁻²	1.1414 10 ⁻⁴
3	0.9556	0.0647	2.9203 10 ⁻³	9.6913 10 ⁻⁴	0.9528	0.0676	2.5237 10 ⁻²	7.5635 10 ⁻³
4	0.9221	0.0839	7.1124 10 ⁻²	5.4985 10 ⁻³	0.9241	0.0832	5.7213 10 ⁻²	3.6584 10 ⁻³
5	0.9556	0.0633	2.8979 10 ⁻²	9.1280 10 ⁻⁴	0.9528	0.0656	2.5153 10 ⁻²	7.0709 10 ⁻⁴
6	0.9934	0.0249	9.0859 10 ⁻¹⁰	9.3812 10 ⁻¹⁹	0.9961	0.0194	1.9404 10 ⁻⁷	4.4712 10 ⁻¹⁴
7	0.9971	0.0169	7.3380 10 ⁻³	6.4103 10 ⁻⁵	0.9961	0.0201	1.6865 10 ⁻⁵	3.6028 10 ⁻¹⁰
8	0.9952	0.0207	1.8257 10 ⁻²	3.6232 10 ⁻⁴	0.9936	0.0242	1.8416 10 ⁻²	3.7907 10 ⁻⁴
9	0.9887	0.0319	3.5991 10 ⁻²	1.4080 10 ⁻³	0.9936	0.0241	2.2633 10 ⁻²	5.7250 10 ⁻⁴
10	0.9761	3.4780	6.3345 10 ⁰	4.3615 10 ¹	0.9822	2.2970	3.5548 10 ⁰	1 4123 10 ¹
11	0.9968	0.0175	1.5075 10 ⁻²	2.5823 10 ⁻⁴	0.9954	0.0212	1.6301 10 ⁻²	3.1553 10 ⁻⁴
12	0.9968	0.0175	1.5072 10 ⁻²	2.5814 10 ⁻⁴	0.9954	0.0212	1.6292 10 ⁻²	3.1521 10 ⁻⁴
13	0.9982	0.0135	4.0726 10 ⁻³	2.1824 10 ⁻⁵	0.9981	0.0146	4.1854 10 ⁻³	2.5602 10 ⁻⁵
14	0.9556	0.0647	2.8979 10 ⁻²	9.5433 10 ⁻⁴	0.9528	0.0676	2.5154 10 ⁻²	7.5135 10 ⁻⁴
15	0.9992	0.0083	3.7614 10 ⁻³	1.6077 10 ⁻⁵	0.9989	0.0103	1.0106 10 ⁻²	1.2128 10 ⁻⁴
16	0.9993	0.0082	6.6613 10 ⁻⁶	5.2826 10 ⁻¹¹	0.9997	0.0055	8.2484 10 ⁻⁶	8.6179 10 ⁻¹¹
17	0.9993	0.0082	2.2238 10 ⁻¹¹	5.8873 10 ⁻²²	0.9997	0.0056	1.3214 10 ⁻¹¹	2.2119 10 ⁻²²
18	0.9930	0.0251	3.5701 10 ⁻²	1.3854 10 ⁻³	0.9964	0.0180	2.1793 10 ⁻²	5.3082 10 ⁻⁴
19	0.9993	0.0251	9.7598 10 ⁻⁴	1.0824 10 ⁻⁶	0.9996	0.0061	7.6857 10 ⁻⁴	7.0146 10 ⁻⁷
20	0.9975	0.0158	5.7500 10 ⁻¹⁰	3.9360 10 ⁻¹⁹	0.9987	0.0117	6.3785 10 ⁻¹⁰	5.1535 10 ⁻¹⁹
21	0.9934	0.0255	5.9991 10 ⁻⁵	4.2844 10 ⁻⁹	0.9961	0.0201	4.3211 10 ⁻⁷	2.3651 10 ⁻¹³
22	0.9995	0.0072	2.1094 10⁻⁴	5.5620 10⁻⁸	0.9998	0.0052	2.6813 10⁻⁹	9.7572 10⁻¹⁸

R^2 , regresyon katsayısı; SH, tahminin standart hatası; KOH, karesel ortalama hata; χ^2 , ki-kare.

Çizelge 4.3. 400 W ve kombinasyonları ile kurutulan muşmuların modellenmesinde kullanılan ince tabaka kurutma eşitliklerine ilişkin istatistiksel parametreler

Model	400 W				400 W – 40 °C			
	R^2	SH	KOH	χ^2	R^2	SH	KOH	χ^2
1	0.9247	0.0797	$7.2958 \cdot 10^{-2}$	$5.5357 \cdot 10^{-3}$	0.9346	0.0735	$6.5410 \cdot 10^{-2}$	$4.4496 \cdot 10^{-3}$
2	0.9996	0.0056	$2.2470 \cdot 10^{-3}$	$5.4699 \cdot 10^{-6}$	0.9996	0.0057	$4.4318 \cdot 10^{-3}$	$2.1277 \cdot 10^{-5}$
3	0.9580	0.0621	$2.8882 \cdot 10^{-2}$	$9.4296 \cdot 10^{-4}$	0.9635	0.0572	$2.6035 \cdot 10^{-2}$	$7.6625 \cdot 10^{-4}$
4	0.9247	0.0813	$7.2722 \cdot 10^{-2}$	$5.7292 \cdot 10^{-3}$	0.9346	0.0750	$6.5366 \cdot 10^{-2}$	$4.6288 \cdot 10^{-3}$
5	0.9580	0.0595	$2.9973 \cdot 10^{-2}$	$9.7325 \cdot 10^{-4}$	0.9635	0.0560	$2.5975 \cdot 10^{-2}$	$7.3091 \cdot 10^{-4}$
6	0.9933	0.0247	$1.1671 \cdot 10^{-2}$	$1.5399 \cdot 10^{-4}$	0.9952	0.0207	$3.4943 \cdot 10^{-10}$	$1.3803 \cdot 10^{-19}$
7	0.9980	0.0137	$5.9476 \cdot 10^{-3}$	$4.1805 \cdot 10^{-5}$	0.9982	0.0128	$5.6263 \cdot 10^{-3}$	$3.7411 \cdot 10^{-5}$
8	0.9964	0.0178	$1.6657 \cdot 10^{-2}$	$3.0059 \cdot 10^{-4}$	0.9969	0.0163	$1.4682 \cdot 10^{-2}$	$2.3353 \cdot 10^{-4}$
9	0.9884	0.0319	$3.7239 \cdot 10^{-2}$	$1.5023 \cdot 10^{-3}$	0.9913	0.0273	$3.2820 \cdot 10^{-2}$	$1.1669 \cdot 10^{-3}$
10	0.9763	2.7633	$5.2098 \cdot 10^0$	$2.9404 \cdot 10^1$	0.9828	2.1444	$3.9515 \cdot 10^0$	$1.6916 \cdot 10^1$
11	0.9977	0.0144	$1.3439 \cdot 10^{-2}$	$2.0417 \cdot 10^{-4}$	0.9980	0.0133	$1.1821 \cdot 10^{-2}$	$1.5795 \cdot 10^{-4}$
12	0.9977	0.0144	$1.3438 \cdot 10^{-2}$	$2.0412 \cdot 10^{-4}$	0.9980	0.0133	$1.1821 \cdot 10^{-2}$	$1.5796 \cdot 10^{-4}$
13	0.9959	0.0202	$4.0606 \cdot 10^{-6}$	$2.1435 \cdot 10^{-11}$	0.9982	0.0132	$5.5908 \cdot 10^{-3}$	$4.0635 \cdot 10^{-5}$
14	0.9580	0.0621	$2.7544 \cdot 10^{-2}$	$8.5765 \cdot 10^{-4}$	0.9635	0.0572	$2.5975 \cdot 10^{-2}$	$7.6271 \cdot 10^{-4}$
15	0.9996	0.0057	$2.2473 \cdot 10^{-3}$	$5.7089 \cdot 10^{-6}$	0.9996	0.0058	$4.4318 \cdot 10^{-3}$	$2.2203 \cdot 10^{-5}$
16	0.9929	0.0261	$3.4362 \cdot 10^{-7}$	$1.3955 \cdot 10^{-13}$	0.9939	0.0240	$6.8626 \cdot 10^{-7}$	$5.5659 \cdot 10^{-13}$
17	0.9997	0.0056	$8.6900 \cdot 10^{-11}$	$8.9246 \cdot 10^{-21}$	0.9997	0.0050	$2.4046 \cdot 10^{-11}$	$6.8332 \cdot 10^{-22}$
18	0.9924	0.0253	$3.6719 \cdot 10^{-2}$	$1.4606 \cdot 10^{-3}$	0.9949	0.0209	$3.0221 \cdot 10^{-2}$	$9.8942 \cdot 10^{-4}$
19	0.9995	0.0071	$1.5535 \cdot 10^{-3}$	$2.7281 \cdot 10^{-6}$	0.9997	0.0054	$6.5375 \cdot 10^{-4}$	$4.8313 \cdot 10^{-7}$
20	0.9976	0.0151	$7.9542 \cdot 10^{-10}$	$7.4774 \cdot 10^{-19}$	0.9998	0.0047	$1.3593 \cdot 10^{-9}$	$2.1836 \cdot 10^{-18}$
21	0.9933	0.0252	$4.5793 \cdot 10^{-6}$	$2.4783 \cdot 10^{-11}$	0.9952	0.0212	$1.8717 \cdot 10^{-6}$	$4.1401 \cdot 10^{-12}$
22	0.9997	0.0055	$4.3287 \cdot 10^{-10}$	$2.3199 \cdot 10^{-19}$	0.9997	0.0054	$6.6440 \cdot 10^{-11}$	$5.4654 \cdot 10^{-21}$
Model	400 W – 50 °C				400 W – 60 °C			
	R^2	SH	KOH	χ^2	R^2	SH	KOH	χ^2
1	0.9327	0.0768	$5.8428 \cdot 10^{-2}$	$3.5690 \cdot 10^{-3}$	0.9458	0.0673	$5.1837 \cdot 10^{-2}$	$2.8150 \cdot 10^{-3}$
2	0.9988	0.0105	$3.9423 \cdot 10^{-3}$	$1.7022 \cdot 10^{-5}$	0.9996	0.0058	$2.7278 \cdot 10^{-3}$	$8.1848 \cdot 10^{-6}$
3	0.9605	0.0617	$2.7756 \cdot 10^{-2}$	$8.8595 \cdot 10^{-4}$	0.9692	0.0533	$2.2983 \cdot 10^{-2}$	$6.1160 \cdot 10^{-4}$
4	0.9327	0.0786	$5.8360 \cdot 10^{-2}$	$3.7303 \cdot 10^{-3}$	0.9458	0.0689	$5.1716 \cdot 10^{-2}$	$2.9420 \cdot 10^{-3}$
5	0.9605	0.0589	$3.1891 \cdot 10^{-2}$	$1.1139 \cdot 10^{-3}$	0.9692	0.0519	$2.2979 \cdot 10^{-2}$	$5.8084 \cdot 10^{-4}$
6	0.9920	0.0277	$1.4213 \cdot 10^{-9}$	$2.3232 \cdot 10^{-18}$	0.9945	0.0226	$7.7973 \cdot 10^{-10}$	$7.0397 \cdot 10^{-19}$
7	0.9974	0.0164	$5.5679 \cdot 10^{-3}$	$1.4054 \cdot 10^{-3}$	0.9990	0.0099	$3.3012 \cdot 10^{-3}$	$1.3320 \cdot 10^{-5}$
8	0.9958	0.0197	$1.5880 \cdot 10^{-2}$	$2.7619 \cdot 10^{-4}$	0.9981	0.0129	$1.0592 \cdot 10^{-2}$	$1.2341 \cdot 10^{-4}$
9	0.9879	0.0334	$3.3821 \cdot 10^{-2}$	$1.2528 \cdot 10^{-3}$	0.9911	0.0279	$2.9958 \cdot 10^{-2}$	$9.8721 \cdot 10^{-4}$
10	0.9784	2.0292	$3.1409 \cdot 10^0$	$1.0805 \cdot 10^1$	0.9853	1.2895	$1.9981 \cdot 10^0$	$4.3917 \cdot 10^0$
11	0.9970	0.0169	$1.2776 \cdot 10^{-2}$	$1.8770 \cdot 10^{-4}$	0.9989	0.0103	$7.9413 \cdot 10^{-3}$	$7.3021 \cdot 10^{-5}$
12	0.9970	0.0169	$1.2764 \cdot 10^{-2}$	$1.8736 \cdot 10^{-4}$	0.9989	0.0103	$7.9390 \cdot 10^{-3}$	$7.2980 \cdot 10^{-5}$
13	0.9990	0.0102	$3.6435 \cdot 10^{-4}$	$1.7961 \cdot 10^{-7}$	0.9997	0.0060	$9.9379 \cdot 10^{-4}$	$1.3580 \cdot 10^{-6}$
14	0.9605	0.0617	$2.7705 \cdot 10^{-2}$	$8.8270 \cdot 10^{-4}$	0.9692	0.0533	$2.2980 \cdot 10^{-2}$	$6.1145 \cdot 10^{-4}$
15	0.9988	0.0108	$3.9594 \cdot 10^{-3}$	$1.8029 \cdot 10^{-5}$	0.9996	0.0060	$2.7414 \cdot 10^{-3}$	$8.7020 \cdot 10^{-6}$
16	0.9989	0.0103	$1.2479 \cdot 10^{-5}$	$1.8850 \cdot 10^{-10}$	0.9901	0.0310	$1.6908 \cdot 10^{-6}$	$3.4941 \cdot 10^{-12}$
17	0.9989	0.0103	$3.5741 \cdot 10^{-10}$	$1.5464 \cdot 10^{-19}$	0.9997	0.0057	$1.8577 \cdot 10^{-10}$	$4.2181 \cdot 10^{-20}$
18	0.9927	0.0259	$3.1561 \cdot 10^{-2}$	$1.0909 \cdot 10^{-3}$	0.9948	0.0214	$2.6034 \cdot 10^{-2}$	$7.4552 \cdot 10^{-4}$
19	0.9990	0.0100	$2.5098 \cdot 10^{-3}$	$7.2440 \cdot 10^{-6}$	0.9995	0.0066	$1.6562 \cdot 10^{-3}$	$3.1761 \cdot 10^{-6}$
20	0.9962	0.0196	$2.4584 \cdot 10^{-9}$	$7.3161 \cdot 10^{-18}$	0.9999	0.0037	$4.4097 \cdot 10^{-11}$	$2.3767 \cdot 10^{-21}$
21	0.9920	0.0284	$7.2920 \cdot 10^{-7}$	$6.4368 \cdot 10^{-13}$	0.9945	0.0232	$1.6675 \cdot 10^{-3}$	$3.3983 \cdot 10^{-6}$
22	0.9998	0.0050	$1.0554 \cdot 10^{-4}$	$1.4232 \cdot 10^{-8}$	0.9998	0.0044	$1.0400 \cdot 10^{-8}$	$1.3997 \cdot 10^{-16}$

R^2 , regresyon katsayısı; SH, tahminin standart hatası; KOH, karesel ortalama hata; χ^2 , ki-kare.

Çizelge 4.4. 600 W ve kombinasyonları ile kurutulan muşmulanın modellenmesinde kullanılan ince tabaka kurutma eşitliklerine ilişkin istatistiksel parametreler

600 W					600 W - 40 °C			
Model	R^2	SH	KOH	χ^2	R^2	SH	KOH	χ^2
1	0.9468	0.0670	5.0093 10 ⁻²	2.6288 10 ⁻³	0.9592	0.0566	5.1331 10 ⁻²	2.7258 10 ⁻³
2	0.9996	0.0062	3.0388 10 ⁻³	1.0158 10 ⁻⁵	0.9997	0.0047	1.7190 10 ⁻³	3.1661 10 ⁻⁶
3	0.9696	0.0532	2.3584 10 ⁻²	6.4401 10 ⁻⁴	0.9787	0.0424	2.2152 10 ⁻²	5.4522 10 ⁻⁴
4	0.9468	0.0686	5.0055 10 ⁻²	2.7561 10 ⁻³	0.9592	0.0576	5.1315 10 ⁻²	2.8214 10 ⁻³
5	0.9696	0.0519	2.3503 10 ⁻²	6.0762 10 ⁻⁴	0.9787	0.0417	2.2115 10 ⁻²	5.2402 10 ⁻⁴
6	0.9945	0.0227	6.0134 10 ⁻²	4.1870 10 ⁻³	0.9958	0.0189	2.2332 10 ⁻⁹	5.5413 10 ⁻¹⁸
7	0.9990	0.0101	3.3511 10 ⁻³	1.3726 10 ⁻⁵	0.9996	0.0057	1.4389 10 ⁻³	2.3890 10 ⁻⁶
8	0.9981	0.0131	1.0834 10 ⁻²	1.2911 10 ⁻⁴	0.9992	0.0079	7.0354 10 ⁻³	5.3033 10 ⁻⁵
9	0.9913	0.0278	2.9497 10 ⁻²	9.5711 10 ⁻⁴	0.9932	0.0235	3.1530 10 ⁻²	1.0651 10 ⁻³
10	0.9857	1.1868	1.8095 10 ⁰	3.6018 10 ⁰	0.9899	0.8999	1.5869 10 ⁰	2.6981 10 ⁰
11	0.9988	0.0105	8.1426 10 ⁻³	7.6770 10 ⁻⁵	0.9996	0.0059	4.2761 10 ⁻³	2.0317 10 ⁻⁵
12	0.9988	0.0105	8.1407 10 ⁻³	7.6735 10 ⁻⁵	0.9996	0.0059	4.2780 10 ⁻³	2.0334 10 ⁻⁵
13	0.9997	0.0060	9.3688 10 ⁻⁴	1.2069 10 ⁻⁶	0.9998	0.0046	8.0997 10 ⁻⁴	8.2007 10 ⁻⁷
14	0.9696	0.0532	2.3503 10 ⁻²	6.3961 10 ⁻⁴	0.9787	0.0046	2.2116 10 ⁻²	5.4344 10 ⁻⁴
15	0.9996	0.0063	3.0441 10 ⁻³	1.0730 10 ⁻⁵	0.9997	0.0048	1.7763 10 ⁻³	3.5059 10 ⁻⁶
16	0.9896	0.0319	1.8309 10 ⁻⁶	4.0970 10 ⁻¹²	0.9998	0.0044	2.2990 10 ⁻⁵	6.0985 10 ⁻¹⁰
17	0.9996	0.0060	4.6256 10 ⁻¹¹	2.6151 10 ⁻²¹	0.9998	0.0044	7.1755 10 ⁻¹¹	5.9409 10 ⁻²¹
18	0.9949	0.0213	2.5472 10 ⁻²	7.1371 10 ⁻⁴	0.9958	0.0185	2.5806 10 ⁻²	7.1351 10 ⁻⁴
19	0.9995	0.0067	1.7582 10 ⁻³	3.5794 10 ⁻⁶	0.9995	0.0062	1.8327 10 ⁻³	3.7319 10 ⁻⁶
20	0.9999	0.0035	1.4135 10⁻¹⁰	2.4418 10⁻²⁰	0.9999	0.0036	2.1539 10 ⁻¹¹	5.3528 10 ⁻²²
21	0.9945	0.0234	1.5874 10 ⁻⁵	3.0796 10 ⁻¹⁰	0.9958	0.0193	6.8774 10 ⁻⁶	5.4576 10 ⁻¹¹
22	0.9998	0.0040	1.3790 10 ⁻⁹	2.4609 10 ⁻¹⁸	0.9999	0.0032	3.3848 10⁻¹²	1.3749 10⁻²³
600 W - 50 °C					600 W - 60 °C			
Model	R^2	SH	KOH	χ^2	R^2	SH	KOH	χ^2
1	0.9570	0.0588	4.6372 10 ⁻²	2.2438 10 ⁻³	0.9544	0.0606	3.9855 10 ⁻²	1.6819 10 ⁻³
2	0.9996	0.0058	3.1194 10 ⁻³	1.0615 10 ⁻⁵	0.9992	0.0082	7.3581 10 ⁻³	6.0910 10 ⁻⁵
3	0.9762	0.0458	2.1258 10 ⁻²	5.1646 10 ⁻⁴	0.9721	0.0505	1.9803 10 ⁻²	4.7061 10 ⁻⁴
4	0.9570	0.0602	4.6068 10 ⁻²	2.3152 10 ⁻³	0.9544	0.0625	3.9847 10 ⁻²	1.7863 10 ⁻³
5	0.9762	0.0447	2.1199 10 ⁻²	4.9024 10 ⁻⁴	0.9721	0.0489	1.8812 10 ⁻²	3.9811 10 ⁻⁴
6	0.9959	0.0191	2.9225 10 ⁻¹⁰	9.7609 10 ⁻²⁰	0.9972	0.0161	4.4048 10 ⁻⁹	2.3282 10 ⁻¹⁷
7	0.9983	0.0124	8.9223 10 ⁻³	9.5529 10 ⁻⁵	0.9985	0.0122	3.9600 10 ⁻³	2.0162 10 ⁻⁵
8	0.9987	0.0103	7.9912 10 ⁻³	6.9665 10 ⁻⁵	0.9975	0.0145	1.0121 10 ⁻²	1.1523 10 ⁻⁴
9	0.9935	0.0234	2.7342 10 ⁻²	8.1557 10 ⁻⁴	0.9956	0.0193	1.8401 10 ⁻²	3.8091 10 ⁻⁴
10	0.9898	0.7313	1.1328 10 ⁰	1.3999 10 ⁰	0.9916	0.5035	6.7141 10 ⁻¹	5.0715 10 ⁻¹
11	0.9992	0.0083	5.5861 10 ⁻³	3.5662 10 ⁻⁵	0.9983	0.0123	8.4625 10 ⁻³	8.5937 10 ⁻⁵
12	0.9992	0.0083	5.5871 10 ⁻³	3.5676 10 ⁻⁵	0.9983	0.0123	8.4605 10 ⁻³	8.5897 10 ⁻⁵
13	0.9996	0.0060	1.1375 10 ⁻⁴	1.7251 10 ⁻⁸	0.9996	0.0069	1.7059 10 ⁻³	4.3651 10 ⁻⁶
14	0.9762	0.0458	2.1199 10 ⁻²	5.1359 10 ⁻⁴	0.9721	0.0505	1.8812 10 ⁻²	4.2466 10 ⁻⁴
15	0.9996	0.0060	3.1196 10 ⁻³	1.1122 10 ⁻⁵	0.9992	0.0085	7.3582 10 ⁻³	6.4972 10 ⁻⁵
16	0.9996	0.0058	2.2428 10 ⁻⁵	6.0364 10 ⁻¹⁰	0.9997	0.0053	5.3469 10 ⁻⁶	3.6758 10 ⁻¹¹
17	0.9996	0.0058	6.1855 10 ⁻¹¹	4.5913 10 ⁻²¹	0.9997	0.0053	2.1823 10 ⁻¹¹	6.1229 10 ⁻²²
18	0.9962	0.0179	2.2267 10 ⁻²	5.4087 10 ⁻⁴	0.9979	0.0135	1.4322 10 ⁻²	2.3077 10 ⁻⁴
19	0.9996	0.0060	1.2028 10 ⁻³	1.6534 10 ⁻⁶	0.9998	0.0040	1.3435 10⁻⁴	2.1661 10⁻⁸
20	0.9998	0.0047	1.8443 10⁻¹¹	4.0819 10⁻²²	0.9998	0.0044	7.1996 10 ⁻¹⁰	6.6643 10 ⁻¹⁹
21	0.9959	0.0195	4.1504 10 ⁻⁶	2.0671 10 ⁻¹¹	0.9972	0.0166	6.0755 10 ⁻⁷	4.7458 10 ⁻¹³
22	0.9998	0.0047	5.4230 10 ⁻⁶	3.7149 10 ⁻¹¹	0.9998	0.0041	5.5020 10 ⁻¹⁰	4.1915 10 ⁻¹⁹

R^2 , regresyon katsayısı; SH, tahminin standart hatası; KOH, karesel ortalama hata; χ^2 , ki-kare.

Çizelge 4.5. Gölgede ve 40 °C’de konvektif kurutma ile kurutulan muşmulanın modellenmesinde kullanılan ince tabaka kurutma eşitliklerindeki kurutma sabit ve katsayıları

Gölgede Kurutma										
Model	k	n	a	a_0	b	c	g	L_k	m	h
1	6.0150 10 ⁻¹									
2	0.0180	1.7298								
3	0.0179	0.1599	1.1410							
4	0.0099	-0.2352								
5	0.0149		1.1410							
6	0.0135		6.0809			-5.0214				
7	0.0196		1.1905		-0.1905				1.1905	
8	0.0103		2.1073							
9			0.7291		-2.0389 10 ⁻¹⁰					
10			0.0001		-2582.2140					
11	0.0076		-0.1905		0.0099					
12	0.0237		1.1905				1.0000			
13	0.0001		1.3621		-0.1810	-0.1810	1.0000			1.0000
14			1.1410			0.0026		6.3661		
15	0.0212	1.7298						-6.1860		
16	0.0198	-985.1044	1.0462		-4.2604 10 ⁻⁵					
17	0.0028	1.7318	-0.0025		-1.001					
18			0.4998		-2.9893 10 ⁻⁵					
19	0.0014		0.1630	1.1847						
20	0.0399		1.6530		0.0022	-0.6724				
21	0.0177	0.0676	6.0809			-5.0214				
22	0.9998	1.0000	1.2094		1.0000		-0.2252			
40 °C										
Model	k	n	a	a_0	b	c	g	L_k	m	h
1	0.0210									
2	0.0399	1.4116								
3	0.0499	-0.1535	1.0954							
4	0.0029	-0.0956								
5	0.0299		1.0954							
6	0.4999		1.7450			-0.7048				
7	0.0195		1.1252		-0.1252				1.0000	
8	0.0129		1.9367							
9			-9.1540 10 ⁻⁵		0.9646					
10			-4336.0488		0.9479					
11	0.0267		1.0000		1.0000					
12	0.4999		1.1252				1.0000			
13			0.9491		0.0255	0.0253	1.0000			1.0000
14			1.0954			0.0479		4.9153		
15	0.0399	1.4116						3.6814		
16	0.0589	1.4538	0.9904		8.7121 10 ⁻⁷					
17	0.0007	1.4575	0.0152		-0.9753					
18			0.2992		-4.1515 10 ⁻⁵					
19	0.0049		0.3825	1.3972						
20	0.0459		1.2470		0.0029	-0.2631				
21	0.0389	0.1270	1.7450			-0.7048				
22	0.9996	1.0000	0.2579		0.9998		-0.0829			

a, a_0, b, c, g, m, h kurutma katsayıları; t , kurutma süresi, dk; n , kurutma sabiti k , özel kurutma sabiti dk⁻¹; L_k , materyal kalınlığı (mm).

Çizelge 4.6. 50 ve 60 °C’de konvektif kurutma ile kurutulan muşmulanın modellenmesinde kullanılan ince tabaka kurutma eşitliklerindeki kurutma sabit ve katsayıları

50 °C										
Model	k	n	a	a_0	b	c	g	L_k	m	h
1	0.0599									
2	0.0799	1.5554								
3	0.0969	0.1823	1.1017							
4	0.0291	0.2425								
5	0.0319		1.1017							
6	0.0592		4.7069			-3.6782				
7	0.0029		1.1423		-0.1423				1.0000	
8	0.0349		1.9995							
9			-0.0003		0.1179					
10			0.7999		-374.5386					
11	0.0009		-240.5334		0.0399					
12	1.0000		-0.1423				0.0699			
13	0.0005		1.1828		-0.0914	-0.0914	1.0000			1.0000
14			1.1017			0.0279		1.1837		
15	0.0799	1.5554						4.0740		
16	0.0429	-0.3754	0.9971		-0.0003					
17	0.0169	1.4773	-0.1374		-1.1244					
18			0.0002		0.5599					
19	0.0889		0.2049	1.2000						
20	0.0696		1.9872		0.0025	-0.9984				
21	0.0459	0.5224	4.6978			-3.6692				
22	0.9965	1.0007	-0.0586		1.0089		1.0589			
60 °C										
Model	k	n	a	a_0	b	c	g	L_k	m	h
1	0.3499									
2	0.1399	1.4259								
3	0.4299	0.7494	1.0980							
4	0.2209	0.3549								
5	0.1969		1.0980							
6	0.4399		1.8347			-0.7939				
7	0.0793		1.1284		-0.1284				1.0000	
8	0.0939		1.9454							
9			-0.0008		0.0001					
10			-474.8926		0.3020					
11	0.0076		-0.2906		0.1999					
12	0.3098		1.1284				1.0000			
13	0.0009		0.9413		1.3236	-1.2649	1.0000			1.0000
14			1.0980			0.1999		11.1421		
15	0.0019	0.5657						3.1815		
16	$6.0972 \cdot 10^{-5}$	0.6914	0.9935		$-2.4970 \cdot 10^{-6}$					
17	0.4979	1.4382	-0.0058		-0.9994					
18			0.9219		-0.0004					
19	0.0659		0.3660	1.3817						
20	0.2999		1.2847		0.0085	-0.2989				
21	0.3809	0.0969	1.8347			-0.7939				
22	0.9982	1.0003	0.0619		0.9993		-0.1061			

a, a_0, b, c, g, m, h kurutma katsayıları; t , kurutma süresi, dk; n , kurutma sabiti k , özel kurutma sabiti dk^{-1} ; L_k , materyal kalınlığı (mm).

Çizelge 4.7. 200 W ve 200 W-40 °C ile kurutulan muşmularının modellenmesinde kullanılan ince tabaka kurutma eşitliklerindeki kurutma sabit ve katsayıları

200 W										
Model	k	n	a	a_0	b	c	g	L_k	m	h
1	0.5993									
2	0.5699	1.8431								
3	0.8992	-0.0289	1.1569							
4	0.3940	0.2097								
5	0.7999		1.1569							
6	0.9999		8.2476			-7.1754				
7	0.1259		250.7043		-249.7335				0.0355	
8	0.0109		2.1598							
9			0.1799		-1.6309 10 ⁻⁵					
10			0.0025		-11.7824					
11	0.0352		0.5999		0.9773					
12	0.2996		315.5033				0.0348			
13	0.2419		0.1601		180.8475	-180.0005	0.0373			0.0376
14			1.1569			0.9895		10.7185		
15	0.7694	1.8431						5.8236		
16	0.0003	0.1969	0.9934		0.0006					
17	0.1999	2.0097	0.0749		-0.9198					
18			0.8999		-0.007					
19	0.4799		0.1305	1.1574						
20	0.7999		1.5687		0.0438	-0.5981				
21	0.4999	0.0518	8.2474			-7.1753				
22	3.9907 10 ⁻⁵	2.4121	0.6999		-0.0036		0.1053			
200 W – 40 °C										
Model	k	n	a	a_0	b	c	g	L_k	m	h
1	0.0921									
2	0.3999	1.7392								
3	0.7993	0.1109	1.1414							
4	0.3584	-0.2282								
5	0.6582		1.1414							
6	0.9999		5.4998			-4.4410				
7	0.2299		276.5005		-275.5256				0.0368	
8	0.0999		2.1106							
9			-0.0088		0.0001					
10			-39.6442		0.2999					
11	0.0364		0.4999		0.9857					
12	0.7999		277.7387				0.0362			
13	0.0364		0.7599		56.5801	-56.3651	0.0364			0.0371
14			1.1414			0.7999		-7.2025		
15	0.4999	1.7392						1.7694		
16	0.1938	-0.1111	0.9994		-0.0102					
17	0.0999	1.8037	0.0238		-0.9690					
18			0.2999		-0.0071					
19	0.0499		0.1551	1.1729						
20	0.4999		1.6270		0.0354	-0.6475				
21	0.0791	0.1294	5.4998			-4.4410				
22	0.7599	1.1140	-0.0378		0.3086		1.0474			

a, a_0, b, c, g, m, h kurutma katsayıları; t , kurutma süresi, dk; n , kurutma sabiti k , özel kurutma sabiti dk^{-1} ; L_k , materyal kalınlığı (mm).

Çizelge 4.8. 200 W-50 °C ve 200 W-60 °C’de kurutulan muşmulanın modellenmesinde kullanılan ince tabaka kurutma eşitliklerindeki kurutma sabit ve katsayıları

200 W – 50 °C										
Model	<i>k</i>	<i>n</i>	<i>a</i>	<i>a</i> ₀	<i>b</i>	<i>c</i>	<i>g</i>	<i>L_k</i>	<i>m</i>	<i>h</i>
1	0.0440									
2	0.2991	1.6829								
3	0.1299	-0.3078	1.1336							
4	0.1999	-0.4850								
5	0.0098		1.1336							
6	0.5979		4.6432			-3.5889				
7	0.5949		250.9625		-249.9829				0.0477	
8	0.8691		2.0845							
9			0.1100		-1.1208 10 ⁻⁵					
10			-29.8227		0.0001					
11	0.0473		0.5099		0.9848					
12	0.2599		229.2812				0.0470			
13	0.2535		0.1598		134.7926	-133.9454	0.0502			0.0507
14			1.1336			0.5998		2.0790		
15	0.9289	1.6829						1.1986		
16	0.0015	0.1977	0.9969		-0.0002					
17	0.3299	1.6705	-0.0185		-1.0153					
18			0.9986		-0.0092					
19	0.9819		0.1773	1.1949						
20	0.3999		1.6300		0.0368	-0.6467				
21	-0.0543	-0.0591	0.5990			-3.5889				
22	0.8999	1.1146	-0.0517		0.3558		1.0648			
200 W - 60 °C										
Model	<i>k</i>	<i>n</i>	<i>a</i>	<i>a</i> ₀	<i>b</i>	<i>c</i>	<i>g</i>	<i>L_k</i>	<i>m</i>	<i>h</i>
1	0.0121									
2	0.0419	1.6768								
3	0.8999	-0.04467	1.1195							
4	0.8999	-0.0519								
5	0.0294		0.9969							
6	0.4095		16.3706			-15.3322				
7	0.6299		46.5917		-45.5532				0.0004	
8	0.2699		2.0682							
9			-0.0152		0.0999					
10			-23.0734		0.1101					
11	0.0611		0.7999		0.9962					
12	0.5699		282.7523				0.0611			
13	0.2519		0.3080		-164.8658	165.5643	0.0686			0.0680
14			0.5499			1.5662		7.3039		
15	0.6989	1.6768						4.8955		
16	0.7999	1.6000	0.9966		-0.0016					
17	0.2339	1.5501	-0.1480		-1.1437					
18			0.9969		-0.0123					
19	0.4345		0.1638	1.1692						
20	0.6909		2.1566		0.0238	-1.1654				
21	0.0999	0.0793	16.3698			-15.3314				
22	0.9790	1.9175	1.0571		-0.0069		-0.0554			
<i>a, a</i> ₀ , <i>b, c, g, m, h</i> kurutma katsayıları; <i>t</i> , kurutma süresi, dk; <i>n</i> , kurutma sabiti <i>k</i> , özel kurutma sabiti dk ⁻¹ ; <i>L_k</i> , materyal kalınlığı (mm).										

Çizelge 4.9. 400 W ve 400 W-40 °C’de kurutulan muşmuların modellenmesinde kullanılan ince tabaka kurutma eşitliklerindeki kurutma sabit ve katsayıları

400 W										
Model	k	n	a	a_0	b	c	g	L_k	m	h
1	0.0159									
2	0.0399	1.6634								
3	-0.1879	0.7899	1.1313							
4	-0.2293	0.5929								
5	0.0278		1.1291							
6	0.3399		4.1316			-3.0765				
7	0.2599		207.3768		-206.3963				0.0587	
8	0.8998		2.0774							
9			0.0001		-1.3709 10 ⁻⁵					
10			-23.9883		0.0099					
11	0.0582		0.9798		0.9823					
12	0.5999		244.2821				0.0578			
13	0.8999		-0.0920		-41.4555	42.5421	0.0041			0.0045
14			0.8992			1.7721		7.9647		
15	0.5999	1.6634						2.4006		
16	0.4269	-0.2064	0.9980		-0.0163					
17	0.4999	1.6856	0.0059		-0.9901					
18			0.0090		-0.0112					
19	0.4999		0.1894	1.2093						
20	0.8924		1.5604		0.0439	-0.5790				
21	0.8789	0.1214	4.1316			-3.0766				
22	0.5909	1.0549	-0.0454		0.9113		1.0586			
400 W – 40 °C										
Model	k	n	a	a_0	b	c	g	L_k	m	h
1	0.0300									
2	0.7979	1.5978								
3	0.6999	-0.2338	1.1218							
4	-0.1351	0.9919								
5	0.1098		1.1218							
6	0.4369		3.3287			-2.2800				
7	0.1997		200.2791		-199.2952				0.0635	
8	0.3159		2.0428							
9			-0.0173		0.0004					
10			-21.3262		0.9999					
11	0.0626		0.3399		0.9962					
12	0.2299		214.0214				0.0627			
13	0.0640		-45.4642		0.7959	45.6523	0.0626			0.0626
14			1.1218			0.1378		2.1139		
15	0.2799	1.5978						0.9053		
16	-0.0659	0.0789	0.9938		-0.0175					
17	0.9694	1.5661	-0.0358		-1.0330					
18			0.5999		-0.0118					
19	0.2916		0.2195	1.2364						
20	0.0492		-0.0066		1.2335	1.0161				
21	0.8969	0.1227	3.3287			-2.2800				
22	0.7079	1.0494	-0.0605		0.9785		1.0744			

a, a_0, b, c, g, m, h kurutma katsayıları; t , kurutma süresi, dk; n , kurutma sabiti k , özel kurutma sabiti dk^{-1} ; L_k , materyal kalınlığı (mm).

Çizelge 4.10. 400 W - 50°C ve 400 W - 60 °C’de kurutulan muşmulanın modellenmesinde kullanılan ince tabaka kurutma eşitliklerindeki kurutma sabit ve katsayıları

400 W – 50 °C										
Model	<i>k</i>	<i>n</i>	<i>a</i>	<i>a</i> ₀	<i>b</i>	<i>c</i>	<i>g</i>	<i>L_k</i>	<i>m</i>	<i>h</i>
1	0.0108									
2	0.9999	1.6151								
3	0.1799	0.5387	1.1233							
4	-0.2319	0.6999								
5	0.0384		1.1194							
6	0.2999		2.7762			-1.7244				
7	0.6129		219.0611		-218.0804				0.0797	
8	0.0795		2.0542							
9			0.1011		2.6572 10 ⁻⁵					
10			-16.9528		0.3261					
11	0.0785		0.2999		0.9960					
12	0.2939		251.5209				0.0785			
13	0.0996		63.8074		-175.9565	113.1543	0.1105			0.1158
14			1.1233			0.5528		1.7130		
15	0.7995	1.6151						3.2776		
16	0.2891	1.6872	0.9885		0.0005					
17	0.0999	1.7030	0.0317		-0.9570					
18			0.9998		-0.0143					
19	0.3990		0.2057	1.2498						
20	0.4998		1.4297		0.0541	-0.4465				
21	0.5960	0.0620	2.7762			-1.7244				
22	0.7047	1.3532	-0.0805		0.2088		1.0872			
400 W - 60 °C										
Model	<i>k</i>	<i>n</i>	<i>a</i>	<i>a</i> ₀	<i>b</i>	<i>c</i>	<i>g</i>	<i>L_k</i>	<i>m</i>	<i>h</i>
1	0.3985									
2	0.0100	1.5264								
3	0.3999	-0.1515	1.1099							
4	0.2418	0.8499								
5	0.8995		1.1099							
6	0.1994		2.2693			-1.2228				
7	0.5979		160.641		-159.6533				0.0997	
8	0.3999		2.0095							
9			0.5920		0.0001					
10			0.6008		-2.9095					
11	0.0993		-55.6366		0.1990					
12	0.4999		202.4545				0.0987			
13	0.0857		2.7925		76.6319	-78.4205	0.1935			0.1918
14			0.2599			2.2275		6.6956		
15	0.3990	1.5264						2.6157		
16	0.3699	-0.7339	0.9800		-0.0270					
17	0.7494	1.5648	0.0134		-0.9800					
18			0.0399		-0.0172					
19	0.1899		0.2690	1.2857						
20	0.0322		-0.0071		1.5469	1.0133				
21	0.6989	0.0557	2.2693			-1.2228				
22	0.3395	1.0908	-0.0726		0.8416		1.0831			

a, *a*₀, *b*, *c*, *g*, *m*, *h* kurutma katsayıları; *t*, kurutma süresi, dk; *n*, kurutma sabiti *k*, özel kurutma sabiti dk⁻¹; *L_k*, materyal kalınlığı (mm).

Çizelge 4.11. 600 W ve 600 W-40 °C’de kurutulan muşmulanın modellenmesinde kullanılan ince tabaka kurutma eşitliklerindeki kurutma sabit ve katsayıları

600 W										
Model	<i>k</i>	<i>n</i>	<i>a</i>	<i>a₀</i>	<i>b</i>	<i>C</i>	<i>g</i>	<i>L_k</i>	<i>m</i>	<i>h</i>
1	0.3306									
2	0.1219	1.5206								
3	0.5799	-0.1880	1.1094							
4	0.4998	-0.5821								
5	0.0273		1.1094							
6	0.3939		2.1946			-1.1486				
7	0.7999		164.9386		-163.9514				0.1078	
8	0.2599		2.0066							
9			-0.0329		0.0002					
10			-11.7102		0.3299					
11	0.1072		0.5899		0.9855					
12	0.2999		182.9641				0.1067			
13	0.0921		2.7221		72.0005	-73.7185	0.2125			0.2106
14			1.1094			0.4499		1.4950		
15	0.8699	1.5206						-5.3539		
16	0.2975	-0.7768	0.9776		-0.0290					
17	0.6959	1.5653	0.0156		-0.9768					
18			0.2787		-0.0183					
19	0.8376		0.2724	1.2882						
20	0.0697		-0.0072		1.6054	1.0125				
21	0.9999	0.1346	2.1946			-1.1486				
22	0.3919	1.0965	-0.0740		0.8548		1.0836			
600 W – 40 °C										
Model	<i>k</i>	<i>n</i>	<i>a</i>	<i>a₀</i>	<i>b</i>	<i>C</i>	<i>g</i>	<i>L_k</i>	<i>m</i>	<i>h</i>
1	0.0256									
2	0.0799	1.4266								
3	0.8939	-0.0476	1.1006							
4	0.9999	-0.3009								
5	0.1964		1.1006							
6	0.5299		1.7389			-0.6938				
7	0.3999		110.7916		-109.7986				0.1132	
8	0.7992		1.9505							
9			0.9995		0.0003					
10			-10.2989		0.6999					
11	0.1124		0.0997		0.9930					
12	0.0099		102.2459				0.1125			
13	0.0890		2.0239		59.3454	-60.3658	0.2429			0.2414
14			1.1006			0.1959		2.0759		
15	0.9999	1.4266						2.0951		
16	0.0144	0.0092	0.9935		0.0005					
17	0.5999	1.4720	0.0218		-0.9718					
18			0.0399		-0.0178					
19	0.3998		0.3788	1.3992						
20	0.0791		-0.0111		1.5172	1.0210				
21	0.8999	0.0244	1.7389			-0.6938				
22	0.9694	1.9866	0.9279		-0.0250		0.0761			

a, a₀, b, c, g, m, h kurutma katsayıları; *t*, kurutma süresi, dk; *n*, kurutma sabiti *k*, özel kurutma sabiti dk⁻¹; *L_k*, materyal kalınlığı (mm).

Çizelge 4.12. 600 W-50 °C ve 600 W-60 °C’de kurutulan muşmulanın modellenmesinde kullanılan ince tabaka kurutma eşitliklerindeki kurutma sabit ve katsayıları

600 W – 50 °C										
Model	<i>k</i>	<i>n</i>	<i>a</i>	<i>a</i> ₀	<i>b</i>	<i>c</i>	<i>g</i>	<i>L_k</i>	<i>m</i>	<i>h</i>
1	0.0077									
2	0.5985	1.4459								
3	0.0899	1.2390	1.0993							
4	0.4999	0.4081								
5	0.0888		1.0993							
6	0.5999		1.8725			-0.8305				
7	0.0991		1.6217		-0.6325				0.2535	
8	0.3919		1.9601							
9			-0.0472		0.0079					
10			-8.3411		0.7399					
11	0.1420		-80.6223		0.4549					
12	0.1379		50.6199				0.1425			
13	0.0624		0.9648		-36.7577	38.7217	0.1181			0.1142
14			1.0993			0.7388		1.8582		
15	0.1012	1.4459						0.8926		
16	0.0198	0.0899	0.9947		-0.0001					
17	0.0199	1.4566	-0.0038		0.5199					
18			0.0433		0.1082					
19	0.1984		0.3440	1.3602						
20	0.0229		-0.0108		1.6965	1.0196				
21	0.1302	0.6293	1.8725			-0.8305				
22	0.0919	1.8661	-0.3451		0.1093		1.3571			
600 W - 60 °C										
Model	<i>k</i>	<i>n</i>	<i>a</i>	<i>a</i> ₀	<i>b</i>	<i>c</i>	<i>g</i>	<i>L_k</i>	<i>m</i>	<i>h</i>
1	0.0594									
2	0.0399	1.4681								
3	0.2996	0.6158	1.0913							
4	0.6999	-0.3641								
5	0.1999		1.0913							
6	0.8999		2.4431			-1.4124				
7	0.3429		48.5282		-47.5405				0.1875	
8	0.9995		1.9630							
9			0.5939		0.0004					
10			0.1909		-1.5325					
11	0.1841		0.7299		0.9958					
12	0.5799		187.099				0.1841			
13	0.1734		3.5074		89.1340	-91.6372	0.3378			0.3347
14			1.0913			0.4839		2.2985		
15	0.0909	1.4681						1.2005		
16	0.0288	0.3097	0.9955		-0.0034					
17	0.2485	1.3887	-0.1029		-1.0984					
18			0.1999		-0.0322					
19	0.2599		0.2918	1.2968						
20	0.0649		-0.0117		1.8621	1.0174				
21	0.5157	0.1244	2.4431			-1.4124				
22	0.0039	2.0468	0.2999		-0.0419		0.0187			

a, *a*₀, *b*, *c*, *g*, *m*, *h* kurutma katsayıları; *t*, kurutma süresi, dk; *n*, kurutma sabiti *k*, özel kurutma sabiti dk⁻¹; *L_k*, materyal kalınlığı (mm).

Farklı kurutma yöntemleri ile kurutulan muşmulanın modellenmesinde kullanılan 22 farklı ince tabaka kurutma eşitliğinde yer alan sabit ve katsayılar Çizelge 4.5 ile Çizelge 4.12 arasında verilmiştir. Gölgede kurutma ve 40 °C’de konveksiyonel kurutmada deneysel verilere en yakın model olan Weibull eşitliği modelinin L_k ve k kurutma sabit ve katsayıları sıcaklığın artması ile artış gösterirken; n katsayısı sıcaklık artışıyla azalma göstermiştir. Alibaş eşitliğinin en iyi model olarak tespit edildiği 200 ve 400 W mikrodalga kurutmada b , g ve k katsayıları, mikrodalga gücünün artmasıyla artmış, buna karşın a ve n katsayıları mikrodalga gücünün artmasıyla azalmıştır. Bununla birlikte, 200 W ve kombinasyonlarının kurutulmasında deneysel verilere en yakın model olan Alibaş eşitliğinin n ve k katsayıları, sıcaklığın artmasıyla artış göstermiştir.

4.2. Toplam Enerji Tüketimi ve Özgül Enerji Tüketimi

Farklı kurutma yöntemlerinin toplam enerji tüketimi (TET) ve özgül enerji tüketimi ($ÖET$) kurutma süresi ve ortalama kuruma hızı değeriyle birlikte Çizelge 4.13’te verilmiştir. Çizelgeye göre, en yüksek enerji tüketiminin kaydedildiği ve en uzun kurutma yöntemi olan 40 °C’de konvektif kurutma sırasında harcanan toplam enerji tüketimi, 0.222 kWh değeri ile en düşük enerji tüketiminin kaydedildiği 600 W-40 °C ve 600 W-50 °C’de kombine kurutma yönteminden yaklaşık 74 kat daha yüksektir. Konvektif kurutma yönteminde toplam kuruma süresinin mikrodalga ve kombine kurutma yöntemine kıyasla oldukça uzun olması, toplam enerji tüketiminin de artmasına neden olmuştur. Bununla birlikte, kombine kurutmada hem konveksiyonel hem de mikrodalga yönteminin etkin olmasına karşın, kurutma süresinin çok kısa olmasından dolayı enerji tüketimi düşüktür.

Diğer taraftan, kurutma süresi uzun olduğundan ve kurutma sırasında rezistans, fan ve magnetron birlikte çalıştığından, 200 W-40 °C’de ölçülen toplam enerji tüketimi, diğer kombine mikrodalga-konvektif kurutma yöntemlerinin tümünden daha yüksektir. Ayrıca, 200 W-40 °C ve 400 W-50 °C’de ölçülen özgül enerji tüketimi değerlerinin aynı olduğu, diğer kombine mikrodalga- konvektif kurutma yöntemlerinin tümünden daha yüksek olduğu belirlenmiştir. Özgül enerji tüketimi açısından en düşük değerler en kısa kurutma yöntemleri olan 600 W’ın 40, 50 ve 60 °C ile olan kombinasyonlarında ölçülmüştür. Herhangi bir enerji tüketimi olmamasına karşın, gölgede kurutma yönteminde muşmulanın kuruma süresinin 15 gün gibi uzun bir zaman diliminde

gerçekleşmesi, bu süre zarfında ürünün mikroküflenmeye neden olacak açık bir alanda kuruması ve 25 °C ve %60-65 nispi nemdeki oda koşullarını sabit tutmak için harcanan enerji masrafları dikkate alındığında, bu yöntemin kurutmaya elverişli olmadığı açıkça görülmektedir.

Ayrıca, konveksiyonel kurutmanın toplam ve özgül enerji tüketim değerleri üzerinde anlamlı bir etkisinin olmadığı, buna karşın mikrodalga kurutma yönteminin her iki parametre üzerinde anlamlı bir etkiye neden olduğu Çizelge 4.13'te görülmektedir. Öte yandan, mikrodalga çıkış gücünün artmasıyla toplam enerji tüketimi de azalmıştır.

Koyuncu ve ark. (2007) muşmulayı 60 °C'de konveksiyonlu kurutma yöntemi ile kurutmuş ve özgül enerji tüketiminin ve toplam enerji tüketiminin çalışmamızda ölçtüğümüz değerlerden sırasıyla 1.38 ve 11 kat daha fazla olduğunu bildirmiştir. Horuz ve ark. (2017) vişneyi 50 ve 60 °C'de konvektif, 120, 150 ve 180 W mikrodalga ve bu iki yöntemi birleştiren kombine mikrodalga-konvektif kurutma yöntemleri ile kurutmuş ve en uzun kurutma süresinin ölçüldüğü 50 °C'de toplam ve özgül enerji tüketiminin diğer kurutma yöntemlerinden yüksek olduğunu, buna karşın kombine kurutmada ise enerji sarfiyatının en düşük düzeyde olduğunu saptamıştır. Aghilinategh ve ark. (2015) elmayı 200 ve 600W'da mikrodalga kurutma yöntemi ile kurutmuş olup mikrodalga çıkış gücünün artması ile özgül enerji tüketiminin azaldığını belirtmiştir. Kowalski ve ark. (2016) çileği 50 °C'de konvektif kurutma yöntemi ile kurutulmasında harcanan toplam ve özgül enerji tüketimi değerlerini bizim çalışmamıza kıyasla sırayla 1.65 ve 1.32 kat daha yüksek ölçmüştür. İzli (2007) mısırı 55 °C'de konveksiyonel kurutma yöntemi ile kurutmuş ve harcanan toplam enerji tüketimini bizim bulgularımızdan 1.68 kat daha yüksek bulmuştur. Özsoy (2015) elmanın mikrodalga çıkış gücünün artırılması ile hem kurutma süresini hem de toplam enerji tüketimin azaldığını vurgulamıştır. Koyuncu ve ark. (2003) kuşburnunu konveksiyonel 50 ve 60 °C'de kurutma yöntemini kullanarak kurutmuş ve özgül enerji tüketimini sırasıyla 32.5 kWh kg⁻¹ ve 17.5 kWh kg⁻¹ olarak ölçmüştür. Söz konusu değerler bulgularımızdan sırasıyla 3.15 ve 2.56 kat daha düşüktür. Ozkan ve ark. (2007) ıspanak yapraklarını 160, 350 ve 650 W'da mikrodalga kurutma yöntemiyle kurutmuş ve toplam enerji tüketimini bulgularımızdan sırayla 2.09, 3.20 ve 2.58 kat daha düşük olarak ölçmüştür.

Çizelge 4.13. Muşmulanın farklı yöntemlerle kurutulması sırasındaki kurutma süresi, ortalama kuruma hızı, toplam enerji tüketimi ve özgül enerji tüketimi

Yöntem	<i>KS</i>	<i>OKH</i>	<i>TET</i>	<i>ÖET</i>
<i>KKE</i>	öd	öd	öd	öd
40 °C	3088.10 ± 1582.81	0.03745 ± 0.00928	4.349 ± 2.106	82.120 ± 39.71
50 °C	908.75 ± 450.91	0.04793 ± 0.01640	1.594 ± 0.677	30.77 ± 12.66
60 °C	352.25 ± 166.03	0.06072 ± 0.01427	0.806 ± 0.273	15.70 ± 5.07
<i>MGE</i>	**	**	**	**
200 W	79.50 ± 5.60 ^a	0.02888 ± 0.00224 ^b	0.375 ± 0.012 ^a	7.08 ± 0.22 ^a
400 W	46.10 ± 2.70 ^b	0.05081 ± 0.00385 ^b	0.312 ± 0.013 ^b	7.13 ± 0.26 ^a
600 W	25.00 ± 1.66 ^c	0.09946 ± 0.01327 ^a	0.245 ± 0.011 ^c	4.63 ± 0.22 ^b
<i>KY</i>	**	**	**	**
Gölge	22500.00 ± 91.22 ^a	0.00009 ± 0.00000 ^h	0.000 ± 0.000 ^h	0.00 ± 0.00 ^h
40 °C	12180.00 ± 83.72 ^b	0.00020 ± 0.00001 ^h	16.443 ± 0.113 ^a	310.22 ± 2.13 ^a
50 °C	3498.00 ± 55.43 ^c	0.00061 ± 0.00002 ^h	5.480 ± 0.087 ^b	103.45 ± 1.64 ^b
60 °C	1305.00 ± 30.60 ^d	0.00182 ± 0.00009 ^{gh}	2.371 ± 0.056 ^c	44.75 ± 1.05 ^c
200 W	100.50 ± 1.15 ^e	0.02100 ± 0.00023 ^{fgh}	0.335 ± 0.004 ^{def}	6.32 ± 0.07 ^{def}
400 W	57.50 ± 1.30 ^e	0.03690 ± 0.00117 ^{efgh}	0.383 ± 0.009 ^{de}	7.23 ± 0.16 ^{de}
600 W	31.00 ± 0.58 ^e	0.07690 ± 0.00124 ^{bcd}	0.310 ± 0.006 ^{efg}	5.85 ± 0.11 ^{efg}
200 W – 40 °C	93.00 ± 1.01 ^e	0.02360 ± 0.00026 ^{fgh}	0.436 ± 0.003 ^d	8.22 ± 0.06 ^d
200 W – 50 °C	71.00 ± 1.15 ^e	0.03070 ± 0.00043 ^{efgh}	0.382 ± 0.004 ^{de}	7.22 ± 0.07 ^{de}
200 W – 60 °C	53.50 ± 0.29 ^e	0.04010 ± 0.00021 ^{defg}	0.347 ± 0.001 ^{de}	6.56 ± 0.02 ^{de}
400 W – 40 °C	50.40 ± 0.23 ^e	0.04170 ± 0.00025 ^{def}	0.294 ± 0.001 ^{efg}	5.85 ± 0.11 ^{efg}
400 W – 50 °C	43.00 ± 0.14 ^e	0.05510 ± 0.00061 ^{cdef}	0.289 ± 0.001 ^{efg}	8.22 ± 0.06 ^d
400 W – 60 °C	33.50 ± 0.23 ^e	0.06960 ± 0.00081 ^{bcde}	0.281 ± 0.001 ^{efg}	7.22 ± 0.07 ^{de}
600 W – 40 °C	29.00 ± 0.43 ^e	0.08430 ± 0.00047 ^{bc}	0.222 ± 0.001 ^g	4.19 ± 0.03 ^g
600 W – 50 °C	23.00 ± 0.58 ^e	0.10500 ± 0.05440 ^{ab}	0.222 ± 0.002 ^g	4.20 ± 0.04 ^g
600 W – 60 °C	17.00 ± 0.14 ^e	0.13100 ± 0.00031 ^a	0.226 ± 0.001 ^{fg}	4.26 ± 0.01 ^{fg}

**p<0.01; sütunlar arası farklılıklar önemlidir. öd, önemli değil.. KKE, konveksiyonlu kurutmanın etkisi; MGE, mikrodalga gücünün etkisi; KY, kurutma yöntemi; *KS*, kuruma süresi (dk); *OKH*, ortalama kuruma hızı (kg_{su} kg_{KM}⁻¹ dk⁻¹); *TET*, toplam enerji tüketimi (kWh); *ÖET*, özgül enerji tüketimi (kWh kg_{su}⁻¹). ±SH

4.3. Renk Parametreleri. Toplam Renk Değişimi ve Kahverengileşme İndeksi

4.3.1. Renk Parametreleri

Taze ve kurutulmuş muşmuların parlaklık (L^*), kırmızılık (a^*), sarılık (b^*), kroma (C), renk açısı (α°), toplam renk değişimi (ΔE), kahverengileşme indeksi (KI) ve beyazlaşma indeksi (BI) Çizelge 4.14'te gösterilmiştir. Çizelgeye göre, taze ürüne en yakın parlaklık 400W-40 °C'de ölçülürken, 50 ve 60 °C'de parlaklığın azaldığı görülmektedir.

Öte yandan, 400 W-40 °C'de kombine kurutmada muşmuların kırmızılık değerinin tazeye oranla arttığı, yani üründe kurutma ile oksitlenmeye bağlı kızarıklığın oluştuğu tespit edilmiştir. Buna karşın 200 W-60 °C, 50, 60 °C ve gölgede kurutulan muşmuların kırmızılık değerinin ise tazeye oranla belirgin biçimde azaldığı belirlenmiştir. Tazeye en yakın kırmızılık ise 400 W-40 °C ve 600 W-50 °C'de yönteminde ölçülmüştür.

Taze ürüne en yakın sarılık 600 W-50 °C'de okunmuş olup bunu 400 W-40 °C'de kurutulan örneklerin izlediği görülmüştür. Konveksiyonel, gölgede ve 200 W-60 °C'de kombine kurutma yöntemleri başta olmak üzere, diğer kurutma yöntemlerinin tümünde taze örneklerle kıyasla muşmuların hakim rengini veren sarılık değeri, büyük oranda azalmıştır.

Taze ürüne en yakın kroma 600 W-50 °C ve 400 W-40 °C'de ölçülmüş olup, bunu 600 W'da mikrodalga kurutma ve 600 W-40 °C ve 600 W-60 °C'de kombine kurutma yöntemleri izlemiştir. Buna karşın, en düşük kroma ise 200 W-60 °C, 50 ve 60 °C'de okunmuş, yani söz konusu yöntemlerle kurutulan ürünlerin rengine büyük ölçüde opaklık saptanmıştır. Bununla birlikte, 200 W-60 °C'de kurutulan ürünlerin kromasının, 600 W-50 °C'de kurutulanlardan %63.96 oranında daha düşük olduğu tespit edilmiştir.

Taze ürüne en yakın renk açısı 600 W-50 °C'de kurutulmuş örneklerde belirlenmiş olup, bunu 400 W-50 °C ve 600 W izlemiştir. Taze ürünle karşılaştırıldığında renk açısı bakımından en düşük değerler 40 °C'de konvektif kurutma yönteminde saptanmış olup, bu yöntemle kurutulan örneklerin renk açısının tazeye kıyasla %65.52 oranında daha düşük olduğu belirlenmiştir.

Tüm renk parametreleri açısından taze ürüne en yakın kurutma yöntemlerinin 600 W-50 °C ve 400 W-40 °C olduğu belirlenirken, en uzun kurutma süresine sahip olan

gölgede ve konvektif kurutma yöntemlerinin renk parametrelerinde en fazla kayba neden olduğu tespit edilmiştir. Konvektif kurutma yönteminde uzun kurutma süresi boyunca uygulanan kurutma sıcaklığı ve hava akımına maruz kalan üründe oksidasyon artmış ve böylece yüksek oranda renk kaybı oluşmuştur. Bununla birlikte, gölgede kurutma yönteminde ürünün 15 gün boyunca hava ile doğrudan temasından dolayı oksitlenme meydana gelmiş, bu da renkteki kayıpların en önemli sebebi olarak görülmüştür (Alibas ve ark., 2021).

Suna (2019) tarafından yapılan bir çalışmada, muşmula 60 °C’de konvektif ve 180 W’da mikrodalga kurutma yöntemiyle kurutulmuş ve her iki yöntemle kurutulan örneklerdeki L^* , a^* , b^* ve C^* ’nin bulgularımızla örtüştüğü saptanmıştır. Ayrıca çalışmada, mikrodalga kurutma yöntemiyle kurutulan örneklerin konvektif kurutulanlara kıyasla taze ürüne daha yakın olduğu belirtilmiştir. Seerangurayar ve ark. (2019) tarafından yürütülen bir çalışmada, hurma 49 °C’de konvektif kurutma yöntemiyle kurutulmuş ve kurutulan ürünlerin L^* ve b^* değerlerinin bulgularımıza benzer olarak renk pigmentlerindeki bozulma ve enzimatik reaksiyonlar sebebiyle belirgin biçimde azaldığı tespit edilmiştir. Raza ve ark. (2019) hurma çeşitlerini 60 °C’de konveksiyonel kurutma yöntemiyle kurutmuş ve *rabi* çeşidinde b^* ’nin bulgularımıza oranla 1.82 kat yüksek olduğunu saptamıştır. Ayrıca çalışmada, ürünün yüksek kurutma sıcaklığına uzun süre maruz kalması nedeniyle koyulaşmanın arttığı vurgulanmıştır. Krokida ve ark. (2001) elma, muz, patates ve havucu kuruttuğu bir çalışmada, konvektif kurutulan örneklerdeki L^* değerinin mikrodalga kurutulan örneklere kıyasla arttığını, bir başka deyişle ürünün karardığını belirtmiştir. Coklar ve ark. (2018) konvektif kurutma yönteminin yüksek oranda renk kaybına neden olduğunu bildirmiştir.

4.3.2. Toplam Renk Değişimi, Kahverengileşme ve Beyazlaşma İndeksi

Çizelge 4.14’e göre, kurutulan örneklerde en düşük renk değişiminin 600 W-50 °C ve 400 W-40 °C’de kombine kurutma yönteminde tespit edildiği, buna karşın en fazla renk değişiminin ise konvektif kurutma yöntemlerinde ve gölgede kurutmada gerçekleştiği görülmüştür. Diğer taraftan, 600 W, 400 W-50 °C, 400 W-60 °C ve 600 W-40 °C ve 600 W-60 °C’de kombine kurutma yöntemlerinde, diğer yöntemlerle kıyasla daha düşük oranda renk değişimleri kaydedilmiştir. Kombine kurutmada 600 W-50 °C’de kurutulan

örneklerdeki renk değişiminin, 50 °C’de kurutmaya kıyasla 2.95 kat daha düşük olduğu saptanmıştır. Konvektif kurutmada 50 °C sıcaklıktaki renk değişiminin 40 °C’ye göre sadece %7 oranında yüksek olduğu görülmüştür. Horuz ve ark. (2017) vişneyi mikrodalga, konvektif ve kombine kurutma yöntemleri ile kurutmuş ve en düşük toplam renk değişiminin kombine kurutma yönteminde gerçekleştiğini tespit etmiştir. Benzer şekilde, İncedayi ve ark. (2016) tarafından yürütülen bir çalışmada, mikrodalga ve konveksiyonel kurutmaya kıyasla en düşük toplam renk değişimi, kombine mikrodalga-konvektif kurutma yönteminde belirlemiştir. Ong ve Law (2011) yılan (*Salacca zalacca*) meyvesinin 40 ve 50 °C’deki toplam renk değişiminin benzer olduğunu vurgulamıştır.

Sarı-kahverengi tonlarda bir renge sahip olan taze muşmulanın kahverengileşme indeksi (KI) tüm kurutma yöntemlerinde ölçülen değerlerden yüksektir. Dolayısıyla muşmula için kahverengileşme indeksindeki azalma renk değişimini olumsuz yönde etkilemektedir. Taze ürüne en yakın KI 600 W-50 °C’de kombine kurutma yönteminde saptanmıştır. En düşük kahverengileşme indeksi, yani en fazla renk açılması, uzun kurutma süresi boyunca ürünün düşük dozda da olsa hem mikrodalga enerjisine hem de sıcaklık ve hava akımına maruz kalmasından dolayı, 200 W-60 °C başta olmak üzere 200 W’ın kombinasyonlarında meydana gelmiştir. Kahverengileşme indeksi bakımından en ideal kurutma yöntemi olan 600 W-50 °C’de tespit edilen kahverengileşme indeksi en fazla renk açılmasının kaydedildiği 200 W-60 °C’ye kıyasla 1.61 kat yüksektir. Polatçı ve Tarhan (2009) fesleğeni mikrodalga kurutma yöntemiyle kuruttuğu bir çalışmada, mikrodalga gücünün artması ile kahverengileşme indeksinin azaldığını saptamıştır. Coklar ve ark. (2018) tarafından yürütülen bir çalışmada, taze ürüne en yakın kahverengileşme indeksinin kombine mikrodalga-konveksiyonel kurutma yöntemi olduğu belirtilmiştir.

En yüksek beyazlaşma indeksinin (BI), 400 W-40 °C, 400 W-50 °C ve 600 W-40 °C’de kurutulmuş ürünlerde meydana geldiği tespit edilmiştir. Buna karşın, en düşük beyazlaşma indeksi, diğer bir ifade ile en fazla esmerleşme ise 50 °C başta olmak üzere konveksiyonel ve gölgede kurutma yöntemlerinde kaydedilmiştir. Ürünün çok uzun süre hava akımına ve sıcaklığa maruz kalması konveksiyonel kurutmada kaydedilen yüksek esmerleşmenin, yani düşük beyazlaşma indeksinin nedenidir. Öte yandan,

gölgede kurutma 15 gün gibi çok uzun bir sürede tamamlanmış, bunun neticesinde ürün dış ortamda sürekli olarak havayla temas etmiş ve artan oksitlenmeden kaynaklı Maillard ve enzimatik reaksiyonlardan dolayı üründe esmerleşme meydana gelmiştir. Çakmak ve ark. (2016) konveksiyonel kurutma yöntemi ile kurutulmuş dağ çileğinin beyazlaşma indeksinin dondurarak kurutma yöntemine kıyasla daha düşük olduğunu tespit etmiştir. Yılmaz ve Alibas (2021) reyhan yapraklarını 50 °C’de konvektif ve 200, 600 ve 1000 W’da mikrodalga kurutma yöntemi ile kurutmuş, 50 °C, 200 ve 600 W’da beyazlaşma indeksinde azalma olduğu gözlenmiştir.

Çizelge 4.14 incelendiğinde, konveksiyonel kurutmanın, kırmızılık (a^*) ve renk açısı (α°) üzerinde istatistiksel olarak önemli olduğu, ancak diğer renk parametreleri üzerinde herhangi bir etkisinin olmadığı görülmüştür. Ayrıca, konveksiyonel kurutma sıcaklığının artması ile kırmızılık (a^*) azalmıştır. Mikrodalga kurutma yönteminin beyazlaşma indeksi hariç diğer tüm renk parametreleri üzerinde istatistiksel olarak anlamlı bir etkisinin olduğu görülmektedir. Ayrıca mikrodalga çıkış gücünün artmasıyla L^* , a^* , b^* , C , α° ve KI artarken, ΔE ise azalmıştır.

Çizelge 4.14. Taze ve kurutulmuş muşmuların renk parametreleri, toplam renk değişimi, kahverengileşme ve beyazlaşma indeksi

	<i>L*</i>	<i>a*</i>	<i>b*</i>	<i>C</i>	α°	ΔE	<i>KI</i>	<i>BI</i>
KKE	öd	**	öd	öd	*	öd	öd	öd
40 °C	38.21 ± 1.16	19.45 ± 0.47 ^a	19.49 ± 0.89	27.64 ± 0.87	44.56 ± 1.09 ^b	18.85 ± 1.39	105.43 ± 2.40	32.07 ± 0.80
50 °C	36.84 ± 1.34	17.50 ± 0.46 ^b	19.88 ± 0.94	26.54 ± 0.97	48.12 ± 0.82 ^a	19.51 ± 1.57	109.93 ± 3.26	31.19 ± 0.99
60 °C	36.00 ± 1.09	17.06 ± 0.45 ^b	17.95 ± 0.82	24.82 ± 0.87	45.97 ± 0.83 ^{ab}	21.51 ± 1.31	101.85 ± 3.32	31.15 ± 0.84
MGE	**	**	**	**	**	**	**	öd
200 W	32.70 ± 0.34 ^b	16.96 ± 0.46 ^b	17.08 ± 0.43 ^c	24.13 ± 0.54 ^c	45.22 ± 0.78 ^b	21.49 ± 0.68 ^a	93.01 ± 2.41 ^c	32.68 ± 0.34
400 W	40.23 ± 0.67 ^a	19.18 ± 0.46 ^a	20.78 ± 0.62 ^b	28.34 ± 0.68 ^b	47.17 ± 0.79 ^b	16.63 ± 0.89 ^b	104.54 ± 1.99 ^b	33.72 ± 0.40
600 W	40.67 ± 0.48 ^a	19.34 ± 0.28 ^a	23.02 ± 0.58 ^a	30.10 ± 0.57 ^a	49.80 ± 0.58 ^a	14.36 ± 0.75 ^c	114.56 ± 2.62 ^a	33.40 ± 0.37
KY	**	**	**	**	**	**	**	**
Taze	48.40 ± 0.61 ^a	20.17 ± 0.17 ^{bc}	33.93 ± 0.73 ^a	40.34 ± 0.67 ^a	59.97 ± 0.51 ^a	0.00 ± 0.00 ^f	145.70 ± 3.56 ^a	34.48 ± 0.47 ^{abc}
Gölge	28.65 ± 0.66 ^{hi}	16.88 ± 0.87 ^{gh}	14.60 ± 0.31 ^g	22.35 ± 0.77 ^{gh}	41.03 ± 1.31 ^h	26.65 ± 0.82 ^a	111.08 ± 5.61 ^{cde}	25.22 ± 0.83 ^g
40 °C	29.93 ± 0.52 ^h	18.92 ± 0.68 ^{cd}	13.92 ± 0.77 ^g	23.49 ± 1.00 ^{fg}	36.23 ± 0.55 ⁱ	28.08 ± 1.08 ^a	105.24 ± 5.47 ^{defgh}	26.07 ± 0.49 ^g
50 °C	26.53 ± 0.19 ^j	15.43 ± 0.53 ^{hi}	14.92 ± 0.37 ^g	21.48 ± 0.55 ^h	44.07 ± 0.89 ^{fgh}	30.05 ± 0.79 ^a	120.30 ± 3.42 ^{bc}	23.45 ± 0.18 ^h
60 °C	27.50 ± 0.26 ^{ij}	15.78 ± 0.38 ^{ghi}	14.20 ± 0.64 ^g	21.24 ± 0.70 ^h	41.87 ± 0.73 ^{gh}	29.80 ± 0.50 ^a	110.80 ± 4.01 ^{cde}	24.43 ± 0.09 ^{gh}
200 W	37.57 ± 0.96 ^{fg}	19.02 ± 0.99 ^{cd}	18.60 ± 0.84 ^{ef}	26.69 ± 0.86 ^{de}	44.44 ± 2.11 ^{efg}	19.80 ± 1.73 ^c	102.63 ± 3.52 ^{efgh}	32.07 ± 0.87 ^{ef}
400 W	36.15 ± 0.80 ^g	18.58 ± 0.57 ^{de}	16.88 ± 0.60 ^f	25.17 ± 0.26 ^{ef}	42.26 ± 1.79 ^{gh}	21.95 ± 1.00 ^{bc}	98.59 ± 4.07 ^{fgh}	31.36 ± 0.71 ^f
600 W	38.43 ± 0.55 ^{ef}	18.45 ± 0.40 ^{def}	21.80 ± 0.99 ^d	28.58 ± 0.96 ^c	49.64 ± 0.93 ^{bc}	16.62 ± 1.29 ^d	114.71 ± 4.09 ^{cd}	32.08 ± 0.26 ^{ef}
200 W – 40 °C	37.48 ± 0.47 ^{fg}	17.18 ± 0.70 ^{efg}	17.85 ± 0.43 ^f	24.80 ± 0.64 ^{ef}	46.16 ± 1.19 ^{def}	20.62 ± 1.05 ^c	96.06 ± 3.29 ^{gh}	32.73 ± 0.58 ^{def}
200 W – 50 °C	37.32 ± 0.68 ^{fg}	16.92 ± 0.42 ^{fgh}	17.58 ± 0.38 ^f	24.42 ± 0.32 ^f	46.12 ± 1.09 ^{def}	20.98 ± 0.87 ^c	94.96 ± 3.05 ^h	32.73 ± 0.73 ^{def}
200 W – 60 °C	36.43 ± 0.59 ^g	14.73 ± 0.59 ⁱ	14.30 ± 0.50 ^g	20.59 ± 0.39 ^h	44.19 ± 1.87 ^{efgh}	24.57 ± 0.96 ^b	78.41 ± 3.24 ⁱ	33.18 ± 0.64 ^{cde}
400 W – 40 °C	44.25 ± 0.53 ^b	22.43 ± 0.42 ^a	24.38 ± 0.61 ^c	33.14 ± 0.67 ^b	47.36 ± 0.56 ^{cde}	11.66 ± 0.96 ^e	113.30 ± 2.77 ^{cde}	35.12 ± 0.35 ^a
400 W – 50 °C	40.67 ± 0.58 ^d	16.93 ± 0.28 ^{fgh}	20.40 ± 0.47 ^{de}	26.52 ± 0.47 ^e	50.28 ± 0.62 ^{bc}	16.82 ± 0.90 ^d	97.85 ± 2.61 ^{fgh}	35.00 ± 0.53 ^{ab}
400 W – 60 °C	39.85 ± 0.57 ^{de}	18.78 ± 0.32 ^{cd}	21.45 ± 0.66 ^d	28.52 ± 0.65 ^{cd}	48.75 ± 0.68 ^{cd}	16.09 ± 1.14 ^d	108.40 ± 2.54 ^{def}	33.41 ± 0.37 ^{bcde}
600 W – 40 °C	41.18 ± 0.97 ^{cd}	19.25 ± 0.33 ^{bcd}	21.82 ± 0.88 ^d	29.12 ± 0.81 ^c	48.47 ± 0.98 ^{cd}	15.05 ± 1.15 ^d	107.11 ± 5.23 ^{defg}	34.35 ± 0.98 ^{abcd}
600 W – 50 °C	42.83 ± 0.84 ^{bc}	20.70 ± 0.52 ^b	26.60 ± 0.78 ^b	33.76 ± 0.45 ^b	52.05 ± 1.40 ^b	10.18 ± 1.35 ^e	126.62 ± 4.01 ^b	33.60 ± 0.71 ^{abcde}
600 W – 60 °C	40.22 ± 0.57 ^{de}	18.95 ± 0.58 ^{cd}	21.85 ± 0.66 ^d	28.94 ± 0.74 ^c	49.06 ± 0.94 ^{bcd}	15.59 ± 0.76 ^d	109.78 ± 4.63 ^{cde}	33.56 ± 0.66 ^{abcde}

p<0.01; *p<0.05; sütunlar arası farklılıklar önemlidir, öd, önemli değil. KKE, konveksiyonlu kurutmanın etkisi; MGE, mikrodalga gücünün etkisi; KY, kurutma yöntemi; *L, parlaklık/koyuluk; *a**, kırmızılık/yeşillik; *b**, sarılık/mavilik; *C*, kroma; α° , renk açısı; ΔE , toplam renk değişimi; *KI*, kahverengileşme indeksi; *BI*, beyazlaşma indeksi, ±SH

4.4. Protein İçeriği ve Makro-Mikro Besin Elementi Konsantrasyonu

Taze ve kurutulmuş muşmulanın protein içeriği ve makro besin elementleri izelge 4.15'te; mikro besin elementleri ise izelge 4.16'da gösterilmiştir. Taze ürüne en yakın protein içeriği 400 W'da mikrodalga kurutma yönteminde ölçülmüş olup, bunu sırasıyla 200 W-50 C ve 400 W-50 C izlemiştir. Taze ürüne kıyasla söz konusu kurutma yöntemleri ile kurutulmuş ürünlerin protein içeriğinin sırasıyla 1.04, 1.13 ve 1.16 kat daha düşük olduğu görülmektedir. Diğer yandan, 60 C'de protein içeriğinde, en fazla kaybın elde edildiği tespit edilmiştir. Buna karşın, taze ürünle karşılaştırıldığında 60 C'de elde edilen protein içeriğinin 2.86 kat daha az olduğu belirlenmiştir.

Fosfor (P) ve potasyum (K) bakımından taze üründen sonraki en yüksek sonuçların 600 W-60 C'de ölçüldüğü tespit edilirken, en yüksek magnezyum (Mg) ve kalsiyum (Ca) konsantrasyonları ise sırasıyla 400 W-40 C ve 600 W'da kurutulmuş ürünlerde elde edilmiştir. Diğer yandan, gölgede kurutma, 400 W ve 200 W-60 C'de P ve 60 C'de konvektif ve gölgede kurutma ise K konsantrasyonlarında önemli bir azalmaya neden olurken, 200 W-50 C'de kombine kurutma yöntemi ise Ca ve Mg'nin yüksek oranda kaybı ile sonuçlanmıştır. Gölgede kurutma yönteminde llen P konsantrasyonu taze ürüne kıyasla sırasıyla 2.11 kat daha düşüktür. Buna karşın, 600W-60 C'de llen P konsantrasyonun taze ürüne kıyasla 1.12 kat daha düşük olduğu belirlenmiştir. Taze ürünle karşılaştırıldığında, 600 W-60 C'de kombine kurutma ile K içeriğinin %15.65 oranında azaldığı grlmştir. Buna karşın, 600 W-60 C'de llen K konsantrasyonu, gölgede ve 60 C'de ölçülen konsantrasyonlardan sırasıyla %95.70 ve %96.22 oranında düşüktür. Bununla birlikte 600 W'da kaydedilen Ca içeriğinin tazeye kıyasla %8.48 oranında azaldığı, buna karşın 200 W-50 C'ye göre 2.46 kat arttığı grlmştir. Taze ürünle kıyaslandığında, 400 W-40 C'de kombine kurutmanın, Mg konsantrasyonunda %15.26'lık bir azalmaya neden olduğu anlaşılmaktadır. Ayrıca, 400 W-40 C'de llen Mg içeriği 200 W-50 C'ye kıyasla 2.25 kat daha yüksek olduğu tespit edilmiştir.

Çizelge 4.15 incelendiğinde, konveksiyonel kurutmanın protein, fosfor, kalsiyum ve magnezyum içeriği üzerinde istatistiksel olarak anlamlı bir etkisinin olmadığı, ancak potasyum içeriği üzerindeki etkisinin önemli olduğu görülmektedir. Mikrodalga kurutma ise, protein, P ve K üzerinde istatistiksel olarak anlamlı bir etkiye sahip olduğu,

buna karşın *Ca* ve *Mg* üzerinde her hangi bir etkisinin olmadığı tespit edilmiştir. Diğer yandan, *Ca* , *P* ve *Mg*'nin artan mikrodalga çıkış gücüyle artmıştır.

Çizelge 4.16'ya göre, sodyum (*Na*) ve bakır (*Cu*) açısından taze ürüne en yakın sonuçlar 600 W-60 °C'de kombine kurutmada elde edilirken, demir (*Fe*), manganez (*Mn*) ve çinko (*Zn*) için en iyi sonuçlar sırasıyla 200 W, 400 W-40 °C ve 600 W-40 °C'de bulunmuştur. Sodyum, bakır, manganez ve çinko açısından en fazla kaybın gölgede kurutmada ölçüldüğü görülmüştür. Bununla birlikte 200 W-50 °C'de kombine kurutma *Fe* içeriğinin yüksek oranda azalmasıyla sonuçlanmıştır. Taze ürünle kıyaslandığında 600 W-60 °C'de kurutulmuş numunelerin *Na* içeriğinin %52.02 oranında azaldığı, buna karşın gölgede kurutma yöntemine göre %91.46 oranında arttığı kaydedilmiştir. Ayrıca, 200 W'da ölçülen *Fe* konsantrasyonunun 200W-50 °C'ye kıyasla 2.71 kat yüksek olduğu görülmüştür. En yüksek konsantrasyonun ölçüldüğü 600 W-60 °C'de kombine kurutmada ölçülen *Cu*'nun taze ürüne kıyasla 1.14 kat düşük, buna karşın gölgede kurutmaya nazaran 2.46 kat yüksek olduğu belirlenmiştir. Taze ürüne kıyasla 400 W-40 °C'de *Mn* konsantrasyonunun sadece 1.14 kat azaldığı kaydedilirken, gölgede kurutmada ise bu oran 2.97 kata yükselmiştir. Çinko içeriği ise 600 W-40 °C kombine kurutmada, tazeye kıyasla 1.39 kat azalırken, gölgede kurutmaya kıyasla 1.69 kat artmıştır.

Diğer taraftan, konveksiyonel kurutma yönteminin mikro besin elementlerine etkisinin önemsiz olduğu Çizelge 4.16'da görülmektedir. Buna karşın, mikrodalga kurutma yöntemi ise *Na*, *Cu* ve *Zn* üzerinde istatistiksel olarak önemli bir farka neden olduğu ve *Cu* ve *Zn*'nin artan mikrodalga çıkış gücü ile arttığı tespit edilmiştir.

Haciseferoğulları ve ark. (2005) tarafından yürütülen bir çalışmada, taze muşmulanın *Ca*, *Fe*, *K*, *P* ve *Zn* içeriği ölçülmüştür. Söz konusu çalışmada ölçülen *K* içeriği bulgularımızla örtüşmekte olup, *Ca* ve *Fe* içeriği ise sırasıyla bulgularımızdan 2.64 ve 2.10 kat daha yüksektir. Buna karşın, *P* ve *Zn* içeriği ise bulgularımızdan sırasıyla 2.44 ve 1.74 kat daha düşük olduğu tespit edilmiştir. Pető ve ark. (2016) yürüttükleri bir çalışmada, 70 °C'de konvektif kurutma ile kurutulan muşmulanın *P*, *K*, *Ca*, *Mg* ve *Na* içeriği incelenmiş ve *P*, *K*, *Fe* ve *Mn* içeriğinin bulgularımızla benzer olduğu görülmüştür. Bununla birlikte, *Na* konsantrasyonu çalışmamızda tespit edilenden 4.02 kat düşüktür. Özcan ve Uslu (2017) guavanın *Ca* ve *Mg* içeriğinin 540 W'da

mikrodalga kurutma yönteminde, 70 °C’de konvektif kurutmaya kıyasla daha yüksek olduğunu vurgulamıştır. Yılmaz ve Alibas (2021) reyhan yapraklarını doğal, 50 °C’de konvektif, 200, 600 ve 1000 W’da mikrodalga kurutma ile kurutmuş, taze ürüne yakın toplam protein içeriğini 50 °C’de konvektif kurutma yönteminde ölçmüştür. Ayrıca çalışmada doğal kurutmanın *Zn* ve *Cu* içeriğini olumsuz yönde etkilediği vurgulanmıştır. Danso-Boateng (2013) fesleğen yapraklarını 360 W’da mikrodalga, 100 °C’de konvektif ve doğal kurutma ile kurutmuş ve taze üründen sonra en yüksek toplam protein ve *Fe* içeriğinin mikrodalga kurutma tekniğinde ölçüldüğünü belirtmiştir. Arslan ve Özcan (2011) domates dilimlerini güneşte, 50 ve 70 °C’de konvektif ve 210 ve 700 W’da mikrodalga kurutma yöntemleri ile kurutmuş ve *K* içeriğinin 700 W mikrodalga kurutmada, konvektif kurutmaya oranla daha yüksek olduğunu tespit etmiştir. Orak ve ark. (2012) dağ çileğini kuruttukları bir çalışmada, 65 °C’de kurutulan numunelerde ölçülen *Zn*, *Cu*, *Fe*, *Ca*, *K*, *P*, *Mg* içeriğinin dondurarak kurutma yönteminden düşük olduğunu vurgulamıştır. Alibas ve ark. (2020) elma kabuklarını 400, 600, 800 ve 1000 W’da mikrodalga kurutma ile kurutmuş, *Mg* ve *Ca* içeriğinin, mikrodalga kurutma yönteminde yüksek değerler aldığını gözlemlemiştir. Juhaimi ve ark. (2017) 360, 540 ve 720 W’ta mikrodalga kurutma ve 70, 90 ve 110 °C’de konvektif kurutma kurutulmuş cennet hurmasının *Fe* içeriğinin, mikrodalga güç seviyelerinin artmasıyla azaldığını belirtmiştir. Özcan ve ark. (2005) fesleğen yapraklarını güneşte ve 50 °C’de konvektif kurutma yöntemleriyle kurutmuş ve *Ca*, *Fe*, *Mn*, *Na* ve *Zn* konsantrasyonlarının güneşte kurutma yönteminden olumsuz etkilendiğini tespit etmiştir. Chauhan ve ark. (2015) bir erik çeşidi olan karondayı güneşte, -20°C’de dondurarak ve 800 W’da mikrodalga kurutma yöntemleri ile kurutmuş ve taze ürüne yakın protein, *Ca* ve *Fe* içeriğinin mikrodalga kurutma yönteminde ölçüldüğünü vurgulamıştır. Shonte ve ark. (2020) 70 °C’de konvektif kurutma ile kurutulan ısırgan yapraklarının *Ca*, *Fe*, *Mg*, *Mn*, *P* ve *K* içeriğinin -40 °C’de dondurarak kurutma yöntemine kıyasla azaldığını belirtmiştir. Shivanna ve Subban (2014) 595 W’da kurutulan köri yapraklarının *Mg*, *K* ve *Zn* konsantrasyonunun 50 °C’de konvektif kurutmaya göre daha yüksek olduğu saptamıştır. Arslan ve ark. (2010) 50 °C’de kurutulan nane yapraklarının *P* içeriğinin 700 W’da mikrodalgada kurutulan yapraklardan daha yüksek olduğu tespit etmiştir. Akani ve ark. (2017) 60 °C’de kurutulan *Vernonia amygdalina* yapraklarının *Cu*, *Na*, *P* ve *Mg* konsantrasyonunun güneşte kurutulanlara göre daha yüksek olduğunu belirtmiştir.

Çizelge 4.15. Taze ve kurutulmuş muşmulanın makro besin elementleri

	<i>TP</i> <i>mg kg⁻¹(kb)</i>	<i>P</i> <i>mg kg⁻¹(kb)</i>	<i>K</i> <i>mg kg⁻¹(kb)</i>	<i>Ca</i> <i>mg kg⁻¹(kb)</i>	<i>Mg</i> <i>mg kg⁻¹(kb)</i>
KKE	öd	öd	**	öd	öd
40 °C	17765.63 ± 931.93	545.92 ± 13.39	5545.20 ± 132.88 ^a	1397.59 ± 90.98	491.28 ± 39.56
50 °C	21583.33 ± 457.49	477.60 ± 7.01	4932.60 ± 155.24 ^b	1097.67 ± 59.34	374.18 ± 18.04
60 °C	13093.75 ± 779.28	530.62 ± 40.57	5043.62 ± 365.20 ^c	1404.89 ± 51.70	453.75 ± 21.96
MGE	*	**	**	öd	öd
200 W	18781.25 ± 1121.22 ^{ab}	443.69 ± 11.97 ^b	4837.09 ± 187.38 ^b	1239.08 ± 91.40	406.19 ± 27.00
400 W	21421.88 ± 1006.70 ^a	480.93 ± 22.91 ^b	4769.13 ± 61.42 ^b	1312.60 ± 100.10	434.05 ± 47.43
600 W	17317.71 ± 1106.29 ^b	574.26 ± 32.72 ^a	5928.37 ± 181.80 ^a	1509.41 ± 114.16	454.06 ± 10.91
KY	**	**	**	**	**
Taze	26239.58 ± 413.14 ^a	842.36 ± 15.63 ^a	7967.76 ± 36.46 ^a	2331.63 ± 14.76 ^a	812.40 ± 11.61 ^a
Gölge	15479.17 ± 379.03 ^h	398.98 ± 5.39 ^g	3520.40 ± 32.40 ^j	1377.90 ± 18.82 ^g	328.50 ± 6.01 ^{hi}
40 °C	16875.00 ± 252.59 ^g	505.91 ± 5.45 ^{de}	5683.79 ± 85.66 ^{cd}	1310.89 ± 6.09 ^h	453.83 ± 9.54 ^e
50 °C	20041.67 ± 415.10 ^{ef}	493.79 ± 3.38 ^e	5533.80 ± 56.89 ^d	1369.73 ± 16.75 ^g	459.42 ± 6.17 ^e
60 °C	9166.67 ± 162.71 ^j	527.42 ± 9.19 ^d	3511.13 ± 75.37 ^j	1541.46 ± 9.58 ^e	460.61 ± 5.85 ^e
200 W	19708.33 ± 327.42 ^{ef}	424.50 ± 9.53 ^{fg}	4542.18 ± 97.51 ^h	1467.66 ± 19.77 ^f	414.02 ± 7.23 ^f
400 W	25145.83 ± 110.24 ^b	399.33 ± 15.49 ^g	4511.87 ± 92.29 ^h	1248.78 ± 16.61 ⁱ	363.22 ± 8.86 ^g
600 W	21541.67 ± 234.78 ^d	482.23 ± 12.19 ^e	5727.34 ± 11.62 ^c	2149.38 ± 20.06 ^b	496.97 ± 3.83 ^d
200 W – 40 °C	19187.50 ± 580.72 ^f	504.23 ± 9.24 ^{de}	5840.97 ± 29.15 ^c	1014.83 ± 13.16 ^k	349.75 ± 7.58 ^g
200 W – 50 °C	23187.50 ± 661.44 ^c	444.24 ± 6.87 ^f	4209.31 ± 92.89 ⁱ	874.07 ± 14.62 ^m	313.67 ± 7.06 ⁱ
200 W – 60 °C	13041.67 ± 289.43 ⁱ	401.78 ± 5.82 ^g	4755.91 ± 75.77 ^g	1599.74 ± 8.87 ^d	547.31 ± 4.09 ^c
400 W – 40 °C	21625.00 ± 360.84 ^d	600.16 ± 5.76 ^c	4801.63 ± 40.70 ^g	1853.97 ± 14.02 ^c	704.88 ± 8.72 ^b
400 W – 50 °C	22770.83 ± 104.17 ^c	480.51 ± 11.29 ^e	4745.16 ± 75.12 ^g	956.04 ± 7.10 ^l	323.80 ± 3.17 ^{hi}
400 W – 60 °C	16145.83 ± 599.84 ^{gh}	443.73 ± 3.64 ^f	5017.85 ± 48.24 ^f	1191.61 ± 21.17 ^j	344.30 ± 5.62 ^{gh}
600 W – 40 °C	13375.00 ± 286.41 ⁱ	573.37 ± 16.67 ^c	5854.41 ± 31.85 ^c	1410.67 ± 21.36 ^g	456.66 ± 8.86 ^e
600 W – 50 °C	20333.33 ± 150.23 ^e	491.86 ± 10.08 ^e	5242.14 ± 70.03 ^e	1190.82 ± 23.23 ^j	399.83 ± 1.09 ^f
600 W – 60 °C	14020.83 ± 300.46 ⁱ	749.56 ± 5.37 ^b	6889.59 ± 26.37 ^b	1286.76 ± 12.02 ^{hi}	462.77 ± 9.63 ^e

**p<0.01; *p<0.05; sütunlar arası farklılıklar önemlidir, öd, önemli değil. KKE, konveksiyonlu kurutmanın etkisi; MGE, mikrodalga gücünün etkisi; KY, kurutma yöntemi; TP, toplam protein; P, fosfor; K, potasyum; Ca, kalsiyum; Mg, magnezyum. ±Standart hata; kb, kuru baz.

Çizelge 4.16. Taze ve kurutulmuş muşmulanın mikro besin elementleri

	<i>Na</i> <i>mg kg⁻¹(kb)</i>	<i>Fe</i> <i>mg kg⁻¹(kb)</i>	<i>Cu</i> <i>mg kg⁻¹(kb)</i>	<i>Mn</i> <i>mg kg⁻¹(kb)</i>	<i>Zn</i> <i>mg kg⁻¹(kb)</i>
KKE	öd	öd	öd	öd	öd
40 °C	232.41 ± 4.52	15.50 ± 1.22	4.37 ± 0.20	2.47 ± 0.20	4.23 ± 0.21
50 °C	221.44 ± 11.64	11.62 ± 0.82	4.20 ± 0.19	1.89 ± 0.05	3.41 ± 0.15
60 °C	228.42 ± 12.83	17.90 ± 0.35	3.91 ± 0.34	2.54 ± 0.09	3.68 ± 0.13
MGE	**	öd	**	öd	*
200 W	214.02 ± 5.43 ^b	17.42 ± 1.68	3.54 ± 0.11 ^b	2.27 ± 0.18	3.52 ± 0.16 ^b
400 W	198.88 ± 7.50 ^b	16.18 ± 0.65	3.83 ± 0.09 ^b	2.45 ± 0.18	3.93 ± 0.20 ^{ab}
600 W	264.65 ± 5.78 ^a	14.92 ± 0.69	5.06 ± 0.24 ^a	2.24 ± 0.06	4.24 ± 0.21 ^a
KY	**	**	**	**	**
Taze	435.97 ± 4.33 ^a	43.71 ± 0.69 ^a	6.68 ± 0.06 ^a	3.95 ± 0.06 ^a	6.96 ± 0.08 ^a
Gölge	149.79 ± 2.69 ^l	9.05 ± 0.34 ^{lm}	2.38 ± 0.04 ^k	1.33 ± 0.01 ^k	2.96 ± 0.04 ⁱ
40 °C	239.16 ± 5.03 ^{def}	10.25 ± 0.37 ^k	4.28 ± 0.07 ^d	2.19 ± 0.06 ^{efg}	3.84 ± 0.05 ^f
50 °C	242.82 ± 5.82 ^{def}	10.18 ± 0.36 ^{kl}	4.05 ± 0.06 ^e	1.85 ± 0.06 ⁱ	3.10 ± 0.06 ^{hi}
60 °C	168.65 ± 2.75 ^k	16.80 ± 0.54 ^{fg}	3.34 ± 0.04 ⁱ	2.95 ± 0.08 ^c	3.62 ± 0.04 ^{fg}
200 W	201.51 ± 7.60 ^{hi}	22.45 ± 0.28 ^b	4.01 ± 0.08 ^e	3.04 ± 0.07 ^c	4.40 ± 0.05 ^{de}
400 W	175.95 ± 5.23 ^k	16.01 ± 0.31 ^{gh}	3.73 ± 0.02 ^{fg}	2.10 ± 0.02 ^{gh}	3.10 ± 0.05 ^{hi}
600 W	254.26 ± 9.15 ^{cd}	12.77 ± 0.14 ^{ij}	3.74 ± 0.02 ^f	2.12 ± 0.02 ^{fg}	4.55 ± 0.07 ^{cd}
200 W – 40 °C	227.83 ± 2.44 ^{fg}	20.98 ± 0.82 ^c	3.57 ± 0.06 ^{gh}	1.69 ± 0.02 ^j	3.33 ± 0.03 ^{gh}
200 W – 50 °C	193.97 ± 4.24 ^{ij}	8.27 ± 0.17 ^m	3.57 ± 0.06 ^{fgh}	1.67 ± 0.02 ^j	3.10 ± 0.06 ^{hi}
200 W – 60 °C	232.77 ± 4.02 ^{efg}	17.97 ± 0.25 ^e	3.01 ± 0.10 ^j	2.67 ± 0.05 ^d	3.27 ± 0.13 ^{hi}
400 W – 40 °C	216.65 ± 9.76 ^{gh}	13.73 ± 0.33 ⁱ	4.23 ± 0.03 ^d	3.47 ± 0.05 ^b	4.72 ± 0.10 ^{bc}
400 W – 50 °C	177.42 ± 9.31 ^{jk}	15.48 ± 0.40 ^b	3.92 ± 0.09 ^e	1.97 ± 0.05 ^{hi}	4.26 ± 0.04 ^{de}
400 W – 60 °C	225.49 ± 4.66 ^{fg}	19.51 ± 0.32 ^d	3.46 ± 0.09 ^{hi}	2.27 ± 0.04 ^e	3.65 ± 0.37 ^f
600 W – 40 °C	246.01 ± 8.54 ^{cd}	17.04 ± 0.25 ^{efg}	5.41 ± 0.02 ^c	2.53 ± 0.09 ^d	5.01 ± 0.05 ^b
600 W – 50 °C	271.55 ± 3.36 ^{bc}	12.55 ± 0.26 ^j	5.24 ± 0.04 ^c	2.07 ± 0.04 ^{gh}	3.18 ± 0.04 ^{hi}
600 W - 60 °C	286.79 ± 8.45 ^b	17.30 ± 0.41 ^{ef}	5.86 ± 0.07 ^b	2.26 ± 0.04 ^{ef}	4.20 ± 0.09 ^e

**p<0.01; *p<0.05; sütunlar arası farklılıklar önemlidir, öd, önemli değil. KKE, konveksiyonlu kurutmanın etkisi; MGE, mikrodalga gücünün etkisi; KY, kurutma yöntemi; *Na*, sodyum; *Fe*, demir; *Cu*, bakır; *Mn*, mangan; *Zn*, çinko. ±SH.

4.5. Biyoaktif Bileşenler

4.5.1. Toplam Fenolik İçerik

Meyve ve sebzelerin kendine özgü renk, tat, koku gibi özelliklerinin belirlenmesinde rol oynayan fenolik bileşikler, zayıf biyoyararlanımlarına ve çözünürlüklerine rağmen önemli bir doğal antioksidan kaynağıdır ve bu sebeple kanser ve kardiyovasküler hastalıkların önlenmesinde, göz sağlığına ve kan basıncını düşürücü etkisinden dolayı sağlık açısından birçok fayda sağlamaktadır (Kolaç ve ark., 2017; Zia ve Alibas, 2021b). Taze ve kurutulmuş muşmula örneklerinin ekstrakte edilebilir, hidrolize edilebilir, biyoalınabilir fenoller ve yüzde biyoalınabilirlik Çizelge 4.17’de verilmiştir.

Taze ürüne en yakın ekstrakte edilebilir fenolik içeriği 600 W- 60 °C’de kombine mikrodalga-konvektif kurutma yönteminde ölçülürken, hidrolize edilebilir ve biyoalınabilir fenoller açısından en yüksek değerler 60 °C’de konvektif kurutma yöntemi ile elde edilmiştir. Ekstrakte edilebilir fenollerde gölgede kurutmada büyük oranda kayba neden olurken, hidrolize edilebilir fenollerde hem gölgede kurutmada hem de 400 W-60 °C’de kombine kurutmada büyük oranda kayıp gözlenmiştir. Öte yandan, biyoalınabilir fenoller bakımından en düşük değerler 200 W-40 °C’de konvektif-mikrodalga kurutma yönteminde ölçülmüştür. Gölgede kurutma yönteminde ekstrakte ve hidrolize edilebilir fenoller ile biyoalınabilir fenoller oldukça düşük konsantrasyonda ölçülmesine rağmen bunların yüzdesel biyoalınımı %71.18 ile diğer kurutma yöntemlerinden daha yüksektir. Buna karşın, 200 W- 40 °C’de hem ekstrakte hem de hidrolize edilebilir fenollerin konsantrasyonu yüksek değerlerde iken, yüzdesel biyoyararlılık değeri %24.26 ile tüm yöntemler içinde en düşük düzeydedir.

Konveksiyonel kurutmanın ekstrakte ve hidrolize edilebilir fenoller ile yüzdesel biyoyararlılığa etkisi önemsiz düzeyde iken, biyoalınabilir fenollere etkisinin istatistiksel olarak anlamlı olduğu belirlenmiştir. Konveksiyonel kurutma sıcaklığının artmasıyla biyoalınabilir fenolik içeriğinin de arttığı görülmüştür. Öte yandan, mikrodalga kurutmanın ekstrakte edilebilir ve biyoalınabilir fenolik içeriğine etkisi istatistiksel olarak anlamlı olup, ekstrakte edilebilir fenollerde mikrodalga çıkış gücünün artmasıyla bu değerlerin de arttığı belirlenmiştir.

Suna (2019) tarafından yürütülen bir çalışmada, muşmula 60 °C’de konvektif ve 180 W’da mikrodalga kurutma yöntemleri ile kurutulmuş ve 60 °C’de ekstrakte edilebilir ve biyoalınabilir fenolik içeriğinin bizim bulgularımızdan 1.30 kat düşük olduğu görülmüştür. Aynı çalışmada, 180 W’da mikrodalga kurutmada ölçülen ekstrakte edilebilir fenollerin sonuçlarımızla paralel olduğu, buna karşın, hidrolize edilebilir fenollerin bulgularımızdan 1.48 kat düşük olduğu tespit edilmiştir. Mikrodalga kurutmadaki biyoalınabilir fenolik içeriği ise sonuçlarımızdan 1.63 kat yüksektir. Zia ve Alibas (2021a) 100 ve 500W’da kurutulan yaban mersininin yüzde biyoyararlılığının 50, 70 ve 90 °C’de kombine kurutma yönteminden yüksek olduğunu gözlemlemiştir. Aladag ve ark. (2020) 70 °C’de konvektif kurutma ile kurutulan alıcın toplam fenolik içeriğinin 244.838 mg 100g⁻¹ olduğunu belirtmiştir. Juhaime ve ark. (2016) armut çeşitlerini konvektif kurutma ile 70 °C’de kurutulan “Deveci” armudunun toplam fenolik içeriğinin 123.646 mg 100g⁻¹ olduğunu saptamıştır. Oancea ve ark. (2014) konvektif kurutma ile kurutulmuş ahududunun toplam fenolik içeriğinin 340 mg GAE 100 g⁻¹ olduğunu bildirmiştir. Horuz ve ark. (2017) tarafından yürütülen bir çalışmada konvektif ve kombine mikrodalga-konvektif kurutma yöntemleri ile kurutulmuş vişnenin, toplam fenolik içeriğinin 225.52 ile 385.85 mg GAE 100g⁻¹ arasında değiştiğini belirlemiştir. Moreira ve ark. (2018) 70 °C’de kurutulan kivi dilimlerinin toplam fenolik içeriğinin 251.4 mg GAE 100g⁻¹ olduğunu ve örneklerin yüzdesel biyoalınabilirliğinin ise %67.9 olduğunu tespit etmiştir. Benzer şekilde, Zhao ve ark. (2017) 70 °C’de kurutulan *Rhodomyrtus tomentosa*nın yüzdesel biyoalınabilirliğini %59.15 olarak belirlemiştir. Bizim çalışmamızda da 60 °C’de konvektif kurutma ile %61.89 düzeyinde biyoyararlılık elde edilmiştir. İzli ve ark. (2017) kiviinin 120 W’da elde edilen toplam fenolik içeriğinin 193.05 mg GAE 100g⁻¹ olduğunu vurgulamıştır. Santos ve ark. (2014) 60 °C’de kurutulan armut dilimlerinin fenolik içeriğinin 298.5 mg GAE 100g⁻¹ olduğunu tespit etmiştir. Samoticha ve ark. (2016) 50 °C’de kurutulan chokeberry çeşidi aronyanın toplam fenolik içeriğinin, uzun kurutma sürelerinden dolayı 70 °C’ye göre büyük oranda azaldığını saptamıştır. Çalışmamızda da 40 ve 50 °C’de ekstrakte edilebilir fenolik içeriğinin azaldığı görülmüştür. Horecki ve ark. (2018) uzun kurutma süresinin ve düşük sıcaklıkların kızılıcıkta, toplam fenolik içeriğini azalttığını bildirmiştir. Sonuçlarımıza paralel olarak, Zia ve Alibas (2021b) kızılıcıkta,

hidrolize edilebilir fenollerin, ekstrakte edilebilir ve biyoalınabilir fenollerden yüksek değerlerde olduğunu saptamıştır.

Çizelge 4.17. Farklı kurutma yöntemleri ile kurutulmuş muşmulanın toplam fenolik içeriği

Kurutma Yöntemi	Toplam Fenolik İçeriği (mg GAE 100g ⁻¹ dw)			
	E	H	B	%B
KKE	öd	öd	*	öd
40 °C	215.09 ± 19.52	301.41 ± 10.21	189.35 ± 12.48 ^b	38.90 ± 4.48
50 °C	220.52 ± 11.81	274.96 ± 3.98	201.82 ± 13.83 ^{ab}	41.55 ± 3.72
60 °C	261.91 ± 14.28	278.76 ± 15.43	250.64 ± 23.37 ^a	46.54 ± 3.68
MGE	**	öd	**	öd
200 W	238.96 ± 16.29 ^a	268.75 ± 4.49	169.03 ± 5.26 ^b	34.15 ± 2.23
400 W	201.39 ± 6.42 ^b	265.84 ± 14.51	188.69 ± 8.02 ^a	41.65 ± 3.03
600 W	264.33 ± 13.99 ^a	293.06 ± 5.23	201.40 ± 6.16 ^a	36.23 ± 1.22
KY	**	**	**	**
Taze	362.34 ± 8.43 ^a	417.15 ± 2.69 ^a	417.42 ± 1.81 ^a	53.56 ± 0.63 ^c
Gölge	85.35 ± 2.05 ^m	220.70 ± 0.25 ^h	217.78 ± 3.80 ^f	71.18 ± 1.71 ^a
40 °C	126.40 ± 1.13 ^l	259.83 ± 1.09 ^f	238.36 ± 4.30 ^d	61.71 ± 0.80 ^b
50 °C	171.70 ± 2.37 ^k	279.80 ± 6.08 ^e	280.64 ± 2.80 ^c	62.19 ± 1.09 ^b
60 °C	255.65 ± 2.74 ^{ef}	358.14 ± 5.78 ^b	379.68 ± 4.23 ^b	61.89 ± 1.39 ^b
200 W	163.13 ± 3.03 ^k	259.75 ± 4.83 ^f	189.98 ± 1.49 ^{gh}	44.97 ± 1.15 ^d
400 W	172.95 ± 3.32 ^k	238.89 ± 3.04 ^g	186.15 ± 2.99 ^{gh}	45.20 ± 0.68 ^d
600 W	246.31 ± 0.76 ^f	289.18 ± 4.77 ^e	191.83 ± 2.20 ^g	35.82 ± 0.19 ^g
200 W – 40 °C	306.17 ± 8.14 ^c	279.34 ± 2.64 ^e	141.99 ± 1.61 ^k	24.26 ± 0.16 ^j
200 W – 50 °C	219.21 ± 5.19 ^{gh}	284.44 ± 4.82 ^e	170.42 ± 1.50 ⁱ	33.87 ± 0.86 ^g
200 W – 60 °C	267.33 ± 2.90 ^{de}	251.45 ± 4.55 ^{fg}	173.72 ± 1.94 ⁱ	33.49 ± 0.26 ^g
400 W – 40 °C	225.38 ± 8.72 ^g	345.33 ± 4.04 ^c	155.86 ± 3.55 ^j	27.36 ± 1.12 ⁱ
400 W – 50 °C	211.14 ± 5.08 ^{hi}	256.72 ± 6.35 ^f	183.40 ± 2.19 ^h	39.22 ± 0.54 ^f
400 W – 60 °C	196.09 ± 6.33 ^j	222.42 ± 7.85 ^h	229.36 ± 2.48 ^e	54.84 ± 1.22 ^c
600 W – 40 °C	202.41 ± 4.79 ^{ij}	321.15 ± 1.38 ^d	221.18 ± 1.98 ^f	42.26 ± 0.65 ^e
600 W – 50 °C	280.03 ± 1.84 ^d	278.86 ± 4.25 ^e	172.80 ± 0.60 ⁱ	30.92 ± 0.12 ^h
600 W – 60 °C	328.56 ± 3.38 ^b	283.05 ± 2.23 ^e	219.81 ± 2.23 ^f	35.94 ± 0.16 ^g

**p<0.01; *p<0.05: Sütunlar arasındaki farklılıklar önemlidir. öd, önemli değil. ± standart hata.

KKE, konveksiyonlu kurutmanın etkisi; MGE, mikrodalga gücünün etkisi; KY, kurutma yöntemi.

GAE, gallik asit eşdeğeri; dw, kuru ağırlık; E, ekstrakte; H, hidrolize; B, biyoalınabilirlik; %B, yüzde biyoalınabilirlik.

4.5.2. Toplam Antioksidan Kapasitesi

DPPH Yöntemi

Çizelge 4.18 farklı yöntemlerle kurutulmuş muşmula örneklerinin ekstrakte, hidrolize ve biyoalınabilir fenollerin konsantrasyonu ile yüzde biyoalınabilirliğini içermektedir. DPPH yönteminde, ekstrakte edilebilir ve biyoalınabilir fenoller bakımından en yüksek antioksidan kapasitesi değerleri sırasıyla 600 W-40 °C ve 200 W-50 °C’de ölçülmüş olup, hidrolize edilebilir fenollerde ise 200 ve 600 W mikrodalga kurutmada elde edilmiştir.

Buna karşın, ekstrakte ve hidrolize edilebilir fenoller için en düşük antioksidan kapasitesi 200 W-60 °C’de belirlenirken, biyoalınabilir fenollerin antioksidan kapasitesi ise gölgede kurutma yönteminde yüksek oranda kayba uğramıştır. En yüksek yüzde biyoalınabilirlik 200 W-50 °C’de ölçülmüştür. Gölgede kurutma yönteminde ölçülen yüzde biyoalınabilirlik ise tüm kurutma yöntemlerine oranla en düşük seviyededir.

Konveksiyonel kurutmanın ekstrakte ve hidrolize edilebilir fenollerin antioksidan kapasitesine etkisi istatistiksel olarak anlamlı düzeydedir, ancak bu kurutma yönteminin biyoalınabilir fenollerin antioksidan kapasitesi üzerine herhangi bir etkisi bulunmamaktadır. Benzer şekilde, mikrodalga kurutma yönteminin DPPH yöntemi ile antioksidan kapasitesinin belirlenmesine ilişkin hiçbir parametre ile anlamlı düzeyde bir ilişki sergilemediği tespit edilmiştir.

CUPRAC Yöntemi

CUPRAC yöntemine göre, mikrodalga, konvektif, kombine ve gölgede kurutma yöntemleri ile kurutulmuş muşmulanın ekstrakte, hidrolize ve biyoalınabilir fenollerinin antioksidan kapasitesi ile yüzde biyoalınabilirlik değerleri Çizelge 4.19’da verilmiştir.

CUPRAC yönteminde ekstrakte edilebilir ve biyoalınabilir fenollerin antioksidan kapasitesi sırasıyla 600 W-60 °C ve 400 W-60 °C’de en yüksek düzeyde iken, hidrolize edilebilir fenollerde ise en yüksek antioksidan kapasitesi 60 °C ve 400 W-40 °C’de ölçülmüştür. Buna karşın ekstrakte, hidrolize ve biyoalınabilir fenollerin antioksidan düzeyi ise gölgede kurutulmuş numunelerde büyük oranda kayba uğramıştır. Yüzde

biyoalınabilirlik açısından en yüksek değerler ise 400 W-60 °C’de ölçülmüş ve bunu 200 W mikrodalga kurutma yöntemi izlemiştir. Diğer yandan, en düşük biyoalınabilirlik ise gölgede kurutma yöntemi ile kurutulmuş muşmula örneklerinde saptanmıştır.

Konveksiyonel kurutmanın sadece ekstrakte edilebilir fenollerin antioksidan kapasitesi üzerinde istatistiksel olarak anlamlı bir etkisi olduğu Çizelge 4.19’da görülmüştür. Diğer yandan, mikrodalga kurutmanın ekstrakte edilebilir fenollerin antioksidan kapasitesine ve yüzde biyoalınabilirliğe etkisinin istatistiksel olarak anlamlı olduğu tespit edilmiştir.

ABTS yöntemi

Çizelge 4.20’de ABTS yöntemine göre, farklı teknikler kullanılarak kurutulmuş muşmulanın ekstrakte, hidrolize ve biyoalınabilir fenollerinin antioksidan kapasitesinin yanı sıra yüzde biyoalınabilirliği yansıtmaktadır.

ABTS açısından en yüksek ekstrakte ve biyoalınabilir fenollerin antioksidan kapasitesi sırası ile 60 °C ve 600 W-40 °C’de elde edilmiş olup, hidrolize edilebilir fenollerde ise en yüksek antioksidan kapasitesi 200 W ve 600 W-40 °C’de kurutulmuş muşmula örneklerinde ölçülmüştür. Gölgede kurutma ekstrakte edilebilir fenollerin antioksidan içeriğinde belirgin bir kayba yol açarken, 200 W-60 °C’de ve 400 W-40 °C’de kombine kurutma teknikleri sırası ile hidrolize edilebilir ve biyoalınabilir fenollerin antioksidan kapasitesinde yüksek oranda azalma ile sonuçlanmıştır. En yüksek yüzde biyoalınabilirlik değerlerinin gölgede kurutmada ölçüldüğü, buna karşın 60 °C ile 400 W-40 °C’de kurutulmuş örneklerin en düşük biyoalınabilirliğe sahip olduğu tespit edilmiştir.

ABTS yönteminde konveksiyonel kurutmanın sadece biyoalınabilir fenollerin antioksidan kapasitesine ve mikrodalga kurutmanın ise ekstrakte edilebilir fenollerin antioksidan düzeyine etkisinin istatistiksel olarak anlamlı olduğu saptanmıştır.

Ayrıca, farklı yöntemlerle kurutulan muşmulanın antioksidan kapasitesinin DPPH yönteminde daha yüksek konsantrasyonda ölçüldüğü, bu nedenle de CUPRAC ve ABTS yöntemlerine kıyasla antioksidan analizi için en uygun yöntem olduğu belirlenmiştir.

Suna (2019) CUPRAC yöntemine göre, 180 W'da kurutulmuş muşmulanın ekstrakte edilebilir fenollerin antioksidan kapasitesini 125.77 $\mu\text{mol Trolox } 100\text{g}^{-1}$ olarak ölçmüş ve 60 °C'de biyoalınabilir fenollerin antioksidan düzeyinin 64.85 $\mu\text{mol Trolox } 100\text{g}^{-1}$ olduğunu belirlemiştir. Zia ve Alibas (2021a) yaban mersinini doğal, 50, 70 ve 90 °C'de konvektif ve 100, 300 ve 500 W'da mikrodalga kurutma yöntemini kullanarak kurutmuş ve ABTS yönteminde, 500 W'da hidrolize edilebilir ve biyoalınabilir fenollerin antioksidan kapasitesinin 50 °C'de konvektif kurutma yönteminde ölçülen değerlerden daha yüksek olduğunu vurgulamıştır. Kızılcığı doğal, konvektif, mikrodalga ve kombine kurutma yöntemiyle kuruttuğu bir çalışmada Zia ve Alibas (2021b), ABTS ve DPPH yönteminde hidrolize edilebilir fenollerin, antioksidan kapasitesinin kombine kurutma yönteminde azalma eğilimi gösterdiği, buna karşın CUPRAC yönteminde ekstrakte edilebilir fenollerin antioksidan düzeyinin kombine kurutmada diğer kurutma tekniklerine oranla daha yüksek değerlerde ölçüldüğünü saptamıştır. Horuz ve ark. (2017) tarafından yürütülen bir çalışmada, vişnenin antioksidan kapasitesinin yüksek sıcaklık ve uzun kurutma süresinden olumsuz etkilendiğini bildirmiştir. İncedayi ve ark. (2016) DPPH yöntemine göre, 50 °C'de kurutulmuş kayısının antioksidan kapasitesinin 56.72 $\mu\text{mol Trolox } 100\text{g}^{-1}$ olduğunu gözlemlemiştir. Pieszka ve ark. (2015) DPPH yöntemine göre havucun antioksidan düzeyinin 37.7 $\mu\text{mol Trolox } 100\text{g}^{-1}$ olduğunu tespit etmiştir. Coklar ve ark. (2018) alıcı -18 °C'de dondurarak, 360 W'da mikrodalga, 60 °C'de konvektif ve 360 W-60 °C'de kombine mikrodalga-konvektif kurutma yöntemleri ile kuruttuğu çalışmasında, ABTS yöntemiyle hesaplanan antioksidan kapasitesi içeriği, konvektif kurutmada, dondurarak kurutma yönteminden daha düşük olduğunu vurgulamıştır. Wojdyło ve ark. (2016) ABTS yöntemiyle 60 °C ve 480 W'da kurutulmuş hünnapta antioksidan kapasitesini sırasıyla 17.0 ve 21.2 $\mu\text{mol Trolox } 100\text{g}^{-1}$ olarak saptamıştır. İzli ve ark. (2014) DPPH yöntemine göre taze altın çileğin antioksidan kapasitesine en yakın sonuçların mikrodalga kurutma yöntemi ile ölçüldüğünü bildirmiştir. Çalışmamızda da hidrolize edilebilir fenollerde antioksidan içeriğine en yakın sonuçların mikrodalga kurutma yöntemi ile elde edildiği tespit edilmiştir. Aladag ve ark. (2020) DPPH yöntemine göre, *Pyrus kotschyana* çeşidi alıcın antioksidan kapasitesinin 52.13 $\mu\text{mol Trolox } 100\text{g}^{-1}$ olduğunu belirlemiştir. López ve ark. (2010) sıcaklığın artması ile antioksidan kapasitesinin azaldığını vurgulamıştır. Çalışmamızda da ekstrakte ve hidrolize edilebilir antioksidan içeriğinin 50 ve 60°C'de

azaldığı tespit edilmiştir. Horecki ve ark. (2018) kızılıcığı 55, 60 ve 70 °C’de konvektif, 40, 48, 55 °C ve 20 mbar basınçta vakum ve -30 °C’de dondurarak kurutma yöntemiyle kurutmuş ve DPPH yöntemine göre konvektif kurutma yöntemlerinde antioksidan kapasitesinin 37.74-49.47 $\mu\text{mol Trolox } 100\text{g}^{-1}$ arasında olduğunu saptamıştır. Chong ve ark. (2013) 70 °C’de konvektif kurutma ile kurutulmuş elmanın DPPH’e göre antioksidan kapasitesini 200 $\mu\text{mol Trolox } 100\text{g}^{-1}$ olarak ölçmüştür. Yokuş (2014) 350 W’da kurutulmuş *golden* çeşidi elmanın DPPH’e göre antioksidan kapasitesini 325.52 $\mu\text{mol Trolox } 100\text{g}^{-1}$ olarak saptamıştır.

Çizelge 4.18. Farklı kurutma yöntemleri ile kurutulmuş muşmulanın DPPH* yöntemine göre antioksidan kapasitesi

Kurutma Yöntemi	Toplam Antioksidan Kapasitesi ($\mu\text{mol Trolox } 100\text{g}^{-1} \text{ dw}$)			
	E	H	B	%B
KKE	**	**	öd	öd
40 °C	371.86 $\pm$ 4.88 ^a	106.36 $\pm$ 1.77 ^{ab}	118.98 $\pm$ 14.44	24.88 $\pm$ 2.92
50 °C	379.31 $\pm$ 3.28 ^a	110.70 $\pm$ 0.89 ^a	136.55 $\pm$ 14.83	27.66 $\pm$ 2.87
60 °C	352.14 $\pm$ 6.61 ^b	101.71 $\pm$ 2.05 ^b	125.04 $\pm$ 13.38	27.28 $\pm$ 2.66
MGE	öd	öd	öd	öd
200 W	369.75 $\pm$ 7.49	108.36 $\pm$ 2.48	157.94 $\pm$ 8.42	32.79 $\pm$ 1.14
400 W	378.25 $\pm$ 5.44	109.42 $\pm$ 2.16	153.52 $\pm$ 8.62	31.26 $\pm$ 1.37
600 W	373.38 $\pm$ 4.77	109.98 $\pm$ 2.09	155.87 $\pm$ 3.46	32.29 $\pm$ 0.72
KY	**	**	**	**
Taze	536.04 $\pm$ 1.79 ^a	142.59 $\pm$ 1.75 ^a	232.77 $\pm$ 2.50 ^a	34.30 $\pm$ 0.44 ^{bc}
Gölge	384.20 $\pm$ 1.60 ^d	108.47 $\pm$ 0.41 ^{gh}	32.53 $\pm$ 4.98 ^l	6.60 $\pm$ 0.99 ^j
40 °C	384.42 $\pm$ 1.09 ^d	108.50 $\pm$ 1.37 ^{gh}	47.31 $\pm$ 1.20 ^k	9.60 $\pm$ 0.24 ⁱ
50 °C	368.67 $\pm$ 2.68 ^e	106.59 $\pm$ 0.90 ^h	56.68 $\pm$ 0.30 ^j	11.93 $\pm$ 0.03 ^h
60 °C	340.78 $\pm$ 1.37 ^g	98.84 $\pm$ 0.30 ⁱ	57.09 $\pm$ 1.59 ^j	12.99 $\pm$ 0.38 ^h
200 W	387.81 $\pm$ 3.74 ^{cd}	116.98 $\pm$ 0.89 ^b	175.98 $\pm$ 1.57 ^{cd}	34.86 $\pm$ 0.08 ^b
400 W	391.56 $\pm$ 1.59 ^{bc}	115.14 $\pm$ 0.52 ^{bcd}	177.54 $\pm$ 0.30 ^c	35.04 $\pm$ 0.08 ^b
600 W	386.80 $\pm$ 0.80 ^{cd}	117.80 $\pm$ 0.30 ^b	154.62 $\pm$ 1.19 ^{ef}	30.64 $\pm$ 0.30 ^{de}
200 W – 40 °C	367.86 $\pm$ 2.27 ^e	106.67 $\pm$ 0.56 ^h	150.70 $\pm$ 0.30 ^f	31.76 $\pm$ 0.09 ^d
200 W – 50 °C	392.87 $\pm$ 1.82 ^{bc}	114.03 $\pm$ 0.49 ^{cde}	189.01 $\pm$ 2.62 ^b	37.29 $\pm$ 0.51 ^a
200 W – 60 °C	330.48 $\pm$ 3.03 ^h	95.76 $\pm$ 0.45 ^j	116.08 $\pm$ 1.08 ^h	27.24 $\pm$ 0.42 ^f
400 W – 40 °C	347.69 $\pm$ 1.20 ^f	97.38 $\pm$ 0.98 ^{ij}	105.69 $\pm$ 2.39 ⁱ	23.75 $\pm$ 0.61 ^g
400 W – 50 °C	386.29 $\pm$ 1.50 ^{cd}	112.29 $\pm$ 0.59 ^{ef}	158.62 $\pm$ 2.58 ^e	31.81 $\pm$ 0.43 ^d
400 W – 60 °C	387.45 $\pm$ 3.82 ^{cd}	112.88 $\pm$ 1.46 ^{de}	172.23 $\pm$ 0.30 ^{cd}	34.43 $\pm$ 0.42 ^{bc}
600 W – 40 °C	394.79 $\pm$ 3.89 ^b	116.27 $\pm$ 0.58 ^{bc}	170.14 $\pm$ 0.52 ^d	33.30 $\pm$ 0.34 ^c
600 W – 50 °C	369.41 $\pm$ 1.21 ^e	109.88 $\pm$ 0.57 ^{fg}	141.87 $\pm$ 0.80 ^g	29.60 $\pm$ 0.16 ^e
600 W – 60 °C	349.84 $\pm$ 3.07 ^f	99.34 $\pm$ 1.61 ⁱ	154.77 $\pm$ 5.37 ^{ef}	34.47 $\pm$ 1.23 ^{bc}

**p<0.01; *p<0.05; Sütunlar arasındaki farklılıklar önemlidir. öd, önemli değil. $\pm$ standart hata.

KKE, konveksiyonlu kurutmanın etkisi; MGE, mikrodalga gücünün etkisi; KY, kurutma yöntemi.

dw, kuru ağırlık; E, ekstrakte; H, hidrolize; B, biyoalınabilirlik; %B, yüzde biyoalınabilirlik.

Çizelge 4.19. Farklı kurutma yöntemleri ile kurutulmuş muşmulanın TEAC_{CUPRAC} yöntemine göre antioksidan kapasitesi

Kurutma Yöntemi	Toplam Antioksidan Kapasitesi (μmol Trolox 100g ⁻¹ dw)			
	E	H	B	%B
KKE	*	öd	öd	öd
40 °C	175.77 ± 21.43 ^b	52.15 ± 2.32	112.01 ± 16.54	45.29 ± 4.78
50 °C	192.42 ± 17.22 ^b	52.11 ± 0.80	101.31 ± 13.22	40.64 ± 5.28
60 °C	259.25 ± 26.10 ^a	53.74 ± 2.02	128.55 ± 13.80	46.09 ± 7.78
MGE	**	öd	öd	**
200 W	204.92 ± 17.26 ^b	49.30 ± 0.78	140.28 ± 3.33	57.91 ± 3.82 ^a
400 W	161.74 ± 6.69 ^b	51.37 ± 2.25	141.47 ± 8.27	66.59 ± 3.55 ^a
600 W	266.27 ± 25.32 ^a	53.16 ± 0.56	125.26 ± 4.50	40.96 ± 2.30 ^b
KY	**	**	**	**
Taze	415.97 ± 7.47 ^a	76.93 ± 1.84 ^a	200.94 ± 0.47 ^a	40.78 ± 0.55 ^g
Gölge	40.98 ± 2.36 ^l	37.65 ± 1.20 ⁱ	8.41 ± 0.14 ^l	10.71 ± 0.32 ^k
40 °C	73.03 ± 1.92 ^k	42.18 ± 0.83 ^h	22.98 ± 0.21 ^k	19.97 ± 0.57 ⁱ
50 °C	122.48 ± 2.68 ^j	53.17 ± 2.26 ^{cd}	26.65 ± 1.57 ^k	15.15 ± 0.49 ^j
60 °C	249.16 ± 1.89 ^d	64.41 ± 0.47 ^b	52.76 ± 2.40 ^j	16.84 ± 0.85 ^j
200 W	121.11 ± 0.78 ^j	45.96 ± 0.68 ^{fgh}	132.29 ± 0.68 ^{fg}	79.20 ± 1.01 ^b
400 W	129.62 ± 3.23 ^j	44.09 ± 0.72 ^{gh}	101.21 ± 0.63 ⁱ	58.31 ± 1.41 ^d
600 W	215.91 ± 6.56 ^f	53.02 ± 1.62 ^{cd}	129.41 ± 1.37 ^g	48.14 ± 0.55 ^f
200 W – 40 °C	272.87 ± 2.27 ^c	49.57 ± 1.05 ^{def}	158.14 ± 1.27 ^c	49.05 ± 0.50 ^f
200 W – 50 °C	187.21 ± 0.37 ^g	50.78 ± 0.94 ^{cde}	131.53 ± 0.62 ^{fg}	55.27 ± 0.46 ^e
200 W – 60 °C	238.49 ± 3.15 ^e	50.91 ± 1.69 ^{cde}	139.17 ± 3.25 ^e	48.11 ± 1.27 ^f
400 W – 40 °C	184.31 ± 5.70 ^g	62.98 ± 1.35 ^b	156.42 ± 0.97 ^c	63.33 ± 1.47 ^c
400 W – 50 °C	178.58 ± 0.73 ^{gh}	50.65 ± 1.66 ^{cde}	133.70 ± 0.52 ^f	58.33 ± 0.20 ^d
400 W – 60 °C	154.47 ± 1.72 ⁱ	47.74 ± 2.34 ^{efg}	174.53 ± 1.88 ^b	86.36 ± 1.79 ^a
600 W – 40 °C	172.89 ± 5.82 ^h	53.86 ± 1.07 ^c	110.51 ± 0.98 ^h	48.81 ± 1.55 ^f
600 W – 50 °C	281.41 ± 0.36 ^c	53.84 ± 21.18 ^c	113.36 ± 0.08 ^h	33.81 ± 0.09 ^h
600 W – 60 °C	394.88 ± 3.74 ^b	51.91 ± 0.60 ^{cd}	147.75 ± 1.20 ^d	33.07 ± 0.29 ^h

**p<0.01; *p<0.05; Sütunlar arasındaki farklılıklar önemlidir. öd, önemli değil. ± standart hata.

KKE, konveksiyonlu kurutmanın etkisi; MGE, mikrodalga gücünün etkisi; KY, kurutma yöntemi. dw, kuru ağırlık; E, ekstrakte; H, hidrolize; B, biyoalınabilirlik; %B, yüzde biyoalınabilirlik.

Çizelge 4.20. Farklı kurutma yöntemleri ile kurutulmuş muşmuların ABTS^{•+} yöntemine göre antioksidan kapasitesi

Kurutma Yöntemi	Toplam Antioksidan Kapasitesi ($\mu\text{mol Trolox } 100\text{g}^{-1} \text{ dw}$)			
	E	H	B	%B
KKE	öd	öd	*	öd
40 °C	16.94 $\pm$ 0.44	18.01 $\pm$ 1.22	13.99 $\pm$ 0.91 ^{ab}	39.77 $\pm$ 1.65
50 °C	17.80 $\pm$ 0.30	18.83 $\pm$ 0.59	14.55 $\pm$ 0.56 ^a	39.84 $\pm$ 1.57
60 °C	18.10 $\pm$ 0.36	15.63 $\pm$ 1.42	12.06 $\pm$ 0.63 ^b	37.39 $\pm$ 1.23
MGE	*	öd	öd	öd
200 W	17.62 $\pm$ 0.29 ^b	18.50 $\pm$ 1.52	14.22 $\pm$ 0.58	39.71 $\pm$ 1.05
400 W	17.44 $\pm$ 0.32 ^b	18.68 $\pm$ 1.21	14.21 $\pm$ 0.89	38.98 $\pm$ 1.33
600 W	18.49 $\pm$ 0.14 ^a	19.58 $\pm$ 0.82	13.73 $\pm$ 0.75	37.15 $\pm$ 0.83
KY	**	**	**	**
Taze	27.06 $\pm$ 0.13 ^a	30.11 $\pm$ 0.32 ^a	24.30 $\pm$ 0.68 ^a	42.49 $\pm$ 1.10 ^{cde}
Gölge	9.31 $\pm$ 0.49 ⁱ	16.27 $\pm$ 0.43 ^g	15.14 $\pm$ 0.20 ^{bcd}	59.16 $\pm$ 0.69 ^a
40 °C	15.26 $\pm$ 0.34 ^h	19.10 $\pm$ 0.30 ^e	16.21 $\pm$ 0.19 ^{bc}	47.19 $\pm$ 0.52 ^b
50 °C	16.32 $\pm$ 0.43 ^g	17.40 $\pm$ 0.28 ^f	15.23 $\pm$ 0.45 ^{bcd}	45.17 $\pm$ 1.14 ^{bc}
60 °C	19.11 $\pm$ 0.39 ^b	12.08 $\pm$ 0.44 ^h	10.27 $\pm$ 0.65 ^{fg}	32.93 $\pm$ 1.91 ⁱ
200 W	17.54 $\pm$ 0.10 ^{ef}	23.85 $\pm$ 0.09 ^b	16.15 $\pm$ 0.52 ^{bc}	39.02 $\pm$ 1.28 ^{efg}
400 W	17.20 $\pm$ 0.09 ^f	21.09 $\pm$ 0.13 ^d	15.97 $\pm$ 0.05 ^{bc}	41.71 $\pm$ 0.16 ^{cde}
600 W	18.79 $\pm$ 0.11 ^{bc}	20.80 $\pm$ 0.13 ^d	15.80 $\pm$ 0.46 ^{bc}	39.93 $\pm$ 1.24 ^{def}
200 W – 40 °C	17.92 $\pm$ 0.10 ^{de}	17.30 $\pm$ 0.22 ^f	14.12 $\pm$ 0.97 ^d	40.07 $\pm$ 2.54 ^{def}
200 W – 50 °C	18.81 $\pm$ 0.11 ^{bc}	22.05 $\pm$ 0.10 ^c	14.95 $\pm$ 0.84 ^{cd}	36.59 $\pm$ 2.01 ^{fgh}
200 W – 60 °C	16.19 $\pm$ 0.08 ^g	10.79 $\pm$ 0.10 ⁱ	11.64 $\pm$ 0.23 ^e	43.16 $\pm$ 1.05 ^{cd}
400 W – 40 °C	15.83 $\pm$ 0.17 ^{gh}	12.21 $\pm$ 0.22 ^h	9.18 $\pm$ 0.19 ^g	32.76 $\pm$ 0.70 ⁱ
400 W – 50 °C	18.28 $\pm$ 0.13 ^{cd}	18.72 $\pm$ 0.13 ^e	16.25 $\pm$ 0.38 ^{bc}	43.92 $\pm$ 1.04 ^{bc}
400 W – 60 °C	18.45 $\pm$ 0.29 ^{bcd}	22.69 $\pm$ 0.18 ^c	15.44 $\pm$ 0.35 ^{bcd}	37.52 $\pm$ 1.00 ^{fg}
600 W – 40 °C	18.73 $\pm$ 0.10 ^{bc}	23.43 $\pm$ 0.13 ^b	16.45 $\pm$ 0.03 ^b	39.04 $\pm$ 0.21 ^{efg}
600 W – 50 °C	17.78 $\pm$ 0.11 ^{def}	17.14 $\pm$ 0.18 ^f	11.76 $\pm$ 0.39 ^e	33.69 $\pm$ 1.06 ^{hi}
600 W – 60 °C	18.65 $\pm$ 0.26 ^{bc}	16.96 $\pm$ 0.13 ^f	10.89 $\pm$ 0.14 ^{ef}	35.94 $\pm$ 0.16 ^{ghi}

**p<0.01; *p<0.05; Sütunlar arasındaki farklılıklar önemlidir. öd, önemli değil. $\pm$ standart hata.
KKE, konveksiyonlu kurutmanın etkisi; MGE, mikrodalga gücünün etkisi; KY, kurutma yöntemi.
dw, kuru ağırlık; E, ekstrakte; H, hidrolize; B, biyoalınabilirlik; %B, yüzde biyoalınabilirlik.

4.6. Verilerin Doğrusal Korelasyonları

Taze ve kurutulmuş muşmuların renk parametreleri, besin elementleri ve biyoaktif bileşenlerinin arasındaki negatif ve pozitif yönlü doğrusal korelasyonlar Çizelge 4.21’de verilmiştir.

Besin elementleri arasındaki ilişkiler incelendiğinde, %83 ile *K* ile *P*, %84 ile *Mg* ile *Ca*, %92 ile *Na* ile *K* ve %83 ile *Mn* ile *Mg* arasında yüksek oranlı doğrusal ilişkilerin olduğu tespit edilmiştir. Bununla birlikte, *Cu* ile *Na*, *K* ve *P* arasında sırasıyla %84,

%86 ve %87 düzeyinde yüksek pozitif yönlü korelasyonlar gözlemlenmiştir. Ayrıca, *Na* ile *P* ve *Mn* ile *Ca* arasında sırasıyla %76 ve %70 düzeyinde doğrusal korelasyonlar olduğu görülmüştür. Diğer yandan, *Zn* ile *P*, *Cu* ve *Mn* arasında sırasıyla %75, %72, %75 ile orta düzeyli pozitif ilişkiler saptanmıştır.

Renk parametreleri arasında b^* ile L^* , C^* ile L^* , $B\bar{I}$ ile L^* , C ile b^* , a° ile b^* arasında sırasıyla %83, %82, %92, %97 ve %87 düzeyinde yüksek düzeyli pozitif yönlü korelasyonlar saptanmıştır. Bununla birlikte, %75 ile a° ve L^* , %77 ile C ve a^* , %73 ile a° ve C ve %70 ile $K\bar{I}$ ve C arasında orta düzeyli pozitif yönlü korelasyonlar tespit edilmiştir. Ayrıca, ΔE ile L^* , b^* , C ve a° arasında sırasıyla %92, %94, %92, %83 oranında güçlü ilişkiler bulunmaktadır. Buna karşın, %74 düzeyinde $B\bar{I}$ ile ΔE arasında negatif yönlü orta düzeyli korelasyon görülmüştür.

Ekstrakte edilebilir fenollerin CUPRAC'a göre antioksidan kapasitesi ile ekstrakte edilebilir fenolik içeriği arasında %97 düzeyinde kuvvetli bir ilişki olduğu tespit edilmiştir.

Hidrolize edilebilir toplam fenolik madde içeriği ile yine CUPRAC'a göre hidrolize antioksidan içeriği arasında %91'lik güçlü bir ilişki olduğu görülmüştür. DPPH ve ABTS'ye göre hidrolize edilebilir fenollerin antioksidan kapasitesilerinin arasında ise %93'lük bir ilişki mevcuttur.

DPPH'te ekstrakte edilebilir fenollerin antioksidan düzeyi ile ABTS'ye göre biyoalınabilir fenollerin antioksidan içeriği arasında %90'lık bir ilişki olduğu saptanmış, buna karşın DPPH'e göre hidrolize edilebilir antioksidan kapasitesi ile ABTS'de biyoalınabilir antioksidan içeriği arasında %91 düzeyinde yüksek bir ilişki olduğu belirlenmiştir. DPPH'e göre hidrolize ve ekstrakte edilebilir antioksidan kapasitesi arasında %95 düzeyindeki ilişkinin yanı sıra DPPH'e göre yüzde biyoalınabilirlik ile biyoalınabilir antioksidan içeriği arasında %95 düzeyinde anlamlı ilişkiler olduğu tespit edilmiştir. ABTS'ye göre biyoalınabilir ve hidrolize edilebilir antioksidan düzeyi arasında %86, DPPH'e göre, ekstrakte edilebilir ve ABTS'ye göre hidrolize edilebilir antioksidan kapasitesi arasında %85 ve CUPRAC ve DPPH'e göre biyoalınabilir antioksidan içeriği arasında %84 düzeyinde ilişkiler olduğu görülmektedir. Ayrıca, CUPRAC için biyoalınabilir antioksidan kapasitesi ve DPPH için yüzde

biyoalınabilirlik arasında %85 oranında orta düzeyli bir korelasyon olduğu saptanmıştır. Öte yandan, ABTS'ye göre ekstrakte edilebilir antioksidan içeriği ile ekstrakte edilebilir toplam fenolik madde içeriği arasında %75'lik orta düzeyli bir ilişki olduğu belirlenmiştir. DPPH'e göre biyoalınabilir ve ABTS'ye göre ekstrakte edilebilir antioksidan içeriği arasında %73'lük bir ilişkinin yanı sıra, CUPRAC ile ABTS'ye göre ekstrakte edilebilir antioksidan içeriği arasında %73 düzeyinde orta düzeyli bir ilişki olduğu görülmüştür. CUPRAC'a göre hidrolize ve ABTS'ye göre ekstrakte antioksidan düzeyi arasında %75 ve CUPRAC ve DPPH'e göre yüzde biyoalınabilirlik değerleri arasında %76 oranında doğrusal korelasyonlar tespit edilirken, CUPRAC'a göre yüzde biyoalınabilirlik ile biyoalınabilir antioksidan kapasitesi arasında %73 düzeyinde orta düzeyli bir ilişki olduğu saptanmıştır.

Çarpıcı bir şekilde, CUPRAC yönteminde biyoalınabilir antioksidan kapasitesi ile L^* ve $B\bar{I}$ arasında sırasıyla %85 ve %84 düzeyindeki ilişkilerin yanı sıra DPPH'de yüzde biyoalınabilirlik ile $B\bar{I}$ arasında %81 düzeyinde bir korelasyonun olduğu tespit edilmiştir. DPPH yöntemiyle ölçülen biyoalınabilir antioksidan kapasitesi ile L^* ve $B\bar{I}$ arasında sırasıyla %78 ve %76 oranında pozitif korelasyonlar saptanırken, DPPH'e göre, antioksidan kapasitesinin yüzde biyoalınabilirliği ve L^* arasında %75'lik orta düzeyli bir ilişki olduğu görülmüştür. Ayrıca, ABTS'ye göre antioksidan kapasitesinin yüzde biyoalınabilirliği ile kurutma süresi (KS) arasında %74 oranında doğrusal bir ilişki bulunmaktadır.

Diğer taraftan, biyoalınabilir toplam fenolik içeriği ile protein içeriği arasında %77 ve toplam fenoliğin yüzde biyoalınabilirliği ile $B\bar{I}$ arasında %73 oranında negatif yönlü orta düzeyli korelasyonlar saptanmıştır. ABTS yöntemiyle ölçülen hidrolize edilebilir fenollerin antioksidan kapasitesi ile Mg arasında %70 düzeyinde orta düzeyli bir ilişkinin yanı sıra, ABTS'ye göre biyoalınabilir antioksidan kapasitesi ile P ve Mg arasında %74 ve %75 oranında negatif yönlü doğrusal korelasyonlar tespit edilmiştir. Bununla birlikte, DPPH'e göre ekstrakte antioksidan düzeyi ile P , Mg ve Mn arasında sırasıyla %77, %75, ve %70'lik negatif yönlü doğrusal ilişkiler olduğu bulgulanmıştır. Benzer şekilde, DPPH yöntemiyle ölçülen hidrolize antioksidan düzeyi ile P ve Mg arasında da sırasıyla %73 ve %74 oranında negatif yönlü korelasyonlar mevcuttur. Ayrıca, ΔE ile hem DPPH hem de CUPRAC yöntemi ile ölçülen biyoalınabilir

fenollerin antioksidan içerikleri arasında sırasıyla %72 ve %76 oranında negatif yönlü doğrusal korelasyonlar olduğu görülmüştür.

Alibas ve ark. (2020) elma kabuklarını farklı yöntemler kullanarak kuruttukları bir çalışmada, besin elementlerinin tamamına yakınının birbiri ile doğrusal ve anlamlı ilişkiler sergilediğini saptamıştır. Ayrıca, çalışmada, C ile b^* arasında da pozitif bir ilişki olduğu vurgulanmıştır. Çileği farklı yöntemler kullanarak kuruttukları bir çalışmada Adak ve ark. (2017) K ile P arasındaki ilişkinin yanı sıra Mn ile Ca arasında da pozitif doğrusal bir ilişki olduğunu belirtmiştir. Orak ve ark. (2012) 65 °C’de konvektif ve -40 °C’de dondurarak kurutma ile dağ çileğini kuruttukları bir çalışmada, Cu ile K ve P arasında pozitif korelasyonlar saptamıştır. Alibas ve ark. (2021) ise besin elementlerinin birbiri ile çok sayıda anlamlı doğrusal korelasyonun olduğunu ve C ile b^* arasında da yüksek düzeyli pozitif bir ilişkinin varlığını bildirmiştir. Reyhan yapraklarının farklı tekniklerle kurutulmasına ilişkin bir çalışmada Yılmaz ve Alibas (2021), Na ile K , Mn ve Mg arasında yüksek düzeyli korelasyonların varlığını gözlemlemiştir. Zia ve Alibas (2021a) CUPRAC yöntemine göre ekstrakte antioksidan içeriği ile ekstrakte toplam fenolik madde içeriği ve ABTS’ye göre ekstrakte antioksidan kapasitesi arasında önemli pozitif doğrusal ilişkiler olduğunu vurgulamıştır. Aynı çalışmada, C ve a^* arasında da yüksek oranlı pozitif bir korelasyon olduğu tespit edilmiştir. Zia ve Alibas (2021b) C ile b^* ve L^* , b^* ile L^* arasında pozitif yönlü ilişkiler olduğu ve CUPRAC’a göre hidrolize edilebilir antioksidan içeriği ile ve hidrolize edilebilir toplam fenolik madde içeriği arasında önemli ilişkiler olduğunu belirtmiştir. Aynı çalışmada, ABTS’ye göre biyoalınabilir ve hidrolize antioksidan düzeyi arasındaki önemli bir ilişkinin yanısıra DPPH’e göre yüzde biyoalınabilirlik ile biyoalınabilir antioksidan kapasitesi arasında yüksek düzeyli pozitif korelasyonlar elde edilmiştir. Ayrıca, CUPRAC ve ABTS yöntemleriyle ölçülen ekstrakte edilebilir fenollerin antioksidan kapasiteleri arasında ve CUPRAC’a göre hidrolize edilebilir antioksidan içeriği ile ABTS’ye göre ekstrakte edilebilir antioksidan kapasitesi arasında pozitif yönlü anlamlı ilişkiler olduğu saptanmıştır.

Çizelge 4.21. Farklı yöntemlerle kurutulmuş muşmulanın ölçülen parametreleri arasındaki doğrusal ilişkiler

<i>KS</i>	<i>TET</i>	<i>TP</i>	<i>P</i>	<i>K</i>	<i>Ca</i>	<i>Mg</i>	<i>Na</i>	<i>Fe</i>	<i>Cu</i>	<i>Mn</i>	<i>Zn</i>	<i>L*</i>	<i>a*</i>	<i>b*</i>	<i>C</i>	<i>α°</i>	<i>ΔE</i>	<i>Kİ</i>	<i>Bİ</i>	<i>F-E</i>	<i>F-H</i>	<i>F-B</i>	<i>F-%B</i>	<i>A-E</i>	<i>A-H</i>	<i>A-B</i>	<i>A-%B</i>	<i>D-E</i>	<i>D-H</i>	<i>D-B</i>	<i>D-%B</i>	<i>C-E</i>	<i>C-H</i>	<i>C-B</i>	<i>C-B%</i>	
1.00	-0.03	-0.09	-0.13	-0.24	0.05	-0.17	-0.30	-0.34	-0.30	-0.31	-0.19	-0.39	-0.14	-0.26	-0.24	-0.28	0.32	0.04	-0.41	-0.53	-0.33	-0.01	0.52	-0.66	-0.14	0.04	0.74	0.01	-0.06	-0.50	-0.56	-0.44	-0.43	-0.53	-0.43	<i>KS</i>
	1.00	-0.02	0.10	0.21	0.01	0.12	0.17	-0.27	0.12	0.02	0.04	-0.41	-0.02	-0.34	-0.26	-0.49	0.37	-0.05	-0.43	-0.36	-0.11	0.10	0.36	-0.20	-0.06	0.07	0.25	-0.05	-0.11	-0.48	-0.52	-0.35	-0.25	-0.50	-0.38	<i>TET</i>
		1.00	0.31	0.45	0.26	0.25	0.35	0.05	0.40	0.21	0.37	-0.06	0.06	-0.26	-0.21	-0.23	0.17	-0.32	0.11	-0.40	-0.54	-0.77	-0.39	-0.40	-0.11	-0.23	-0.05	-0.36	-0.20	0.03	0.18	-0.48	-0.52	-0.08	0.33	<i>TP</i>
			1.00	0.83	0.52	0.67	0.76	0.34	0.87	0.60	0.75	-0.18	0.04	-0.33	-0.28	-0.30	0.27	-0.28	-0.03	-0.07	-0.22	-0.43	-0.29	-0.39	-0.54	-0.74	-0.34	-0.77	-0.73	-0.33	-0.09	-0.07	-0.28	-0.19	-0.08	<i>P</i>
				1.00	0.47	0.55	0.92	0.39	0.86	0.42	0.68	-0.13	0.00	-0.33	-0.28	-0.27	0.24	-0.34	0.06	-0.10	-0.46	-0.61	-0.38	-0.36	-0.32	-0.50	-0.19	-0.66	-0.55	-0.17	0.06	-0.13	-0.48	-0.11	0.05	<i>K</i>
					1.00	0.84	0.51	0.24	0.38	0.70	0.67	-0.28	-0.01	-0.37	-0.31	-0.36	0.34	-0.22	-0.18	-0.30	-0.19	-0.33	-0.10	-0.49	-0.54	-0.57	-0.10	-0.65	-0.55	-0.45	-0.29	-0.34	-0.22	-0.28	-0.01	<i>Ca</i>
						1.00	0.60	0.25	0.53	0.83	0.68	-0.15	0.09	-0.31	-0.24	-0.35	0.26	-0.27	-0.04	-0.14	-0.05	-0.39	-0.29	-0.43	-0.70	-0.75	-0.30	-0.75	-0.74	-0.45	-0.25	-0.20	-0.08	-0.16	0.00	<i>Mg</i>
							1.00	0.31	0.84	0.45	0.59	-0.07	0.05	-0.22	-0.18	-0.19	0.16	-0.25	0.08	0.01	-0.37	-0.54	-0.40	-0.28	-0.36	-0.57	-0.32	-0.65	-0.55	-0.16	0.06	-0.03	-0.34	-0.07	0.01	<i>Na</i>
								1.00	0.33	0.56	0.47	0.09	-0.05	-0.18	-0.17	-0.09	0.05	-0.42	0.28	0.12	-0.25	-0.32	-0.34	0.00	-0.16	-0.30	-0.33	-0.42	-0.31	0.21	0.38	0.06	-0.19	0.34	0.54	<i>Fe</i>
									1.00	0.53	0.72	0.00	0.18	-0.15	-0.09	-0.16	0.08	-0.18	0.13	-0.07	-0.26	-0.49	-0.37	-0.24	-0.26	-0.55	-0.40	-0.59	-0.49	-0.08	0.13	-0.06	-0.30	-0.12	0.04	<i>Cu</i>
										1.00	0.75	-0.08	0.12	-0.29	-0.21	-0.33	0.21	-0.34	0.06	-0.17	-0.07	-0.32	-0.26	-0.28	-0.53	-0.69	-0.48	-0.70	-0.64	-0.23	-0.04	-0.22	-0.08	-0.02	0.31	<i>Mn</i>
											1.00	0.01	0.15	-0.22	-0.16	-0.22	0.12	-0.32	0.18	-0.26	-0.20	-0.49	-0.30	-0.31	-0.27	-0.46	-0.27	-0.57	-0.44	-0.12	0.07	-0.29	-0.26	-0.04	0.29	<i>Zn</i>
												1.00	0.54	0.83	0.82	0.75	-0.92	0.19	0.92	0.58	0.37	-0.12	-0.60	0.58	0.41	0.23	-0.42	0.44	0.43	0.78	0.75	0.57	0.46	0.85	0.57	<i>L*</i>
													1.00	0.60	0.77	0.16	-0.58	0.51	0.33	0.13	0.26	-0.08	-0.24	0.19	0.28	0.05	-0.33	0.26	0.25	0.30	0.26	0.16	0.22	0.34	0.28	<i>a*</i>
														1.00	0.97	0.87	-0.94	0.68	0.57	0.59	0.57	0.25	-0.28	0.67	0.52	0.38	-0.33	0.65	0.60	0.63	0.50	0.62	0.64	0.66	0.26	<i>b*</i>
															1.00	0.73	-0.92	0.70	0.54	0.50	0.54	0.19	-0.28	0.60	0.51	0.34	-0.34	0.61	0.57	0.59	0.46	0.54	0.58	0.62	0.27	<i>C</i>
																1.00	-0.83	0.48	0.59	0.64	0.47	0.20	-0.33	0.66	0.43	0.34	-0.29	0.53	0.52	0.64	0.54	0.64	0.58	0.67	0.26	<i>α°</i>
																	1.00	-0.48	-0.74	-0.60	-0.49	-0.08	0.44	-0.65	-0.50	-0.34	0.37	-0.57	-0.55	-0.72	-0.63	-0.61	-0.55	-0.76	-0.41	<i>ΔE</i>
																		1.00	-0.18	0.23	0.50	0.53	0.26	0.37	0.37	0.33	-0.07	0.53	0.47	0.09	-0.10	0.30	0.49	0.05	-0.24	<i>Kİ</i>
																			1.00	0.49	0.15	-0.36	-0.73	0.43	0.27	0.08	-0.41	0.20	0.23	0.76	0.81	0.45	0.24	0.84	0.68	<i>Bİ</i>
																				1.00	0.60	0.23	-0.54	0.74	0.07	0.00	-0.54	0.22	0.15	0.52	0.50	0.97	0.69	0.69	0.07	<i>F-E</i>
																					1.00	0.62	-0.08	0.68	0.19	0.20	-0.38	0.45	0.33	0.22	0.07	0.61	0.91	0.30	-0.16	<i>F-H</i>
																						1.00	0.64	0.51	0.28	0.42	0.04	0.53	0.40	-0.07	-0.29	0.32	0.60	-0.12	-0.42	<i>F-B</i>
																							1.00	-0.22	0.14	0.32	0.55	0.23	0.16	-0.51	-0.67	-0.43	-0.13	-0.66	-0.48	<i>F-%B</i>
																								1.00	0.58	0.48	-0.48	0.64	0.62	0.73	0.59	0.73	0.75	0.66	0.26	<i>A-E</i>
																									1.00	0.86	0.06	0.85	0.93	0.69	0.50	0.11	0.15	0.35	0.34	<i>A-H</i>
																										1.00	0.44	0.90	0.91	0.46	0.21	0.04	0.16	0.17	0.09	<i>A-B</i>
																											1.00	0.19	0.15	-0.39	-0.49	-0.48	-0.47	-0.51	-0.40	<i>A-%B</i>
																												1.00	0.95	0.54	0.27	0.28	0.42	0.33	0.08	<i>D-E</i>
																													1.00	0.62	0.38	0.19	0.31	0.33	0.20	<i>D-H</i>
																														1.00	0.95	0.50	0.31	0.84	0.69	<i>D-B</i>
																															1.00	0.47	0.17	0.85	0.76	<i>D-%B</i>
																																1.00	0.69	0.64	-0.01	<i>C-E</i>
																																	1.00	0.45	-0.03	<i>C-H</i>
																																		1.00	0.73	<i>C-B</i>
																																			1.00	<i>C-%B</i>

KS, kuruma süresi (dk); *TET*, toplam enerji tüketimi (kWh); *TP*, toplam protein (mg kg⁻¹); *P*, fosfor (mg kg⁻¹); *K*, potasyum (mg kg⁻¹); *Ca*, kalsiyum (mg kg⁻¹); *Mg*, magnezyum (mg kg⁻¹); *Na*, sodyum (mg kg⁻¹); *Fe*, demir (mg kg⁻¹); *Cu*, bakır (mg kg⁻¹); *Mn*, manganez (mg kg⁻¹); *Zn*, çinko (mg kg⁻¹); *L**, parlaklık/koyuluk; *a** kırmızılık; *b **, sarılık; *C*, kroma; *α°*, renk açısı; *ΔE*, toplam renk değişimi; *Kİ*, kahverengileşme indeksi; *Bİ*, beyazlaşma indeksi; *F*, toplam fenolik madde içeriği (mg GAE 100 g⁻¹ dw), *A*, ABTS'ye göre antioksidan kapasitesi (µmol Trolox 100g⁻¹ ka); *D*, DPPH'e göre antioksidan kapasitesi (µmol Trolox 100g⁻¹ ka); *C*, CUPRAC'a göre antioksidan kapasitesi (µmol Trolox 100g⁻¹ ka); *E*, ekstrakte edilebilir fenoller; *H*, hidrolize edilebilir fenoller; *B*, biyoalınabilir fenoller; %B, yüzde biyoalınabilirlik (%); dw, kuru ağırlık

5. SONUÇ

Bu çalışmada kütlesi 75 g ve kurutma başlangıcındaki nem içeriği 74.07 ± 0.04 olan muşmula, son nemi 11.75 ± 0.07 oluncaya kadar 25 °C gölgede, 40, 50, 60 °C’de konvektif, 200, 400 ve 600 W’da mikrodalga ve 200 W-40 °C, 200 W-50 °C, 200 W-60 °C, 400 W-40 °C, 400 W-50 °C, 400 W-60 °C, 600 W-40 °C, 600 W-50 °C, ve 600 W-60 °C’de kombine mikrodalga-konvektif kurutma yöntemleriyle kurutulmuştur.

Gölgede kurutmanın 22500 dakika ile en uzun kurutma yöntemi olduğu belirlenmiş olup 40, 50 ve 60 °C’de konvektif kurutma yönteminde kurutma süresinin sırasıyla 12180, 3498 ve 1305 dakika sürdüğü saptanmıştır. Bununla birlikte, 200, 400 ve 600 W için kurutma süreleri sırasıyla 100.5, 57.5 ve 31 dakika olarak ölçülmüştür. Kombine kurutmada ise artan sıcaklık ve artan mikrodalga çıkış gücü ile kuruma süresinin kısaldığı, buna göre 200 W-40 °C, 200 W-50 °C ve 200 W-60 °C için kuruma süresinin sırasıyla 93, 71 ve 53.5 dakika olduğu tespit edilmiştir. Ayrıca, 400 W’ın 40, 50 ve 60 °C ile olan kombinasyonlarında kurumanın sırasıyla 50.4, 43 ve 33.5 dakika içinde gerçekleştiği, buna karşın 400 W’ın 40, 50 ve 60 °C ile kombinasyonlarında ise kuruma süresinin sırasıyla 29, 23 ve 17 dakikaya düştüğü görülmüştür. Kurutma verileri 22 farklı ince tabaka kurutma eşitliği ile modellenmiş ve deneysel verilere en yakın sonuçların gölgede kurutma için Page eşitliği, 40 ve 60 °C için Weibull eşitliği, 600 W, 400 W-40 °C, 400 W-60 °C ve 600 W-50 °C için Jena Das eşitliği ve 600 W-60 °C için Logistic eşitliği ile elde edildiği saptanmıştır. Diğer kurutma yöntemlerinin tümünde deneysel verilere en yakın tahmin sonuçları Alibaş eşitliği ile elde edilmiştir.

Mikrodalga çıkış gücünün ve kurutma sıcaklığının artması ile ortalama kuruma hızının da arttığı görülmüş olup, en yüksek kuruma hızı 600 W-60 °C’de kombine kurutmada elde edilmiştir. Buna karşın, en düşük kuruma hızı ise en uzun kuruma süresinin kaydedildiği 25 °C’de gölgede kurutmada saptanmıştır. Toplam enerji tüketimi ve özgül enerji tüketimi açısından en yüksek değerler, 40°C’de konvektif kurutmada ölçülmüştür. Ayrıca, konvektif kurutma yönteminde sıcaklıkların artmasıyla hem özgül enerji tüketiminin hem de toplam enerji tüketiminin azaldığı vurgulanmıştır. Kurutma materyalinde olası bozulma ve küflenmeyi engellemek adına, 25 °C ile %60-65 nispi nemdeki oda koşullarının elde edilmesi için yaklaşık 15 günlük kurutma süresi boyunca

harcanan gizli enerji maliyeti dikkate alındığında, aslında gölgede kurutmanın enerji tüketimi açısından sıfır maliyetli bir yöntem olduğu söylenemez.

Tüm kurutma yöntemleri ele alındığında taze ürüne en yakın renk parametrelerinin 600 W-50 °C ve 400W-40 °C’de kombine mikrodalga-konvektif kurutma yönteminde ölçüldüğü, buna karşın gölgede ve konvektif kurutma yöntemlerinin ise muşmulanın renk parametrelerini olumsuz yönde etkilediği belirlenmiştir. Çalışmada, toplam renk değişimi (ΔE) açısından taze ürüne en yakın değerlerin 600 W-50 °C ve 400 W-40 °C’de belirlendiği kaydedilmiştir. Kahverengileşme indeksi (KI) bakımından taze ürüne en yakın değerler 600 W-50 °C’de kombine mikrodalga-konvektif kurutmada elde edilmiş olup, beyazlaşma indeksi açısından 400 W-40 °C’de elde edilen değer taze üründen daha yüksek olduğu, yani ürün renginde açılma meydana geldiği tespit edilmiştir. Toplam renk değişimi ve beyazlaşma indeksi açısından taze ürüne göre en belirgin azalışın kaydedildiği yöntemlerin ise konvektif ve gölgede kurutma olduğu görülmüştür. Kahverengileşme indeksinde en belirgin kayıplar ise 200 W-60 °C’de saptanmıştır. Renk parametreleri, toplam renk değişimi (ΔE), kahverengileşme indeksi (KI) ve beyazlaşma indeksi (BI) arasında hem negatif hem de pozitif yönlü çok sayıda kuvvetli ilişki tespit edilmiştir.

Taze ürüne kıyasla protein içeriğinin en iyi korunduğu kurutma yönteminin 400 W’ta mikrodalga kurutma yöntemi olduğu belirlenmiştir. Diğer yandan, 60 °C’de protein içeriğinde, en fazla kaybın elde edildiği tespit edilmiştir. Makro besin elementlerinde fosfor (P) ve potasyum (K) içeriği bakımından en iyi sonuçlar 600 W-60 °C’de elde edilirken, taze ürüne en yakın magnezyum (Mg) ve kalsiyum (Ca) içeriği ise sırasıyla 400 W-40 °C ve 600 W’da ölçülmüştür. Fosfor (P) açısından kayıpların en yüksek düzeyde olduğu yöntemler gölgede kurutma, 400 W’da mikrodalga kurutma ve 200 W-60 °C’de kombine kurutmada iken, 60 °C ve gölgede kurutma ise potasyum içeriğindeki yüksek oranda kayıpla sonuçlanmıştır. En düşük kalsiyum (Ca), magnezyum (Mg) içeriği ise 200 W-50 °C’de kaydedilmiştir.

Mikro besin elementlerinden sodyum (Na) ve bakır (Cu) için en yüksek sonuçlar 600 W-60 °C’de ölçülmüştür. Taze ürüne en yakın sonuçlar, demir (Fe) için 200 W, manganez (Mn) için 400 W-40 °C ve çinko (Zn) için 600 W-40 °C’de elde edilmiştir. Buna karşın, en düşük sonuçlar ise sodyum (Na), bakır (Cu), manganez (Mn) ve çinko

(Zn) için gölgede kurutma yönteminde ölçülürken, demir (Fe) için 200 W-50 °C'de kaydedilmiştir. Çalışmada, tüm besin elementlerinin birbiri ile çok sayıda pozitif yönlü yüksek ilişkiler sergilediği saptanmıştır.

Taze ürüne en yakın ekstrakte edilebilir toplam fenolik bileşenler 600W-60 °C'de konvektif-mikrodalga kurutmada belirlenirken, en yüksek hidrolize edilebilir ve biyoalınabilir toplam fenolik madde içeriği ise 60 °C'de ölçülmüştür. Muşmulanın toplam fenolik bileşenlerinin yüzdesel biyoalınabilirliği gölgede kurutmada en yüksek düzeydedir.

Toplam antioksidan kapasitesini belirlemek için ABTS, CUPRAC ve DPPH yöntemleri kullanılmıştır. En yüksek antioksidan kapasitesinin yüzde biyoyararlılığı ise ABTS için gölgede kurutmada, DPPH için 200 W-50 °C'de ve CUPRAC için ise 400 W-60 °C'de ölçülmüştür. CUPRAC ve ABTS yöntemlerine kıyasla, ekstrakte, hidrolize ve biyoalınabilir antioksidan kapasitesinin en yüksek olduğu DPPH yöntemi, muşmulanın antioksidan kapasitesinin belirlenmesi için en uygun yöntem olarak tayin edilmiştir.

Çalışmada biyoaktif bileşenler arasında çok sayıda pozitif yönlü yüksek ilişki olduğu belirlenmiştir. Ayrıca, biyoaktif bileşenler ile renk parametreleri (L^* , a^* , b^* , α^*), toplam renk değişimi (ΔE), kahverengileşme indeksi (KI), beyazlaşma indeksi (BI), protein içeriği ve besin elementleri arasında hem pozitif hem de negatif yönlü çok sayıda yüksek korelasyon olduğu tespit edilmiştir.

KAYNAKLAR

- Adak, N., Heybeli, N., Ertekin, C. (2017). Infrared drying of strawberry. *Food Chemistry*, 219, 109-116. doi:10.1016/j.foodchem. 2016.09.103
- Aghilinategh, N., Rafiee, S., Hosseinpour, S., Omid, M., Mohtasebi, S.S. (2015). Optimization of intermittent microwave–convective drying using response surface methodology. *Food Science & Nutrition*, 3(4), 331-341. doi:10.1002/fsn3.224
- Aghbashlo, M., Kianmehr, M. H., Khani, S., Ghasemi, M. (2009). Mathematical modelling of thin- layer drying of carrot. *International Agrophysics*, 23(4), 313– 317. Erişim adresi: <http://www.international-agrophysics.org/Mathematical-modelling-of-thin-layer-drying-of-carrot,106450,0,2.html>
- Akani, N. P., Jumbo, B., Nwankwo, C. E. (2017). Effect of drying temperatures on mineral composition and bacterial populations of Vernonia amygdalina (Bitter leaf). *Research Journal of Food Science and Quality Control*, 3(2), 39-49. Erişim adresi: https://www.researchgate.net/publication/325270540_Effect_of_Drying_Temperatures_on_Mineral_Composition_and_Bacterial_Populations_of_Vernonia_amygdalina_Bitter_Leaf
- Aksoy, A. (2019). *Farklı kurutma yöntemlerinin kıymanın kurutma kinetiği, mikroyapısı, rengi ve rehidrasyon oranı üzerine etkisi*. (Doktora Tezi, Yıldız Teknik Üniversitesi, İstanbul). Erişim adresi: <https://avesis.yildiz.edu.tr/yonetilen-tez/bd454f51-cc8b-411e-b227-303207b74056/farkli-kurutma-yontemlerinin-kiymanin-kurutma-kinetigi-mikroyapisi-rengi-ve-rehidrasyon-orani-uzerine-etkisi>
- Aksu, R. (2018). *Muşmula (Mespilus germanica L.) meyvesi ile yapılan turşuların bazı fiziksel ve kimyasal özellikleri*. (Yüksek Lisans Tezi, Atatürk Üniversitesi, Erzurum). Erişim adresi: <https://tez.yok.gov.tr/UlusalTezMerkezi/tezDetay.jsp?id=fZ6kBAUeY0uiKCRgSJEdPQ&no=ZXgcGFBNmf2Pb4fwnJ46ag>
- Aladag, M. O., Doğu, S., Uslu, N., Özcan, M. M., Gezgin, S., Dursun, N. (2020). Effect of drying on antioxidant activity, phenolic compounds and mineral contents of hawthorn and wild pear fruits. *Erwerbs-Obstbau*, 62(4), 473-479. doi:10.1007/s10341-020-00526-6
- Alibas, I., Zia, M. P., Yilmaz, A., Asik, B. B. (2020). Drying kinetics and quality characteristics of green apple peel (Mallus communis L. var.“Granny Smith”) used in herbal tea production. *Journal of Food Processing and Preservation*, 44(2), e14332. doi:10.1111/jfpp.14332
- Alibas, I., Yilmaz, A., Asik, B. B., Erdoğan, H. (2021). Influence of drying methods on the nutrients, protein content and vitamin profile of basil leaves. *Journal of Food Composition and Analysis*, 96, 103758. doi:10.1016/j.jfca.2020.103758

- Alibaş, I. (2012a). Microwave drying of grapevine (*Vitis vinifera* L.) leaves and determination of some quality parameters. *Journal of Agricultural Sciences*, 18, 43-53. doi:10.1501/Tarimbil_0000001191
- Alibaş, İ. (2012b). Microwave drying of strawberry slices and the determination of the some quality parameters. *Tarım Makinaları Bilimi Dergisi*, 8(2), 161-170. Erişim adresi: <https://dergipark.org.tr/tr/pub/tarmak/issue/11536/137403>
- Alibaş, İ., Köksal, N. (2017). Bögürtlenin mikrodalga ve sıcak hava ile kurutulması ve kurutmanın renk ve askorbik asit içeriği üzerine etkisinin etkisi. *Yalova Atatürk Bahçe Kùltürleri Merkez Araştırma Enstitüsü Dergisi*, 46(1), 53-62. Erişim adresi: https://arastirma.tarimorman.gov.tr/yalovabahce/Belgeler/bahce/sayilar/Bahce_46_1_2017_ozel_sayi.pdf
- Alkaç, S.P. (2019). *Isı Pompalı İnfrared Kurutucuda Dilimlenmiş Limonun Kurutulmasının Performans Analizi*. (Yüksek Lisans Tezi, Gazi Üniversitesi, Ankara). Erişim adresi: <https://avesis.gazi.edu.tr/yonetilen-tez/7c61a425-2abf-45f0-863b-5fe8c710fa1d/isi-pompali-infrared-kurutucuda-dilimlenmis-limonun-kurutulmasinin-performans-analizi>
- Anonim, 2020a. Döngel ağacı ve döngel meyvesi. <https://www.e-yasamrehberi.com> (Erişim Tarihi: 26.12.2020)
- Anonim, 2020b. Muşmulanın faydaları. <https://www.yasemin.com> (Erişim Tarihi: 26.12.2020)
- Anonim, 2020c. Mikrodalga tekniğinin gelişimi ve temel özellikleri. <https://silo.tips/download/mikrodalga-frekanslar-bant-iermektedir-ultra-yksek-frekans-sper-yksek-frekans-ve> (Erişim Tarihi: 17.08.2021)
- Apak, R., Guclu, K., Ozyurek, M., Celik, S.E. (2008). Mechanism of antioxidant capacity assays and the CUPRAC (Cupric iron reducing antioxidant capacity) assay. *Microchimica Acta*, 4, 413-419. doi:10.1007/s00604-007-0777-0
- Arda, S.O. (2017). *Mikrodalga ve güneş enerjisi kombinasyonlu kurutucu kullanılarak kurutma davranışının deneysel olarak incelenmesi*. (Yüksek Lisans Tezi, Namık Kemal Üniversitesi, Tekirdağ). Erişim adresi: <http://acikerisim.nku.edu.tr:8080/xmlui/bitstream/handle/20.500.11776/1093/0050448.pdf?sequence=1&isAllowed=y>
- Arslan, D., Özcan, M. M., Mengeş, 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(12), 2769-2775. doi: 10.1016/j.enconman.2010.06.013
- Arslan, D., Özcan, M. M. (2011). Drying of tomato slices: changes in drying kinetics, mineral contents, antioxidant activity and color parameters Secado de rodajas de tomate: cambios en cinéticos del secado, contenido en minerales, actividad

- antioxidante y parámetros de color. *CyTA-Journal of Food*, 9(3), 229-236. doi: 10.1080/19476337.2010.522734
- Arslan, A. A., Uysal, M., Yılmaz, A., Al-mashhadani, M. M., Canpolat, O., Şahin, F., Aygörmmez, Y. (2019). Influence of wetting-drying curing system on the performance of fiber reinforced metakaolin-based geopolymer composites. *Construction and Building Materials*, 225, 909-926. doi:10.1016/j.conbuildmat.2019.07.235
- Babalıs, S. J., Belessiotis, V.G. (2004). Influence of the drying conditions on the drying constants and moisture diffusivity during the thin-layer drying of figs. *Journal Of Food Engineering*, 65(3), 449-458. doi:10.1016/j.jfoodeng.2004.02.005
- Babalıs, S.J., Papanicolaou, E., Kyriakis, N., Belessiotis, V.G. (2006). Evaluation of thin-layer drying models for describing drying kinetics of figs (*Ficus carica*). *Journal of Food Engineering*, 75, 205-214. doi:10.1016/j.jfoodeng.2005.04.008
- Başataç, R. (2019). *Çankırı yöresinde üretimi yapılan tarhana ve eriştenin farklı kurutma yöntemleri ile kurutularak kurutma parametrelerinin deneysel tasarım yöntemi ile incelenmesi*. (Yüksek Lisans Tezi, Çankırı Karatekin Üniversitesi, Çankırı). Erişim adresi: https://tez.yok.gov.tr/UlusalTezMerkezi/tezDetay.jsp?id=zBH7NAXcqHpcAKlAKoeYTQ&no=ir3UU0yv5Bz7O_dqn1IUoQ
- Bicer, A., Kar, F. (2013). Experimental investigation of drying behavior of rosehip in a cyclone-type dryer. *International Journal of Nutrition and Food Engineering*, 7(6), 419-423. doi:10.5281/zenodo.1060739
- Bilaloğlu, F. (2019). *Farklı kurutma yöntemlerinin pamukova ayvasının kuruma davranışı üzerine etkisinin deneysel incelenmesi*. (Yüksek Lisans Tezi, Sakarya Üniversitesi, Sakarya). Erişim adresi: <https://acikerisim.sakarya.edu.tr/handle/20.500.12619/79599>
- Bremmer, J.M. (1965). *Total nitrogen in: methods of soil analysis*. (Ed.C.A Black), part 2. Amer.Soc.of Agr.Inc. (s.1149-1178) içinde. Wisconsin-USA : Yazar.
- Cemeroğlu, B.S. (2013). *Meyve sebze işleme teknolojisi (1.cilt)*. Ankara: Yazar.
- Cevahir, G. (2019). *Seçilmiş bazı muşmula genotiplerinin (Mespilus germanica L.) fitokimyasal ve antioksidan özellikleri*. (Master's thesis, Ordu Üniversitesi, Ordu). Erişim adresi: <http://earsiv.odu.edu.tr:8080/xmlui/bitstream/handle/11489/1077/10219844.pdf?sequence=1&isAllowed=y>
- Chandra, P.K., Singh, R.P. (1995). *Applied numerical methods for food and agricultural engineers*. Boca Raton: Yazar.
- Chauan, A., Tanwar, B., Arneja, I. (2015). Influence of processing on physiochemical, nutritional and phytochemical composition of *Carissa spinarum* (Karonda) fruit. *Asian*

- Journal of Pharmaceutical and Clinical Research*, 8(6), 254-259. Erişim adresi: https://www.researchgate.net/publication/284736766_Influence_of_processing_on_physiochemical_nutritional_and_phytochemical_composition_of_Carissa_spinarum_karonda_fruit
- Chiau, E., Francisco, J.D.C., Bergenstaring, B., Sjouml, I. (2013). Softening of dried *Vangueria infausta* (African medlar) using maltodextrin and sucrose. *African Journal of Food Science*, 7(10), 382-391. doi:10.5897/AJFS2013.1034
- Chong, C.H., Figiel, A., Law, C.L., Wojdylo, A. (2013). Combined drying of apple cubes by using of heat pump, vacuum-microwave, and intermittent techniques. *Food and Bioprocess Technology*, 7(4), 975–989. doi: 10.1007/s11947-013-1123-7
- Coklar, H., Akbulut, M., Kılınç, S., Yıldırım, A., Alhassan, I. (2018). Effect of freeze, oven and microwave pretreated oven drying on color, browning index, phenolic compounds and antioxidant activity of hawthorn (*Crataegus orientalis*) fruit. *Notulae Botanicae Horti Agrobotanici Cluj-Napoca*, 46(2), 449-456. doi:10.15835/nbha46211027
- Çakmak, H., Bozdoğan, N., Turkut, G. M., Kumcuoğlu, S., Tavman, Ş. (2016). Dağ çileğinin (*Arbutus unedo* L.) kuruma kinetiğinin incelenmesi ve kalite özelliklerinin belirlenmesi. *Gıda*, 41(4), 227-234. doi:10.15835/nbha46211027
- Çelen, S., Haksever, A., Moralar, A. (2017). The Effects of Microwave Energy to the Drying of Apple (Gala) Slices. *Karaelmas Fen ve Mühendislik Dergisi*, 7(1), 228-236. doi:10.7212/zkufbd.v1i1.500
- Danso-Boateng, E. (2013). Effect of drying methods on nutrient quality of Basil (*Ocimum viride*) leaves cultivated in Ghana. *International Food Research Journal*, 20(4), 1569-1573. Erişim adresi: https://www.researchgate.net/publication/287742977_Effect_of_drying_methods_on_nutrient_quality_of_basil_ocimum_viride_leaves_cultivated_in_Ghana
- Demir, V., Gunhan, T., Yagcioglu, A.K. (2007). Mathematical modelling of convection drying of green table olives. *Biosystems Engineering*, 98, 47–53. doi:10.1016/j.biosystemseng.2007.06.011
- Demirhan, E., Özbek, B. (2011). Thin-layer drying characteristics and modeling of celery leaves undergoing microwave treatment. *Chemical Engineering Communications*, 198(7), 957-975. doi:10.1080/00986445.2011.545298
- Diamante, L.M., Munro, P.A. (1991). Mathematical modeling of hot air drying of sweet potato slices. *International Journal of Food Science and Technology*, 26, 99. doi:10.1111/j.1365-2621.1991.tb01145.x
- Diamante, L.M., Munro, P.A. (1993). Mathematical modeling of the thin layer solar drying of sweet potato slices. *Solar Energy*, 51, 271-276. doi:10.1016/0038-092X(93)90122-5

- Dinrifo, R.R. (2012). Effects of pre-treatments on drying kinetics of sweet potato slices. *Agricultural Engineering International: CIGR Journal*, 14(3), 136-145. Erişim adresi: <https://www.researchgate.net/publication/284183760>
- Doğu, S.Ö. (2016). *Dana nuarına (M. semitendinosus) uygulanan ön işlemlerin mikrodalga kurutmaya etkisinin belirlenmesi*. (Yüksek Lisans Tezi, Selçuk Üniversitesi, Konya). Erişim adresi: <http://acikerisimarsiv.selcuk.edu.tr:8080/xmlui/handle/123456789/3476>
- Doymaz, İ., Tugrul, N., Pala, M. (2006). Drying characteristics of dill and parsley leaves. *Journal of Food Engineering*, 77(3), 559-565. doi:10.1016/j.jfoodeng.2005.06.070
- Eyiz, V., Tontul, İ., Türker, S. (2020). Effect of variety, drying methods and drying temperature on physical and chemical properties of hawthorn leather. *Journal of Food Measurement and Characterization*, 14(6), 3263-3269. doi:10.1007/s11694-020-00574-2
- Fang, S., Wang, Z., Hu, X., Datta, A. K. (2009). Hot-air drying of whole fruit chinese jujube (*Zizyphus jujuba* Miller): Physicochemical properties of dried products. *International Journal of Food Science and Technology*, 44(7), 1415-1421. doi:10.1111/j.1365-2621.2009.01972.x
- Göksu, A.Ö. (2019). *Ultrason ön uygulamalı ve mikrodalga kurutma yöntemi ile şeker pancarı posasından diyet gıda lifi eldesi*. (Doktora Tezi, Erciyes Üniversitesi, Kayseri). Erişim adresi: <https://tez.yok.gov.tr/UlusalTezMerkezi/tezDetay.jsp?id=hAuqJOvcRXh7v3zjH4ePlQ&no=GyMGcaCf4tb3fjzZ8G5LAg>
- Güleç, F., Özdemir, G.D.T. (2017). Karayemiş (*Laurocerasus officinalis* Roemer) meyvesinin kuruma karakteristiğinin incelenmesi. *Akademik Ziraat Dergisi*, 6(1), 73-80. Erişim adresi: <https://dergipark.org.tr/tr/download/article-file/370311>
- Günaydın, S. (2020). *Mikrodalga, konvektif ve gölgede kurutma yöntemleri kullanılarak kurutulmuş kuşburnu meyvesinin kurutma kinetiği, renk ve besin elementi içeriği ačíısından incelenmesi*. (Yüksek Lisans Tezi, Uludađ Üniversitesi, Bursa). Eriřim adresi: <http://hdl.handle.net/11452/14954>
- Gürbüz, E.M., Bostan, S.Z. (2020). Çarşamba ilçesi (Samsun) Ümitvar muşmula genotiplerinin fiziksel ve kimyasal karakterizasyonu. *Kahramanmaraş Sütçü İmam Üniversitesi Tarım ve Doğa Dergisi*, 23(4), 816-823. doi:10.18016/ksutarimdog.vi.692052
- Haciseferoğulları, H., Özcan, M., Sonmete, H.M., Özbek, O. (2005). Some physical and chemical parameters of wild medlar (*Mespilus germanica* L.) fruit grown in Turkey. *Journal of Food Engineering*, 69, 1-7. doi:10.1016/j.jfoodeng.2004.07.004

- Henderson, S.M., Pabis, S. (1961). Grain drying theory II. temperature effects on drying coefficients. *Journal of Agricultural Engineering Research*, 6, 169-174. Erişim adresi: [https://www.scirp.org/\(S\(czeh2tfqyw2orz553k1w0r45\)\)/reference/ReferencesPapers.aspx?ReferenceID=1068637](https://www.scirp.org/(S(czeh2tfqyw2orz553k1w0r45))/reference/ReferencesPapers.aspx?ReferenceID=1068637)
- Henderson, S.M. (1974). Progress in developing the thin layer drying equation. *Transactions of the ASAE*, 17, 1167-1172. doi:10.13031/2013.37052
- Hernández-Urbiola, M.I., Pérez-Torrero, E., Rodríguez-García, M.E. (2011). Chemical analysis of nutritional content of prickly pads (*Opuntia ficus indica*) at varied ages in an organic harvest. *International Journal of Environmental Research and Public Health*, 8, 1287-1295. doi:10.3390/ijerph8051287
- Horecki, T. A., Vakula, A., Pavlić, B., Jokać, M., Malbařa, R., Vitas, J., řumić, Z. (2018). Comparative drying of cornelian cherries: Kinetics modeling and physico-chemical properties. *Journal of Food Processing and Preservation*, 42(3), e13562. doi: 10.1111/jfpp.13562
- Horneck, D.A., Hanson, D. (1998). *Elemental determination by atomic absorption spectrophotometry*. (Ed. Yash P. Kalra), Handbook of reference methods for plant analysis (s.157-164) içinde. Erişim adresi: https://plantstress.com/wp-content/uploads/2020/03/Handbook_of_Reference_Methods_for_Plant_Analysis-1998.pdf
- Horuz, E., Bozkurt, H., Karataş, H., Maskan, M. (2017). Effects of hybrid (microwave-convectional) and convectional drying on drying kinetics, total phenolics, antioxidant capacity, vitamin C, color and rehydration capacity of sour cherries. *Food chemistry*, 230, 295-305. doi:10.1016/j.foodchem.2017.03.046
- İncedayi, B., Tamer, C. E., Sinir, G. Ö., Suna, S., Çopur, Ö.U. (2016). Impact of different drying parameters on color, β -carotene, antioxidant activity and minerals of apricot (*Prunus armeniaca* L.). *Food Science and Technology*, 36(1), 171-178. doi:10.1590/1678-457X.0086
- Isaac, A.R., Johnson, W.C. (1998). *Microwave digestion of plant tissue in an open vessel*. (Ed. Yash P. Kalra), Handbook of reference methods for plant analysis (s.65-170) içinde. Erişim adresi: https://plantstress.com/wp-content/uploads/2020/03/Handbook_of_Reference_Methods_for_Plant_Analysis-1998.pdf
- İzli, N. (2007). *Mısırın sıcak hava akımıyla kurutulmasında kurutma parametrelerinin belirlenmesi*. (Yüksek Lisans Tezi, Uludağ Üniversitesi, Bursa). Erişim adresi: <http://acikerisim.uludag.edu.tr/jspui/bitstream/11452/3699/1/202336.pdf>
- İzli, N., Yıldız, G., Ünal, H., Işık, E., Uylaşer, V. (2014). Effect of different drying methods on drying characteristics, colour, total phenolic content and antioxidant capacity of Goldenberry (*Physalis peruviana* L.). *International Journal of Food Science and Technology*, 49(1), 9-17. doi:10.1111/ijfs.12266

- Izli, N., Izli, G., Taskin, O. (2017). Drying kinetics, colour, total phenolic content and antioxidant capacity properties of kiwi dried by different methods. *Food Measure*, 11, 64-74. doi: 10.1007/s11694-016-9372-6
- Jena, S., Das, H. (2007). Modelling for vacuum drying characteristic of coconut presscake. *Journal of Food Engineering*, 79, 92-99. doi:10.1016/j.jfoodeng.2006.01.032
- Juhaimi, F.A., Uslu, N., Özcan, M. M., EL Babiker, E. F., Ghafoor, K. (2016). Effect of drying on antioxidant activity, total phenol and mineral contents of pear fruits. *Journal of Food Safety and Food Quality*, 67, 164-167. doi:10.2376/0003-925X-67-164
- Juhaimi, F. A., Özcan, M. M., Uslu, N. (2017). The effect of microwave and conventional drying on antioxidant activity, phenolic compounds and mineral profile of date fruit (*Phoenix dactylifera* L.) flesh. *Food Measure*, 11(1), 58-63. doi:10.1007/s11694-016-9371-7
- Karaaslan, S., Erdem, T., Sarı, M. (2016). Microwave drying of quince slices. *Süleyman Demirel Üniversitesi Ziraat Fakültesi Dergisi*, 11(1), 27-33. Erişim adresi: <https://www.researchgate.net/publication/346678077>
- Karathanos, V.T. (1999). Determination of water content of dried fruits by drying kinetics. *Journal of Food Engineering*, 39, 337-344. doi:10.1016/S0260-8774(98)00132-0
- Kassem, A.S. (1998). Comparative studies on thin layer drying models for wheat. 13 th International Congress on Agricultural Engineering, 2-6 February 1998, Morocco.
- Kızmaz, A. (2019). *Farklı kurutma teknikleri ile kurutulan kivi dilimlerinin adsorpsiyon izotermelerinin belirlenmesi*. (Yüksek Lisans Tezi, Ordu Üniversitesi, Ordu). Erişim adresi: <https://9lib.net/document/ozl0w4oz-farkl%C4%B1-kurutma-teknikleri-kurutulan-dilimlerinin-adsorpsiyon-i%C4%B1-izotermelerinin-belirlenmesi.html>
- Kingsly, R. P., Goyal, R. K., Manikantan, M. R., Ilyas, S. M. (2007). Effects of pretreatments and drying air temperature on drying behavior of peach slice. *International Journal of Food Science and Technology*, 42(1), 65–69. doi:10.1111/j.13652 621.2006.01210.x
- Kolaç, T., Gürbüz, P., Yetiş, G. (2017). Doğal ürünlerin fenolik içeriği ve antioksidan özellikleri. *İnönü Üniversitesi Sağlık Hizmetleri Meslek Yüksek Okulu Dergisi*, 5(1), 26-42. Erişim adresi: <https://dergipark.org.tr/en/pub/inonusaglik/issue/29401/410872>
- Kovacı, T., Dikmen, E., Şencan Şahin, A. (2018). Kurutma sistemleri, enerji tüketimleri ve ürün kalitesine etkileri ve örnek sistem tasarımı. *Teknik Bilimleri Dergisi*, 8(2), 25-39. Erişim adresi: <https://dergipark.org.tr/tr/pub/tbed/issue/38662/434322>

- Kovacı, T. (2019). *Dondurarak kurutma sistemi tasarımı ve tıbbi aromatik ürünlerin kurutma parametrelerinin araştırılması*. (Doktora Tezi, Isparta Uygulamalı Bilimler Üniversitesi, Isparta). Erişim adresi: <https://tez.yok.gov.tr/UlusalTezMerkezi/tezDetay.jsp?id=8j2boe9tKBstdl4Pm5ndnQ&no=OIXZ-NhshHd1vAKfaVr7Mw>
- Kowalski, S. J., Stasiak, M., Szadzin, J. (2016). Microwave and ultrasound enhancement of convective drying of strawberries: Experimental and modeling efficiency. *International Journal of Heat and Mass Transfer*, 103, 1065–1074. doi:10.1016/j.ijheatmasstransfer.2016.08.001
- Koyuncu, T., Tosun, I., Ustun, N. S. (2003). Drying kinetics and color retention of dehydrated rosehips. *Drying Technology*, 21(7), 1369-1381. doi: 10.1081/DRT-120023184
- Koyuncu, T., Pinar, Y., Lule, F. (2007). Convective drying characteristics of azarole red (*Crataegus monogyna* Jacq.) and yellow (*Crataegus aronia* Bosc.) fruits. *Journal of Food Engineering*, 78(4), 1471-1475. doi:10.1016/j.jfoodeng.2005.09.036
- Krokida, M. K., Maroulis, Z. B., Saravacos, G. D. (2001). The effect of the method of drying on the colour of dehydrated products. *International Journal Of Food Science and Technology*, 36(1), 53-59. doi:10.1046/j.1365-2621.2001.00426.x
- Lenaerts, S., Van Der Borght, M., Callens, A., Van Campenhout, L. (2018). Suitability of microwave drying for mealworms (*Tenebrio molitor*) as alternative to freeze drying: impact on nutritional quality and colour. *Food Chemistry*, 254, 129-136. doi:10.1016/j.foodchem.2018.02.006
- Lewis, W.K. (1921). The rate of drying of solid materials. *The Journal of Industrial and Engineering Chemistry*, 13, 427-432. doi:10.1021/ie50137a021
- López, J., Uribe, E., Vega-Gálvez, A., Miranda, M., Vergara, J., Gonzalez, E. (2010). Effect of air temperature on drying kinetics, vitamin C, antioxidant activity, total phenolic content, non-enzymatic browning and firmness of blueberries variety O'neil. *Food and Bioprocess Technology*, 3, 772–777. doi:10.1007/s11947-009-0306-8
- Maral, E. (2019). *Samsun ili Çarşamba ilçesi muşmula genotiplerinin kimyasal ve fiziksel karakterizasyonu*. (Yüksek Lisans Tezi, Ordu Üniversitesi, Ordu). Erişim adresi: <http://earsiv.odu.edu.tr:8080/xmlui/handle/11489/1078>
- Maskan, M. (2000). Microwave/air and microwave finish drying of banana. *Journal Of Food Engineering*, 44(2), 71-78. doi:10.1016/S0260-8774(99)00167-3
- Midilli, A., Kucuk, H., Yapar, Z. (2002). A new model for single layer drying. *Drying Technology*, 20(7), 1503-1513. doi:10.1081/DRT-120005864

- Moreira, I.S., da Silva, W.P., de Castro, D.S., de Melo Silva, L.M., Gomes, J.P., e Silva, C.M.D.P.S. (2018). Production of kiwi snack slice with different thickness: Drying kinetics, sensory and physicochemical analysis. *Australian Journal of Crop Science*, 12(05), 778-787. doi: 10.21475/ajcs.18.12.05.PNE925
- Motevali, A., Minaei, S., Khoshtaghaza, M. H., Amirnejat, H. (2011). Comparison of energy consumption and specific energy requirements of different methods for drying mushroom slices. *Energy*, 36(11), 6433-6441. doi:10.1016/j.energy.2011.09.024
- Nguyen, T. K., Mondor, M. ve 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
- Oancea, S., Moiseenco, F., Ketney, O., Traldi, P. (2014). Effects of freezing and oven drying of Romanian wild and cultivated red raspberries on total anthocyanins and total antioxidant capacity. *Romanian Biotechnological Letters*, 19(2), 9241. doi:10.3109/09637486.2011.644769
- Ong, S. P., Law, C. L. (2011). Microstructure and optical properties of salak fruit under different drying and pretreatment conditions. *Drying Technology*, 29(16), 1954-1962. doi:10.1080/07373937.2011.606389
- Orak, H.H., Aktaş, T., Yağar, H., İşbilir, S.S., Ekinçi, N., Şahin, F.H. (2012). Effects of hot air and freeze drying methods on antioxidant activity, colour and some nutritional characteristics of strawberry tree (*Arbutus unedo* L.) fruit. *Food Science and Technology International*, 18(4), 391-402. doi:10.1177/1082013211428213
- Overhults, D.D., White, G.M., Hamilto, M.E., Ross, I.J. (1973). Drying soybeans with heated air. *Transactions of the ASAE*, 16, 195-200. doi:10.13031/2013.37459
- Ozkan, A.I., Akbudak, B., Akbudak, N. (2007). Microwave drying characteristics of spinach. *Journal of Food Engineering*, 78(2), 577-583. doi:10.1016/j.jfoodeng.2005.10.026
- Özcan, M., Arslan, D., Ünver, A. (2005). Effect of drying methods on the mineral content of basil (*Ocimum basilicum* L.). *Journal of Food Engineering*, 69(3), 375-379. doi:10.1016/j.jfoodeng.2004.08.030
- Özcan, M.M., Uslu, N. (2017). Effect of drying on antioxidant activity of guava (*Psidium guajava* L.) fruit. *Zeitschrift für Arznei- & Gewürzpflanzen*, 22(3), 125–128. Erişim adresi: <https://www.cabdirect.org/cabdirect/abstract/20173350766>
- Page, G. (1949). *Factors influencing the maximum rate of air-drying shelled corn in thin layers*. (MSc Thesis, Purdue University, West Lafayette). Erişim adresi: <https://www.proquest.com/docview/301817819>

- Paunović, D., Kalušević, A., Petrović, T., Urošević, T., Djinović, D., Nedović, V., Popović-Djordjević, J. (2019). Assessment of chemical and antioxidant properties of fresh and dried rosehip (*Rosa canina* L.). *Notulae Botanicae Horti Agrobotanici Cluj-Napoca*, 47(1), 108-113. doi:10.15835/nbha47111221
- Pető, J., Cserni, I., Hüvely, A. (2016). Some beneficial nutrient and mineral content of medlar fruits. *GRADUS*, 3(1), 258-262. Erişim adresi: <http://real.mtak.hu/id/eprint/110417>
- Pieszka, M., Gogol, P., Pietras, M., Pieszka, M. (2015). Valuable components of dried pomaces of chokeberry, black currant, strawberry, apple and carrot as a source of natural antioxidants and nutraceuticals in the animal diet. *Annals of Animal Science*, 15(2), 475491. doi:10.2478/aoas-2014-0072
- Polatçı, H., Tarhan, S. (2009). The effects of various drying methods on the drying time and quality of basil (*Ocimum basilicum*). *Journal of the Agricultural Faculty of Gaziosmanpaşa University*, 26(1), 61-70. Erişim adresi: http://ziraatdergi.gop.edu.tr/Makaleler/388143782_61-70.pdf
- Polatçı, H., Taşova, M. (2017). Sıcaklık kontrollü mikrodalga kurutma yönteminin alıç (*Crataegus* spp. L.) meyvesinin kuruma karakteristikleri ve renk değerleri üzerine etkisi. *Türk Tarım-Gıda Bilim ve Teknoloji Dergisi*, 5(10), 1130-1135. doi:10.24925/turjaf.v5i10.1130-1135.1201
- Polatçı, H., Taşova, M. (2018). Mikrodalga fırın ile kurutulan yenedünya (*Eriobotrya japonica* L.) meyvesinin kuruma kinetiği ve kalitesinin belirlenmesi. *Anadolu Tarım Bilimleri Dergisi*, 33(2), 124-130. doi:10.7161/omuanajas.342904
- Rahman, S.M.A., Islam, M. R., Mujumdar, A.S. (2007). A study of coupled heat and mass transfer in composite food products during convective drying. *Drying Technology*, 25(7-8), 1359-1368. doi:10.1080/07373930701438956
- Raice, R. T., Chiau, E., Sjöholm, I., Bergenstahl, B. (2015). The loss of aroma components of the fruit of *Vangueria infausta* L.(African Medlar) after convective drying. *Drying Technology*, 33(8), 887-895. doi:10.1080/07373937.2014.995804
- Raza, N., Arshad, M. U., Anjum, F. M., Saeed, F., Maan, A. A., Bader Ul Ain, H. (2019). Impact of drying methods on composition and functional properties of date powder procured from different cultivars. *Food Science & Nutrition*, 7(7), 2345-2352. doi:10.1002/fsn3.1081
- Sahan, Y., Gurbuz, O., Guldaz, M., Degirmencioglu, N., Begenirbas, A. (2017). Phenolics, antioxidant capacity and bioaccessibility of chicory varieties (*Cichorium* spp.) grown in Turkey. *Food Chemistry*, 217, 483-489. doi:10.1016/j.foodchem.2016.08.108

- Samoticha, J., Wojdyło, A., Lech, K. (2016). The influence of different the drying methods on chemical composition and antioxidant activity in chokeberries. *LWT-Food Science and Technology*, 66, 484-489. doi: 10.1016/j.lwt.2015.10.073
- Santos, S. C., Guiné, R. P., Barros, A. (2014). Effect of drying temperatures on the phenolic composition and antioxidant activity of pears of Rocha variety (*Pyrus communis* L.). *Food Measure*, 8(2), 105-112. doi:10.1007/s11694-014-9170-y
- Sarıgök, Y. (2019). *Tokat ilinde domates kurutmada farklı kurutma koşullarının kuruma özellikleri ve kalite üzerine etkisi*. (Tokat Gaziosmanpaşa Üniversitesi, Tokat). Erişim adresi:file:///C:/Users/oem/AppData/Local/Packages/Microsoft.MicrosoftEdge_8wek yb3d8bbwe/TempState/Downloads/562607.pdf
- Seerangurayar, T., Al-Ismaili, A. M., Jeewantha, L. J., Al-Habsi, N. A. (2019). Effect of solar drying methods on color kinetics and texture of dates. *Food and Bioproducts Processing*, 116, 227-239. doi:10.1016/j.fbp.2019.03.012
- Sharaf-Eldeen, Y.I., Blaisdell, J.L., Hamdy, M.Y. (1980). A model for ear corn drying. *Transactions of the ASAE*, 23, 1261-1271. doi:10.13031/2013.34757
- Shivanna, V. B., Subban, N. (2014). Effect of various drying methods on flavor characteristics and physicochemical properties of dried curry leaves (*Murraya koenigii* L. Spreng). *Drying Technology*, 32(8), 882-890. doi: 10.1080/07373937.2013.871727
- Shonte, T. T., Duodu, K. G., de Kock, H. L. (2020). Effect of drying methods on chemical composition and antioxidant activity of underutilized stinging nettle leaves. *Heliyon*, 6(5), e03938. doi: 10.1016/j.heliyon.2020.e03938
- Soysal, Y. (2004). Microwave drying characteristics of parsley. *Biosystems Engineering*, 89(2), 167-173. doi:10.1016/j.biosystemseng.2004.07.008
- Suna, S. (2019). Effects of hot air, microwave and vacuum drying on drying characteristics and in vitro bioaccessibility of medlar fruit leather (pestil). *Food Science and Biotechnology*, 28(5), 1465-1474. doi:10.1007/s10068-019-00588-7
- Şimşek, M. (2018). *Bazı sebze ve meyvelerin mikrodalga kurutma davranışının deneysel araştırılması ve matematiksel modellenmesi*. (Yüksek Lisans Tezi, Recep Tayyip Erdoğan Üniversitesi, Rize). Erişim adresi: <http://acikerisim.erdogan.edu.tr/xmlui/handle/11436/195>
- Taşova, M., Ergüneş, G., Gerçekçioğlu, R., Karagül, Ş. (2019). Konvektif ve mikrodalga yöntemlerle kurutulan kuşburnu (*Rosamontana Chaixsubsp. woronovii* (Lonacz) Ö. Nilsson) meyvelerinde kalite değişimleri. *Anadolu Tarım Bilimleri Dergisi*, 34(3), 312-318. doi:10.7161/ omuanajas.541230

- Taştekinoglu, D. (2019). *Sıcak hava ile infrared kurutma yöntemleri ile ön işlemlerin üzümün kurutma karakteristikleri üzerine etkisi*. (Yüksek Lisans Tezi, Yıldız Teknik Üniversitesi, İstanbul). Erişim adresi: <https://avesis.yildiz.edu.tr/yonetilen-tez/702a0af7-ca2e-4c03-a309-3e85ccc50773/sicak-hava-ve-infrared-kurutma-yontemleri-ile-onislemelerin-uzumun-kurutma-karakteristikleri-uzerine-etkisi>
- Tekgöl, Y. (2019). *Limon kabuğunun farklı kurutma yöntemleriyle optimum kurutma koşullarının belirlenmesi ve kurutma yöntemlerinin bazı kalite özellikleri ile uçucu bileşenler üzerine etkileri*. (Doktora Tezi, Ege Üniversitesi, İzmir). Erişim adresi: <https://acikerisim.ege.edu.tr/xmlui/handle/11454/67832?locale-attribute=en>
- Thomson, T.L., Peart, P.M., Foster, G.H. (1968). Mathematical simulation of corn drying; a new model. *Transactions of ASAE*, 11, 582-586. doi:10.13031/2013.39473
- Timurtaş, Ö. (2020). *Enerji depolama sistemli güneş enerjili gıda kurutma sistemlerinde kurutma performansının incelenmesi*. (Yüksek Lisans Tezi, Ege Üniversitesi, İzmir). Erişim adresi: <https://tez.yok.gov.tr/UlusalTezMerkezi/tezDetay.jsp?id=cLfJUDzg5V2zQr4GOfmBKA&no=ptX2EJG1QWHULLE5I7uVvA>
- Top, V., Tontul, İ., Türker, S. (2019). Use of solar energy assisted drying methods in the food industry. *Turkish Journal of Agriculture - Food Science and Technology*, 7(8), 1100-1112. doi:10.24925/turjaf.v7i8.1100-1112.2121
- Verma, L.R., Bucklin, R.A., Endan, J.B., Wratten, F.T. (1985). Effects of drying air parameters on rice drying models. *Transactions of the ASAE*, 28, 296-301. doi:10.13031/2013.32245
- Vitali, D., Dragojevic, I.V., Sebecic, B. (2009). Effects of incorporation of integral raw materials and dietary fiber on the selected nutritional and functional properties of biscuits. *Food Chemistry*, 114, 1462-1469. doi:10.1016/j.foodchem.2008.11.032
- Wang, C.Y.R.P., Singh. (1978). *A single layer drying equation for rough rice*. USA: Yazar.
- Wojdyło, A., Figiel, A., Legua, P., Lech, K., Carbonell-Barrachina, Á. A., Hernández, F. (2016). Chemical composition, antioxidant capacity, and sensory quality of dried jujube fruits as affected by cultivar and drying method. *Food Chemistry*, 207, 170-179. doi:10.1016/j.foodchem.2016.03.099
- Xu, W., Song, C., Li, Z., Song, F., Hu, S., Li, J., Raghavan, G. V. (2018). Temperature gradient control during microwave combined with hot air drying. *Biosystems Engineering*, 169, 175-187. doi:10.1016/j.biosystemseng.2018.02.013
- Yıldız, D. (2019). *Balkabağı dilimlerinin farklı kurutma yöntemleri ile kurutulmasında ön işlem olarak ultrases destekli ozmotik kurutma kullanımı*. (Yüksek Lisans Tezi, Ordu Üniversitesi, Ordu). Erişim adresi: <http://earsiv.odu.edu.tr:8080/xmlui/handle/11489/996>

- Yilmaz, A., Alibas, I. (2021). The impact of drying methods on quality parameters of purple basil leaves. *Journal of Food Processing and Preservation*, 45, e15638. doi:10.1111/jfpp.15638
- Yokuş, B. (2014). *Farklı ön işlemlerin ve uygulanan farklı kurutma yöntemlerinin elmada toplam fenol miktarı ve antioksidan aktivite üzerine etkileri*. (Yüksek Lisans Tezi, Bilecik Şeyh Edebali Üniversitesi, Bilecik). Erişim adresi: <http://acikkaynak.bilecik.edu.tr/xmlui/handle/11552/261>
- Zarein, M., Samadi, S.H., Ghobadian, B. (2015). Investigation of microwave dryer effect on energy efficiency during drying of apple slices. *Journal of the Saudi Society of Agricultural Sciences*, 14(1), 41-47. doi:10.1016/j.jssas.2013.06.002
- Zhang, Y.Q., Wu, W.F., Luo, H.P., Yi, X.K., Li, J.X. (2012). Thin-layer drying characteristics and modeling of Chinese jujubes. *Mathematical Problems in Engineering*, 2012, 1-18. doi: 10.1155/2012/386214
- Zhao, G., Zhang, R., Liu, L., Deng, Y., Wei, Z., Zhang, Y., Zhang, M. (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
- Zia, M. P., Alibas, I. (2021a). Influence of the drying methods on color, vitamin C, anthocyanin, phenolic compounds, antioxidant activity, and in vitro bioaccessibility of blueberry fruits. *Food Bioscience*, 42, 101179. doi:10.1016/j.fbio.2021.101179
- Zia, M. P., Alibas, I. (2021b). The Effect of Different Drying Techniques on Color Parameters, Ascorbic Acid Content, Anthocyanin and Antioxidant Capacities of Cornelian Cherry. *Food Chemistry*, 364, 130358. doi:10.1016/j.foodchem.2021.130358
- Zuo, C.C., Yu, H.M., Xie, Q.J. (2015). Drying characteristics and model of Chinese hawthorn using microwave coupled with hot air. *Mathematical Problems in Engineering*, 2015, 1-15. doi:10.1155/2015/480752