

**MİKRODALGA, KONVEKTİF VE GÖLGEDE
KURUTMA YÖNTEMLERİ KULLANILARAK
KURUTULMUŞ KUŞBURNU MEYVESİNİN KURUTMA
KİNETİĞİ, RENK VE BESİN ELEMENTİ İÇERİĞİ
AÇISINDAN İNCELENMESİ**

Seda GÜNAYDIN



T.C.
BURSA ULUDAĞ ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

**MİKRODALGA, KONVEKTİF VE GÖLGEDE KURUTMA YÖNTEMLERİ
KULLANILARAK KURUTULMUŞ KUŞBURNU MEYVESİNİN KURUTMA
KİNETİĞİ, RENK VE BESİN ELEMENTİ İÇERİĞİ AÇISINDAN
İNCELENMESİ**

Seda GÜNAYDIN
0000-0003-2510-9638

Doç. Dr. İlknur ALİBAŞ
(Danışman)

YÜKSEK LİSANS TEZİ
BİYOSİSTEM MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI

BURSA – 2020

TEZ ONAYI

Seda GÜNAYDIN tarafından hazırlanan “Mikrodalga, Konvektif ve Gölgede Kurutma Yöntemleri Kullanılarak Kurutulmuş Kuşburnu Meyvesinin Kurutma Kinetiği, Renk ve Besin Elementi İçeriği Açısından İncelenmesi” adlı tez çalışması aşağıdaki jüri tarafından oy birliği ile Bursa Uludağ Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Biyosistem Mühendisliği Anabilim Dalı’nda **YÜKSEK LİSANS TEZİ** olarak kabul edilmiştir.

Danışman : Doç. Dr. İlknur ALİBAŞ

Başkan : Doç. Dr. İlknur ALİBAŞ
0000-0002-1890-8390
Bursa Uludağ Üniversitesi,
Ziraat Fakültesi,
Biyosistem Mühendisliği Anabilim Dalı

Üye : Prof. Dr. Can ERTEKİN
0000-0003-2987-2438
Akdeniz Üniversitesi,
Ziraat Fakültesi,
Tarım Makinaları ve Teknolojileri Mühendisliği
Anabilim Dalı

Üye : Prof. Dr. Kamil ALİBAŞ
0000-0001-5628-5648
Bursa Uludağ Üniversitesi,
Ziraat Fakültesi,
Biyosistem Mühendisliği Anabilim Dalı

Yukarıdaki sonucu onaylarım

Prof. Dr. Hüseyin Arsel EREN
Enstitü Müdürü
/ / 2020

U.Ü.Fen Bilimleri Enstitüsü, tez yazım kurallarına uygun olarak hazırladığım bu tez çalışmada;

- tez içindeki bütün bilgi ve belgeleri akademik kurallar çerçevesinde elde ettiğimi,
- görsel, işitsel ve yazılı tüm bilgi ve sonuçları bilimsel ahlak kurallarına uygun olarak sunduğumu,
- başkalarının eserlerinden yararlanılması durumunda ilgili eserlere bilimsel normlara uygun olarak atıfta bulunduğumu,
- atıfta bulunduğum eserlerin tümünü kaynak olarak gösterdiğimi,
- kullanılan verilerde herhangi bir tahrifat yapmadığımı,
- ve bu tezin herhangi bir bölümünü bu üniversite veya başka bir üniversitede başka bir tez çalışması olarak sunmadığımı

beyan ederim.

08/07/2020

Seda GÜNAYDIN

ÖZET

Yüksek Lisans Tezi

MİKRODALGA, KONVEKTİF VE GÖLGEDE KURUTMA YÖNTEMLERİ
KULLANILARAK KURUTULMUŞ KUŞBURNU MEYVESİNİN KURUTMA
KİNETİĞİ, RENK VE BESİN ELEMENTİ İÇERİĞİ AÇISINDAN İNCELENMESİ

Seda GÜNAYDIN

Bursa Uludağ Üniversitesi
Fen Bilimleri Enstitüsü
Biyosistem Mühendisliği Anabilim Dalı

Danışman: Doç. Dr. İlknur ALİBAŞ

Kütlesi 50.00 ± 0.02 g ve ilk nem içeriği $\%52.79 \pm 0.05$ (y.b.) olan kuşburnu (*Rosa canina* L.) gölgede, 50°C sıcaklıkta konvektif ve 100 W, 300 W, 500 W, 700 W ve 1000 W'da mikrodalga kurutma yöntemleri kullanılarak son nem içeriği $\%11.14 \pm 0.03$ (y.b.) oluncaya dek kurutulmuştur. Bu kurutma işlemleri belirtilen sırayla 9360, 1080, 364, 162, 77, 45 ve 21 dakikada tamamlanmıştır. Elde edilen kurutma verileri literatürdeki 21 farklı ince tabaka kurutma modeli ile modellenmiş ve deneysel verilere en yakın tahmin sonuçlarının gölgede kurutma, 50°C , 300 W, 500 W ve 700 için Alibaş modeli olduğu tespit edilmiştir. Bununla birlikte, 100 W ve 1000 W için en iyi tahmin modelinin sırasıyla Weibull dağılımı ve geliştirilmiş Henderson ve Pabis modelleri olduğu saptanmıştır. Taze ürünün renk parametrelerine en yakın sonuçları veren kurutma yöntemlerinin 700 W ve 500 W güç düzeyinde mikrodalga kurutma yönteminde olduğu görülmüştür. Buna karşın, 100 W'da kurutmanın renk parametrelerinde büyük kayıplara neden olduğu kaydedilmiştir. Toplam protein miktarının en yüksek olduğu kurutma yöntemlerinin 500 W ve 700 W'da mikrodalga kurutma yöntemleri olduğu görülmüştür. Çalışmada, K, Mg, Na ve Fe içeriğinin en iyi korunduğu kurutma yönteminin 500 W olduğu; buna karşın P, Ca, Cu, Mn ve Zn içeriğinin ise 700 W'da yüksek düzeyde korunduğu tespit edilmiştir. Çalışmada hem kuruma süresi, ortalama kuruma hızı, toplam enerji tüketimi ve özgül enerji tüketiminden oluşan kurutma parametreleri hem de renk ve besin elementleri gibi kalite parametreleri açısından en iyi kurutma yöntemlerinin 700 W ve 500 W mikrodalga kurutma olduğu saptanmıştır.

Anahtar Kelimeler: kuşburnu, kurutma, renk, matematiksel modelleme, besin elementi, kurutma süresi

2020, viii + 65 sayfa.

ABSTRACT

MSc Thesis

INVESTIGATION OF ROSEHIPS DRIED VIA MICROWAVE, CONVECTIVE AND SHADE DRYING METHODS IN TERMS OF DRYING KINETICS, COLOR AND NUTRIENTS CONTENT

Seda GÜNAYDIN

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

Supervisor: Assoc. Prof. Dr. İlknur ALİBAŞ

Rosehip (*Rosa canina* L.) whose mass is 50.00 ± 0.02 g and initial moisture content is $52.79 \% \pm 0.05$ (w.b.) was dried using shade drying, convective drying at 50°C , microwave drying at 100 W, 300 W, 500 W, 700 W and 1000 W until its final moisture content was $11.14 \% \pm 0.03$ (w.b.). These drying process were completed in 9360, 1080, 364, 162, 77, 45 and 21 minutes, respectively. The obtained data related to drying were modelled with 21 different thin-layer drying models in the relevant literature, and thus the closest estimation results to the experimental data were identified to be Alibas model for shade drying, 50°C , 300 W, 500 W and 700 W. Besides, the best estimation model for 100 W and 1000 W was determined to be Weibull distribution and Modified Henderson and Pabis equations, respectively. It was also concluded that the drying methods showing the closest results to the colour parameters of the fresh product were microwave drying methods at 700 W and 500 W. However, drying at 100 W led to great losses in colour parameters. The drying methods with the highest amount of protein were seen to be the microwave drying methods at 500 and 700 W. Last but not least, the drying method in which K, Mg, Na and Fe content is best conserved was 500 W; on the other, P, Ca, Cu, Mn and Zn content were preserved at a high level at 700 W. The findings suggested that the best drying methods were 700 W and 500 W microwave drying in terms of both drying parameters consisting of drying period, average drying rate, total energy consumption as well as specific energy consumption and quality parameters such as colour and nutrients.

Key words: Rosehip, drying, color mathematical models, nutrient elements, drying period

2020, viii + 65 pages.

TEŞEKKÜR

Tez çalıŐmalarım sűresince araŐtırma konusunun belirlenmesinden araŐtırma bulguları elde edilinceye kadar her aŐamada her zaman yanımda olan desteęini, yardımlarını, ilgisini benden hiçbir zaman esirgemeyen çok deęerli DanıŐman Hocam Sayın Doç. Dr. İlknur ALİBAŐ'a, tez çalıŐmalarım sűresince bana her konuda yardımcı olan Yűksek Biyosistem Műhendisi Aslıhan YILMAZ'a sonsuz teŐekkűrlerimi sunarım.

Maddi ve manevi hiçbir zaman desteklerini benden esirgemedi, her koŐulda yanımda olan babam Hűsnű GŪNAYDIN'a, annem Saniye GŪNAYDIN'a ve ablam Sevinç GŪNAYDIN'a sonsuz teŐekkűrlerimi sunarım.

Seda GŪNAYDIN

08/07/2020

İÇİNDEKİLER

	Sayfa
ÖZET.....	i
ABSTRACT.....	i
TEŞEKKÜR.....	ii
SİMGELER ve KISALTMALAR DİZİNİ	v
ŞEKİLLER DİZİNİ.....	vii
ÇİZELGELER DİZİNİ	viii
1. GİRİŞ.....	1
2. KAYNAK ARAŞTIRMASI	6
3. MATERYAL VE YÖNTEM	14
3.1. Materyal	14
3.2. Kurutma Ekipmanları ve Kullanılan Cihazlar.....	14
3.2.1. Mikrodalga Kurutucu	14
3.2.2. Etüv.....	15
3.2.3. Hassas Teraziler	15
3.2.4. Renk Ölçüm Cihazı.....	16
3.2.5. Kjeldahl Yöntemine Göre Protein Tayininde Kullanılan Cihazlar	17
3.2.6. Makro ve Mikro Besin Elementi Tayininde Kullanılan Cihazlar	18
3.2.7. Elektrik Sayacı	20
3.2.8. Derin Dondurucu.....	20
3.3. Yöntem.....	21
3.3.1. Kurutma Yöntemi.....	21
3.3.2. Enerji Tüketimi ve Özgül Enerji Tüketimi	22
3.3.3. Renk Ölçüm Yöntemi	22
3.3.4. Besin Elementi Analizleri	24
3.3.5. Veri Analizi.....	25
4. BULGULAR VE TARTIŞMA	28
4.1. Kurutma Kinetiği ve Matematiksel Modelleme.....	28
4.2. Enerji Tüketimi ve Özgül Enerji Tüketimi	40
4.3. Renk Parametreleri, Toplam Renk Değişimi ve Kahverengileşme İndeksi.....	43
4.3.1. Renk Parametreleri.....	43
4.3.2. Toplam Renk Değişimi ve Kahverengileşme İndeksi.....	45
4.4. Protein İçeriği ve Makro - Mikro Besin Elementi Konsantrasyonu	47
4.5. Verilerin Doğrusal Korelasyonları	50
5. SONUÇ.....	53
KAYNAKLAR	55
ÖZGEÇMİŞ.....	65

SİMGELER ve KISALTMALAR DİZİNİ

Simgeler	Açıklama
$M_{Rexp,i}$	Ayrılabilir nem içeriği (%)
MR	Ayrılabilir nem içeriği
M_e	Denge nem muhtevasını ($kg_{su} kg_{KM}^{-1}$)
M	Herhangi bir andaki nem içeriği ($kg_{su} kg_{KM}^{-1}$)
χ^2	Ki kare
C	Kroma
k, k_0, k_1, k_2	Kuruma hız sabitleri (dk^{-1})
DR	Kuruma hızı ($kg_{su} kg_{KM}^{-1} dk^{-1}$)
a, a_0, b, c, g, h	Kuruma katsayıları
t	Kurutma süresi, s
L_k	Materyalin kalınlığı (mm)
$M_{Rpre,i}$	Modelin tahmin ettiği nem içeriği
W_0	Numunelerin ilk andaki kütlesi, kg
W_k	Numunelerin toplam kuru kütlesi, kg
R^2	Regresyon katsayısı
a	Rengin kırmızılık / sarılık değeri
L	Rengin parlaklığı / koyuluğu
b	Rengin sarılık / mavilik değeri
α	Renk açısı
n_i	Sabit ve katsayıların sayısı (adet)
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)
M_0	Ürünün ilk nem içeriği ($kg_{su} kg_{KM}^{-1}$)

Kısaltmalar	Açıklama
$(NH_4)_2SO_4$	Amonyum sülfat
N	Azot
Cu	Bakır
$CuSO_4$	Bakır sülfat
Zn	Çinko
Fe	Demir
P	Fosfor
HCl	Hidroklorik asit
Ca	Kalsiyum
Kg	Kilogram, kütle
KS	Kuruma süresi, dk
KY	Kurutma yöntemi
Mg	Magnezyum
Mn	Manganez
HNO_3	Nitrik asit
O_2	Oksijen

RMSE	Ortalama karesel hata
OKH	Ortalama kuruma hızı ($\text{kg}_{\text{su}} \text{kg}_{\text{KM}}^{-1} \text{dk}^{-1}$)
ÖET	Özgül enerji tüketimi ($\text{kWh kg}_{\text{su}}^{-1}$)
HClO_4	Perklorik asit
K	Potasyum
K_2SO_4	Potasyum sülfat
Se	Selenyum
Na	Sodyum
NaOH	Sodyum hidroksit
SH	Standart hata
H_2SO_4	Sülfirik asit
SEE	Tahmini standart hata
TET	Toplam enerji tüketimi (kWh)
TP	Toplam protein içeriği (%)

ŞEKİLLER DİZİNİ

	Sayfa
Şekil 3.1. Kuşburnu (<i>Rosa canina</i> L.).....	14
Şekil 3.2. (a) Mikrodalga Fırın (b) Etüv	15
Şekil 3.3. Hassas Teraziler	16
Şekil 3.4. Renk Ölçüm Cihazı.....	16
Şekil 3.5. Blok Yakma Sistemi	17
Şekil 3.6. Destilasyon Cihazı	17
Şekil 3.7. Hot Plate	18
Şekil 3.8. Çeker Ocak.....	18
Şekil 3.9. ICP Cihazı.....	19
Şekil 3.10. Flame Fotometre	19
Şekil 3.11. UV-VIS Spektrofotometre	20
Şekil 3.12. Monofaze Elektrik Sayacı.....	20
Şekil 4.1. Farklı yöntemler kullanılarak kurutulmuş kuşburnu meyvesinin zamana bağlı nem içeriği	30
Şekil 4.2. Farklı yöntemler kullanılarak kurutulmuş kuşburnu meyvesinin nem içeriğine bağlı kuruma hızları	31
Şekil 4.3 Farklı yöntemler kullanılarak kurutulmuş kuşburnu meyvesinin deneysel ve deneysel sonuçlara en yakın sonuçları veren model aracılığıyla hesaplanan tahmini ayrılabilir nem oranları.....	34

ÇİZELGELER DİZİNİ

Sayfa

Çizelge 3.1.	Kuşburnu meyvesinin kurutulmasında kullanılan modeller	26
Çizelge 4.1.	Gölgede kurutma, 50°C’de konveksiyonlu kurutma, 100W ve 300W’da mikrodalga kurutma yöntemleriyle kurutulan kuşburnu meyvesinin modellenmesinde kullanılan ince tabaka kurutma modellerinin deneysel parametrelerle olan istatistiksel verileri yer alan kurutma sabit ve katsayıları.....	35
Çizelge 4.2.	Mikrodalga kurutma yöntemi 500 W, 700 W ve 1000 W’da kurutulan kuşburnu meyvesinin modellenmesinde kullanılan ince tabaka kurutma modellerinin deneysel parametrelerle olan istatistiksel verileri yer alan kurutma sabit ve katsayıları.....	36
Çizelge 4.3.	Gölgede kurutma ve 50°C’de konveksiyonla kurutma ile kurutulan kuşburnu meyvesinin modellenmesinde kullanılan ince tabaka kurutma modellerinde yer alan kurutma sabit ve katsayıları.....	37
Çizelge 4.4.	Mikrodalga kurutma yönteminin 100 W ve 300 W mikrodalga çıkış güçleri kullanılarak kurutulan kuşburnu meyvesinin modellenmesinde kullanılan ince tabaka kurutma modellerinde yer alan kurutma sabit ve katsayıları.....	38
Çizelge 4.5.	Mikrodalga kurutma yönteminin 500 W ve 700 W mikrodalga çıkış güçleri kullanılarak kurutulan kuşburnu meyvesinin modellenmesinde kullanılan ince tabaka kurutma modellerinde yer alan kurutma sabit ve katsayıları.....	39
Çizelge 4.6.	Mikrodalga kurutma yönteminin 1000 W mikrodalga çıkış gücü kullanılarak kurutulan kuşburnu meyvesinin modellenmesinde kullanılan ince tabaka kurutma modellerinde yer alan kurutma sabit ve katsayıları	40
Çizelge 4.7.	Kuşburnunun farklı yöntemlerle kurutulması sırasındaki kurutma süresi, ortalama kuruma hızı, toplam enerji tüketimi ve özgül enerji tüketimi	42
Çizelge 4.8.	Taze ve kurutulmuş kuşburnu meyvesinin renk parametreleri	46
Çizelge 4.9.	Taze ve kurutulmuş kuşburnu meyvesinin protein içeriği ve makro besin elementleri.....	48
Çizelge 4.10.	Taze ve kurutulmuş kuşburnu meyvesinin mikro besin elementleri.....	49
Çizelge 4.11.	Taze ve kurutulmuş kuşburnu meyvesinin fitokimyasal parametreleri arasındaki lineer regresyonlar	52

1. GİRİŞ

Kuşburnu (*Rosa canina* L.) gülgiller familyasına mensup olan yabancı bir bitki türüdür. Anavatanının Türkiye olduğu bilinen kuşburnunun yetiştiriciliği zamanla dünyada geniş bir coğrafyaya yayılmıştır. Kuşburnunun Batı Asya, Avrupa ve Kuzey Afrika'da bol miktarda yetişen dikenli bir bitki türü olduğu bilinmektedir (Sarıbaş 1996; Ercişli 2007; Fan ve ark. 2014; Okcu ve ark. 2017; Anonim 2020a). Süs bitkisi olarak yetiştiriciliği yapılan kuşburnu meyvesinin zamanla gıda formları ve çay olarak tüketimi yaygınlaşmıştır (Nas ve Gökalp 1993; Hazar ve ark. 2016; Turan ve ark. 2018).

Parlak kırmızı renkte, içi tüylü ve küçük çekirdek yapısına sahip olan kuşburnunun çok sayıda çeşidi mevcuttur. Kırsal alanlarda ve orman yamaçlarında kendiliğinden yetişebilen, herhangi bir bakım ve sulama gerektirmeyen yabancı bir bitki türüdür. Dünyadaki kuşburnu, alıç, erik, yenedünya, armut, elma gibi gülgiller familyasına dahil olan meyvelerin yetiştiriciliğinin yaklaşık dörtte biri ülkemiz tarafından gerçekleştirilmektedir. Ülkemizde Karadeniz, Marmara ve Orta Anadolu'da yetişen kuşburnunun ticari amaçla *Rosa canina* ve *Rosa rugosa* türlerinin tarımı yapılmaktadır. Kuşburnu meyvesinin içinin tüylü, çekirdekli ve et kısmının sert olması nedeniyle taze olarak tüketilmesi oldukça zordur. Bu sebepten dolayı marmelat komposto, reçel, pekmez, pestil, pasta jölesi, meyve cipsi gibi gıda maddelerine dönüştürülerek tüketilmekte, kurutulmuş kuşburnu meyvelerinden çay elde edilmekte, meyve suyu, bebek maması yapımında kullanılmaktadır. Ayrıca ilaç ve kozmetik ürünlerinin yapım aşamasında kuşburnu yağından faydalanılmaktadır (Türker ve İşleroğlu 2017; Turan ve ark. 2018; Taşova ve ark. 2019).

Kuşburnu A, B1, B2, B3, B6, E, C, K, P vitaminlerini, demir (Fe), çinko (Zn), potasyum (K), kalsiyum (Ca), magnezyum (Mg), fosfor (P), sodyum (Na) ve manganez (Mn) gibi son derece önemli mineralleri yapısında bulundurması yönüyle sağlık açısından oldukça faydalı bir meyve türüdür. Bunların yanı sıra bünyesinde bol miktarda metabolizmanın hızlanmasına katkı sağlayan lif, fruktoz, glikoz, sitrik asit, malik asit, ellagik asit, tannik asit barındırmaktadır (Doğan ve ark. 2006; Fan ve ark. 2014).

Kuşburnu diğer meyve ve sebze türlerine kıyasla C vitamini yönünden oldukça zengin bir meyve çeşididir (Yıldız ve Nergiz 1996; Anonim 2020a). Aynı zamanda kuşburnu önemli bir antioksidan kaynağıdır. Bunun yanı sıra yapısında yüksek oranda pektin, hesperidin, önemli yağlar, proteinler ve vitaminleri barındırması açısından son derece önemlidir (Özrenk ve ark. 2011; Okcu ve ark. 2017; Şengül ve ark. 2018; Gruenwald ve ark. 2019). Kuşburnu karoten, likopen ve antosiyanin gibi renk pigmentlerini içermektedir. Yapısındaki renk pigmentleri meyvenin kırmızı rengini almasında önemli rol oynamaktadır. Meyvede tatlı ekşi karışımı tadı sitrik asit, ellagik asit ve malik asit sağlamaktadır (Doğan ve ark. 2006; Fan ve ark. 2014; Anonim 2020d).

Bazı araştırmacılar tarafından kuşburnunun sağlık açısından etkileri araştırılmıştır. Sharma ve ark. (2012) yaptıkları bir çalışmada kuşburnu yapısında bulunan linolenik asitin kan şekerini düzenlediği, nörolojik hastalıklar ve kalp damar hastalıklarına karşı koruyucu bir etki gösterdiğini bildirmiştir. Kuşburnu ülser oluşumunu engellemekte ve boğaz ağrısı, soğuk algınlığı gibi solunum yolu hastalıklarının iyileşmesine katkı sağlamaktadır. Bununla birlikte pektin içermesi yönüyle kötü kolesterol seviyesini düşürücü etkisi vardır. Aynı zamanda vücudun savunma sistemini güçlendirmektedir (Guimaraes ve ark. 2010; Horvath ve ark. 2012). Bunların yanı sıra iltihap oluşumunun önüne geçerek kireçleme, romatizma gibi eklem ve kemik hastalıklarını önlediği ve bünyesinde bulunan hesperidinin çeşitli göz hastalıklarına ve kanser türlerine karşı koruyucu bir etkisinin olduğu bilinmektedir (Jager ve ark. 2007; Fan ve ark. 2014; Anonim 2020b). Birden fazla kullanım alanı olan kuşburnunun tohumlarından yağ ekstraksiyonu ile yağ elde edilerek bu yağdan da faydalanılmaktadır. Kuşburnu yağının cilde esneklik, canlılık, parlaklık katarak erken yaşta ortaya çıkma ihtimali olan kırışıklıkları önleyici etkisi vardır. Ayrıca güneşin sebep olduğu cilt lekelerini, yanık lekelerini ve deri hastalıklarını iyileştirici etkisi bulunmaktadır (Guimaraes ve ark. 2010; Anonim 2020e).

Olgunluk seviyesine geldiğinde toplanarak tüketiciye sunulan taze sebze ve meyveler hasat işleminden sonra belirli bir süre boyunca canlılığını sürdürmektedir. Yapısında bulunan yoğun su miktarı nedeniyle ürünler hasattan hemen sonra hızlı bir şekilde bozulmaya başlamaktadır. Bozulmaya başlayan bu ürünlerde renk, koku, görüntü, tat, vitamin, besin elementi kayıpları meydana gelmektedir. Bu kayıpların önüne geçmek

için geçmişten günümüze pek çok muhafaza yöntemi kullanılmaktadır. Bu yöntemlerden biri de kurutma yöntemidir (Alibaş 2012a; Darıcı ve Şen 2012).

En genel tanımıyla kurutma işlemi, tarımsal ürünlerin bünyesinde bulunan yüksek orandaki su miktarının, mikroorganizma faaliyetlerinin neredeyse duracağı bir nem değerine kadar üründen uzaklaştırılması olarak tanımlanmaktadır. Kurutma, gıdaların besin içeriği, renk, koku, tat gibi kalite parametrelerinin üst düzeyde korunması, uzun süre herhangi bir deformasyona uğramadan saklanabilmesi gibi avantajlarından dolayı çok eski yıllardan beri yaygın bir şekilde kullanılmaktadır (Alibaş 2012a, 2015; Gürlek ve ark. 2015; Demir ve ark. 2017; Yılmaz 2017). Ayrıca kurutma ile ürünlerin hacmi ve kütlesi azalmakta, böylece taşıma ve depolama kolaylığı sağlanmaktadır (Özbay ve Sarıçoban 2015; Alibas ve ark. 2020). Kurutma temel olarak konveksiyon (güneşte kurutma, sıcak havayla kurutma), kondüksiyon (vakumla kurutma) ve radyasyon (mikrodalga kurutma, kızılötesi kurutma) teknikleri kullanılarak yapılmakta olup geçmişten günümüze pek çok kurutma yöntemi tanımlanmıştır (Chua ve ark. 2001; Sharma ve Prasad 2001; Alibaş 2007; Karabacak ve ark. 2015; Top ve ark. 2019).

Bilinen en eski kurutma yöntemlerinden biri olan güneşte kurutmanın herhangi bir enerji ihtiyacının olmaması ve teknoloji gerektirmemesi gibi avantajları olmasına karşın; kurutmanın çok uzun sürede gerçekleşmesi, işgücü gereksiniminin yüksek olması, geniş alanlara ihtiyaç duyulması, ürünün toz, toprak, kemirgenler gibi çeşitli kirleticilere ve patojenlere maruz kalması, küflenme riski taşınması ve yüksek oranda kalite kayıplarının meydana gelmesi gibi dezavantajlı yönleri de bulunmaktadır. Bunların yanı sıra güneşte kurutma için genellikle nakliye açısından yol kenarlarındaki araziler tercih edilmektedir. Bu da egzoz emisyonlarının ürüne nüfuz etmesine ve ağır metal toksisitesine neden olmaktadır (Çakır 2015; Özbay ve Sarıçoban 2015; Top ve ark. 2019; Anonim 2020c). Ayrıca güneşte kurutma genellikle tarımsal amaçlı kullanılan arazilerde yapılmakta olduğundan bu arazilerde kurutma sezonu sürecinde tarımsal üretim yapılamamaktadır.

Aromatik tıbbi bitkilerin ve özellikle baharatların kurutulmasında gölgede kurutma yöntemi yaygın olarak kullanılmaktadır. Herhangi bir enerji gereksinimine ihtiyaç duyulmamasına karşın, bu yöntemin kurutma süresinin oldukça uzun olması, kapalı

ortamda nem kontrolünün zorluğundan ötürü üründe küflenme ve mantar oluşumuna sebebiyet vermesi, geniş alanlara ihtiyaç duyulması, ürünün böcek, sinek ve kemirgen gibi iç ortam zararlılarına açık olması gibi sayısız dezavantajı bulunmaktadır. Söz konusu dezavantajlarından dolayı gerek güneşte gerekse gölgede kurutma yöntemleri yerini daha güncel ve yenilikçi yöntemlere bırakmıştır (Toğrul 2006; Alibaş 2012b; Gürel ve ark. 2016).

Konvektif kurutma yöntemi, ilk yatırım maliyetinin düşük olması ve işletim kolaylığı gibi avantajlarından dolayı en çok tercih edilen yöntemlerden biridir. Konveksiyonel kurutma, fırın içerisinde sirküle olan havanın ısıtılması ile sağlanır. Isınan hava kurutma materyalinin dış yüzeyinden başlayarak yavaşça iç tabakalara doğru temas eder ve bu yöntemde materyalin dıştan içe doğru kuruması sağlanır (Cemeroğlu ve Özkan 2004). Konveksiyonel kurutucularda, dış ortamdaki hava fırın içine herhangi bir ön işleminden geçirilmeksizin alınmakta ve ısıtılarak bir fan aracılığıyla fırın içine dağıtılmaktadır. Bursa İlinin de içinde bulunduğu Marmara Bölgesi gibi bağıl nemin yüksek olduğu bölgelerde konveksiyonel kurutma, kurutma süresinin uzaması, enerji sarfiyatının artması, kurutulmuş ürünlerde büzülme ve çatlama gibi yapısal bozulmaların oluşması, yeniden su çekme kapasitesinin azalması, renk ve aroma kayıpları gibi pek çok dezavantaja neden olmaktadır (Sharma ve Prasad 2001; Alibaş 2007; Russo ve ark. 2013). Konvektif kurutmada hava sıcaklığının artmasıyla kuruma süresinin kısılmasına karşın, üründe büzülme gibi yapısal bozulmaların oluşma oranı artmaktadır (Alibaş 2007; Russo ve ark. 2013).

Mikrodalga kurutma yönteminin kurutma süresinin kısalığı, enerji tüketiminin az olması ve renk, tat, koku, aroma ve besin içeriğinin en üst düzeyde korunması gibi önemli avantajları bulunmaktadır (Karaaslan ve Tunçer 2008; Alibaş 2012a, 2015). Bu yöntemde, bir diyot lamba olan magnetron aracılığıyla kurutulacak materyal içerisindeki su molekülleri polarize edilerek yüksek frekansta titreşmesi sağlanır. Su moleküllerinin titreşimi ile oluşan kinetik enerji, ısı enerjisine dönüşür. Böylece materyalin küresel olarak ısınması sağlanır.

Mikrodalga kurutma yönteminde herhangi bir konveksiyonel kaynakla ısıtmaya gerek kalmaksızın doğrudan ürünün iç enerjisi ile kurutma gerçekleştirilir (Alibaş 2015;

Karabacak ve ark. 2015). Mikrodalga kurutma yönteminin ilk yatırım maliyetinin yüksekliği, karmaşık bir yapıya sahip olması, ürünün homojen kurumaması, özellikle şeker oranı yüksek olan ürünlerde yanma ve kararma gibi kalite kayıplarının oluşması ve yüksek mikrodalga çıkış güçlerinde üründe patlama, çatlama, yarıma gibi yapısal bozulmalar meydana gelmesi gibi dezavantajları bulunmaktadır. Orta ve düşük mikrodalga çıkış güçlerinin kullanılması ile bu kalite kayıpları ve yapısal bozulmaların önüne geçilebilmektedir (Özbek ve Dadalı 2007; Kutlu ve ark. 2015; Karabacak ve ark. 2015).

Birçok araştırmacı tarafından mikrodalga ile kurutma yöntemiyle kuşburnu (Taşova ve ark. 2019), kızılıcık (Yongsawatdigul ve ark. 1996), yaban mersini (Feng ve ark. 1999), çilek (Alibaş 2012c) ve böğürtlen (Alibaş ve Köksal 2017) gibi orman meyveleri kurutulmuş ve bu çalışmalarda mikrodalga kurutmanın kurutma süresi, enerji tüketimi, renk ve kalite kayıplarına etkisi araştırılmıştır. Buna karşın literatürde konvektif kurutma yöntemi kullanılarak kuşburnu (Taşova ve ark. 2019), mandalina dilimleri (Akdaş ve Başlar 2014), alıç (Aral ve Beşe 2016), kızılıcık (Polatoğlu ve Beşe 2017), armut (İzli 2018), malta eriği (Polatçı ve Taşova 2018) gibi meyvelerin de kurutulması sağlanmıştır.

Bu çalışmanın amacı; i) kuşburnu meyvesinin mikrodalga, konvektif ve gölgede kurutma yöntemleri ile kurutulması, ii) kurutma sırasında oluşan toplam enerji tüketimi ve özgül enerji tüketiminin belirlenmesi, iii) deneysel verilerin 21 farklı ince tabaka kurutma eşitliği kullanılarak modellenmesi, iv) kurutulan ürünlerdeki renk değişiminin taze ürünle karşılaştırmalı olarak saptanması, v) taze ve kurutulmuş kuşburnu meyvesinde toplam protein miktarı ile makro ve mikro besin elementlerinin tespit edilmesi, vi) kurutma süresi, enerji tüketimi, renk parametreleri ve besin elementleri baz alınarak taze ürüne en yakın sonuçları veren kurutma yönteminin ortaya konulmasıdır.

2. KAYNAK ARAŞTIRMASI

Koyuncu ve ark. (2003) başlangıç nem içeriği %50 (y.b.) olan kuşburnu meyvesini (*Rosa canina* L.) bağıl nemin %60 olduğu bir ortamda son nem içeriği %8 (y.b.) oluncaya kadar 30°C, 40°C, 50°C, 60°C ve 70°C sıcaklıklarda konvektif ve gölgede kurutma yöntemi ile kurutmuş ve taze ürüne en yakın renk değerinin 70°C'de konvektif kurutulmuş numunelerde olduğunu belirlemiştir. Ayrıca kurutma sıcaklığının azalmasıyla renkteki değişim de artmıştır.

Erentürk ve ark. (2005) tüm, ikiye ve dörde bölünmüş kuşburnu numunelerini 50°C, 60°C, 70°C ve 80°C sıcaklıklarda sıcak hava sirkülasyonlu bir kurutucu ile kurutmuştur. En uzun kurutma süresinin 30 saat ile 50°C olduğu, buna karşın en kısa kurutma süresinin ise 12 saat ile 80°C olduğunu belirlemiştir.

Pirone ve ark. (2007) kuşburnu meyvesini 50°C, 60°C, 70°C ve 90°C sıcaklıkta konveksiyonel kurutma yöntemi ile kurutmuştur. Çalışmada en kısa kurutma süresi 6 saat ile 90°C sıcaklıkta elde edilirken, en uzun kurutma süresi ise 30 saat ile 50°C sıcaklıkta kaydedilmiştir. Ayrıca, kurutma sıcaklığının artmasıyla ürünlerin ortalama kuruma hızının da arttığı kaydedilmiştir.

Koca ve ark. (2009) tarafından yürütülen bir çalışmada kuşburnu meyvesi 50°C, 60°C ve 70°C'de konveksiyonel olarak kurutulmuş olup, kurutma sıcaklığının azalmasıyla ürünlerin kuruma süresinin önemli ölçüde uzadığı belirlenmiştir.

Şen (2010) *Rosa canina* ve *Rosa dumanis* olmak üzere iki farklı çeşit kuşburnu meyvesini güneşte, gölgede, 540 W, 720 W, 900 W'da mikrodalga ve 100-200mmHg basınç değerleri ile 50°C ve 70°C'nin kombinasyonunu kullanarak vakumlu kurutma tekniği ile kurutmuştur. Gölgede ve güneşte kurutma işlemlerinin mikrodalga ve vakumla kurutma tekniğine kıyasla oldukça uzun sürdüğü saptanmıştır. Yapılan çalışmada güneşte ve gölgede kurutulan numunelerin renk ve besin içeriğinin önemli ölçüde kayba uğradığı tespit edilmiş ve taze ürünün C vitamini ve renk değerlerine en yakın sonuçların 720 W'da mikrodalga kurutma tekniğinde elde edildiği görülmüştür. Buna karşın mikrodalga kurutma yöntemi ile kurutulan kuşburnu meyvelerinin bir kısmında kabukta patlama ve yanma gibi kalite kayıplarının oluştuğu bildirilmiştir.

Evin (2011) kuşburnu meyvesini 90 W, 180 W, 360 W, 600 W ile 800 W'da mikrodalga kurutma yöntemi ile kurutmuş ve deneysel verileri on farklı ince tabaka kurutma modelini kullanarak modellemiştir. Buna göre deneysel verilere en yakın sonuçları veren modelin Page modeli olduğu saptanmıştır.

Bicer ve Kar (2013) kuşburnu meyvesini 50°C, 60°C, 70°C'de olmak üzere üç farklı sıcaklıkta konveksiyonel olarak kurutmuş ve farklı sıcaklıkların kuşburnu üzerindeki renk değişimi, kuruma süresi ve C vitamini içeriğine etkisini belirlemiştir. Çalışmada yüksek sıcaklıkların kuruma süresini belirgin bir şekilde kısalttığı, ancak kalite parametrelerini ve C vitamini içeriğini olumsuz yönde etkilediği belirtilmiştir.

Ohaco ve ark. (2014) sıcaklığın su tutma kapasitesi üzerine olan etkisini belirlemek için kuşburnu meyvesini 50°C, 60°C, 70°C olmak üzere üç farklı sıcaklıkta konveksiyonel olarak kurutmuştur. Yapılan çalışmada 60°C ve 70°C sıcaklıkta kurutulmuş numunelerde meydana gelen büzülmenin, 80°C sıcaklıkta kurutulmuş numunelerden daha fazla olduğu bildirilmiştir. Sonuç olarak, kurutma sıcaklığının artmasının kuşburnu meyvelerinin su tutma kapasitesini artırdığı saptanmıştır.

Quintero ve ark. (2014) kuşburnu pestili elde etmek amacıyla taze kuşburnu meyvelerini 60°C ve 70°C sıcaklıkta konvektif, 21.0 kPa basınç ile 60°C kombinasyonu ve 35.0 kPa basınç ile 70°C kombinasyonunu içeren vakumlu kurutma ve yine aynı sıcaklıklarda kızılötesi kurutma yöntemiyle kurutmuştur. Taze ürüne en yakın renk parametrelerinin 21.0 kPa basınç ile 60°C kombinasyonundan oluşan vakumlu kurutma yönteminde elde edildiği görülmüştür.

Ergüneş ve Taşova (2018) başlangıç nem içeriği %68.31 (y.b.) olan kuşburnu örneklerini son nem içeriği %10-15 (y.b.) oluncaya dek 50°C, 60°C ve 70°C'de sıcak hava sirkülasyonlu bir kurutucuda sırasıyla 16.5, 7.5 ve 7 saatte kurutmuştur. Çalışmada deneysel veriler Page, Yağcıoğlu ve Midilli-Küçük olmak üzere üç farklı ince tabaka kurutma eşitliği kullanılarak modellenmiş ve en iyi sonuçların Midilli-Küçük modeli ile elde edildiği görülmüştür.

Cin ve Palazoğlu (2019) ilk nem içeriği 43.83 ± 0.16 (y.b.) olan kuşburnu meyvelerini son nem içeriği %10'un (y.b.) altına düşünceye dek 60°C sıcaklıkta konvektif kurutma,

-45°C sıcaklıkta dondurarak kurutma ve 50 W, 100 W, 150 W çıkış güçleri ile 40mbar, 75mbar, 110mbar basınç kombinasyonlarını kullanarak vakumla kurutma yöntemleri ile kurutmuştur. Taze ürün renk değerlerine en yakın sonuçları veren yöntemin mikrodalga-vakum kombinasyonu olduğu belirlenmiştir.

Tontul ve ark. (2019) kuşburnu tozu elde etmek amacıyla kuşburnu örneklerini 50°C, 60°C, 70°C sıcaklıklarda konveksiyonel kurutucu ile kurutmuş ve kurutmanın, kuşburnu tozlarının fizikokimyasal özellikleri üzerine etkisini araştırmıştır. Çalışmada 70°C’de kurutulan numunelerdeki karoten yüksek sıcaklıktan etkilendiği için üründe siyahlaşmalar meydana gelmiştir. Buna karşın 50°C sıcaklık uygulaması sırasında üründe meydana gelen renk kayıplarında bir artış gözlemlenmiştir. Kurutmanın diğer yöntemlere kıyasla oldukça uzun sürmesi düşük sıcaklıkta meydana gelen bu artışın nedeni olarak görülmüştür. Ayrıca renk, askorbik asit ve antioksidan içeriğinin en iyi korunduğu kurutma tekniğinin 90°C sıcaklıkta kurutma olduğu saptanmıştır.

Taşova ve ark. (2019) kütlesi 25 ± 3 g olan kuşburnu numunelerini %68.31 (y.b.) başlangıç neminden %10-13 (y.b.) nem değerine dek 50°C, 60°C, 70°C hava sıcaklıklarında etüvde ve 360 W, 540 W, 720 W ve 900 W çıkış güçlerinde mikrodalga kurutma tekniği ile kurutmuş ve kurutmanın, toplam süre, C vitamini içeriği ve renk değişimine olan etkisini araştırmıştır. Mikrodalga kurutmada mikrodalga çıkış gücünün artmasıyla ve etüvde kurutmada sıcaklığın artmasıyla kurutma süresinin kısaldığı tespit edilmiştir. Etüvde kurutmada 60°C’de kurutma yöntemi ve mikrodalga kurutmada 720 W çıkış gücü ile kurutulmuş ürünlerin renk değerinin taze ürüne oldukça yakın olduğu tespit edilmiştir. Taze ürüne en yakın C vitamini içeriği mikrodalga kurutmada 900 W güç değerinde ve etüvde kurutmada 70°C hava sıcaklığında elde edilmiştir.

Alibaş (2012c) ilk nem içeriğini yaş baza göre %92.15 olarak belirlediği çilek dilimlerini (*Fragaria x ananassa* cv. Camarosa) son nem içeriği %13.87 oluncaya dek mikrodalga kurutma yöntemi ile 1000 W, 750 W, 500 W ve 350 W güç seviyelerinde kurutmuş ve kurutma sürelerini sırasıyla 4, 6.5, 9.5 ve 13.5 dakika olarak belirlemiştir. Elde edilen veriler literatürdeki 21 farklı ince tabaka kurutma eşitliği ile modellenmiş ve deneysel verilere en yakın sonuçları veren modelin Alibaş eşitliği olduğu belirtilmiştir.

Çalışmada renk parametreleri orta mikrodalga güç seviyesi olan 500 W'da en yüksek seviyede korunmuştur.

Aral ve Beşe (2016) alıç meyvesini 50°C, 60°C ve 70°C sıcaklıklarda konveksiyonlu kurutma yöntemi ile kurutmuş ve farklı sıcaklıkların rehidrasyon kapasitesi ve renk değişimi üzerine etkilerini araştırmıştır. Renk kaybının en yüksek olduğu yöntemin 50°C sıcaklık uygulaması olduğu; buna karşın taze ürüne en yakın renk parametrelerinin kaydedildiği yöntemin ise 70°C sıcaklık uygulaması olduğu görülmüştür. Çalışmada ayrıca rehidrasyon kapasitesi bakımından da en iyi sonuçların 70°C sıcaklık uygulamasında elde edildiği bildirilmiştir.

Güleç ve ark. (2017) karayemiş meyvesinin güneşte kurutma, 460 W, 600 W ve 700 W'da mikrodalga kurutma ve 200 W, 300 W, 400 W ve 500 W'da kızılötesi kurutma yöntemlerini kullanarak kurutmuş olup güneşte kurutma yönteminin 5760 dakikalık kurutma süresi ile en uzun kurutma yöntemi olduğunu, buna karşın 700 W'da mikrodalga kurutma yönteminin ise 20 dakikalık kurutma süresi ile en kısa kurutma yöntemi olduğunu belirlemiştir. Çalışmada ayrıca mikrodalga güç seviyesinin artırılmasıyla kuruma hızının arttığı bildirilmiştir.

Polatçı ve Taşova (2017) ilk nem içeriği %78 (y.b.) olan alıç meyvesini (*Crataegus* sp. L.) son nem içeriği %10-13 (y.b.) oluncaya kadar sıcaklık kontrollü mikrodalga kurutucu ile 50°C, 60°C ve 70°C sıcaklıklarda sırasıyla 129, 66 ve 45 dakikada kurutmuş ve kurutma işleminin kuruma kinetiği ve renk parametreleri üzerine etkisini araştırmıştır. Renk parametreleri bakımından taze ürüne en yakın sonuçları veren kurutma yönteminin 70°C sıcaklıkta elde edildiği saptanmıştır.

Polatoğlu ve Beşe (2017) kızılıç meyvesini konvektif kurutma yöntemi ile 50°C, 60°C, 70°C sıcaklıklarda kurutmuş ve kurutma süresi bakımından 1070 dakika ile en uzun yöntemin 50°C sıcaklık uygulaması olduğunu belirlemiştir. Çalışmada deneysel veriler 12 farklı ince tabaka kurutma eşitliği kullanılarak tahminlenmiş ve deneysel sonuçlara en yakın modelin geliştirilmiş Henderson ve Pabis modeli olduğu saptanmıştır.

Bustos ve ark. (2018) ahududu, böğürtlen, kırmızı ve siyah frenk üzümünü 50°C, 65°C, 130°C sıcaklıklarda konvektif kurutma ve -80°C'de dondurarak kurutma yöntemleri ile

kurutmuştur. Çalışmada kurutulan tüm meyveler için en kısa kuruma süresinin 130°C’de konvektif kurutma yöntemi olduğu, en uzun kuruma süresinin ise 50°C’de konvektif kurutma ve -80°C’de dondurarak kurutma yöntemi olduğu belirlenmiştir. Ayrıca kurutma sıcaklığının azalmasıyla ürünlerde renk değişiminin arttığı, bu bağlamda en fazla renk kaybının 50°C’de konvektif kurutma yönteminde meydana geldiği belirtilmiştir.

Coklar ve ark. (2018) alıç meyvesini 360 W mikrodalga gücü ve 60°C sıcaklığın birlikte kullanıldığı kombine mikrodalga-konvektif kurutma, -18°C’de dondurarak kurutma ve 60°C’de konvektif kurutma yöntemlerini kullanarak kurutmuş ve kurutma yöntemlerinin alıç meyvesinin toplam fenolik bileşenleri, antioksidan kapasitesi ve renk değişimine olan etkisini araştırmıştır. Çalışmada toplam fenolik bileşenler, antioksidan içeriği ve renk parametreleri açısından taze ürüne kıyasla en yüksek oranda kayıpların meydana geldiği yöntemin 60°C sıcaklıkta konvektif kurutma tekniği olduğu; buna karşın taze ürüne en yakın sonuçların dondurarak kurutma tekniği ile elde edildiği saptanmıştır. Ayrıca mikrodalga-sıcak hava kombinasyonu ile kurutulan numunelerde kahverengileşmenin yüksek olduğu da kaydedilmiştir.

Polatçı ve Taşova (2018) ilk nem içeriği %89.70 (y.b.) olan yenidoğru meyvesini son nem içeriği %10-13 (y.b.) oluncaya dek 360 W, 540 W, 720 W ve 900 W çıkış güçlerinde sırasıyla 28, 15.5, 12 ve 10 dakikada mikrodalga kurutma tekniği ile kurutmuş ve kurutulan numuneleri renk parametreleri açısından değerlendirmiştir. Çalışmada taze ürünün renk parametrelerine en yakın sonuçların 360 W çıkış gücünde mikrodalga kurutma yöntemiyle elde edildiği görülmüştür.

Liu ve ark. (2019) başlangıç nem içeriği 69.58 ± 2.36 (y.b.) olan alıç meyvesini son nem içeriği %12 (y.b.) oluncaya dek 60°C, 80°C, 100°C ve 120°C sıcaklıklarda konveksiyonlu kurutma, 400 W, 640 W ve 800 W çıkış güçlerinde mikrodalga kurutma, -80°C dondurarak kurutma ve güneşte kurutma yöntemlerini kullanarak kurutmuştur. Çalışmada konveksiyonlu kurutma yönteminde kurutma süresinin uygulanan sıcaklığa bağlı olarak 2.5-12 saat arasında sürdüğü; buna karşın mikrodalga kurutma yönteminde ise yine uygulanan mikrodalga çıkış gücüne bağlı olarak kurutmanın 10-19 dakikada tamamlandığı belirtilmiştir. Ayrıca dondurarak ve güneşte kurutma yöntemlerinde

kurutmanın sırasıyla 12 ve 36 saat sürdüğü tespit edilmiştir. Çalışmada en kısa kurutma tekniğinin mikrodalga kurutma yöntemi olduğu belirlenmiştir.

Demir ve ark. (2019) kızılıçık meyvesini 50°C, 60°C, 70°C sıcaklıklarda konvektif olarak kurutmuş ve en uzun kuruma süresi ile en fazla renk kayıplarının 50°C’de meydana geldiğini bildirmiştir. Ayrıca çalışmada renk parlaklığının (*L*) sıcaklık artışıyla azaldığı, buna bağlı olarak üründe kararmaların meydana geldiği tespit edilmiştir.

Paunović ve ark. (2019) kuşburnu meyvesini konveksiyonel kurutma yöntemi ile 60°C sıcaklıkta 16 saat, ardından 50°C sıcaklıkta 20 saat kurutmuş ve kurutmanın taze ürünle karşılaştırmalı olarak besin elementi içeriği, askorbik asit, toplam fenolik, toplam flavonoid ve antioksidan kapasitesi üzerine etkisini araştırmıştır. Çalışmada konveksiyonel kurutma yöntemi ile kurutulan numunelerin taze ürüne kıyasla askorbik asit, toplam fenolik, toplam flavonoid ve antioksidan içeriğinin azaldığı bildirilmiştir. Bununla birlikte K, P, Ca, Mg, S, Mn, Fe ve Zn içeriğinde taze ürüne göre artış olduğu saptanmıştır.

Türkben ve ark. (2010) taze kuşburnu meyvesinin, marmelatının ve güneşte kurutulmuş çekirdeksiz kuşburnunun makro ve mikro besin elementi konsantrasyonlarını incelemiştir. Çalışmada güneşte kurutulan ürünlerde taze ürüne ve marmelata göre besin elementi içeriğinin daha iyi seviyede korunduğu tespit edilmiştir. Ayrıca güneşte kurutulan numunelerde Na ve K içeriğinin taze ürüne göre azaldığı, buna karşın Mg, Ca ve P içeriğinde artış olduğu belirlenmiştir. Çalışmada ayrıca, hem Na ile K arasında hem de Mg ile P ve Ca arasında pozitif yönlü doğrusal korelasyonlar saptanmıştır.

Özrenk ve ark. (2011) kuşburnu meyvesinin 15 farklı genotipini gölgede kurutma yöntemi ile kurutmuş ve gölgede kurutmanın kuşburnu çeşitlerinin besin elementi içeriğine etkisini araştırmıştır. Çalışmada Kjeldahl yöntemi ile toplam azot tayini ve spektrofotometrik yöntem ile K, Ca, Mg, Fe, Mn, Zn, Cu, P içeriği belirlenmiştir. Gölgede kurutulmuş kuşburnu genotiplerinin P, K, Mg, Cu, Zn, Mn ve Fe içeriğinin sırasıyla; 2362.62 - 3690.72, 11152 - 45405, 2134 - 5504, 15.7 - 27.02, 4.55 - 21.99, 7.47 - 140.01 ve 42.02 - 106.51 ppm aralığında değiştiği bildirilmiştir.

Ercisli (2007) altı farklı kuşburnu çeşidini (*Rosa canina*, *Rosa dumalis subsp. boissieri*, *Rosa dumalis subsp. antalyensis*, *Rosa villosa*, *Rosa pisiformis* ve *Rosa pulverulenta*) konvektif kurutma yöntemi ile 60°C’de kurutmuş ve bu kurutma işleminin meyve çeşitlerinin besin elementi içeriği, renk ve toplam fenolik içeriğine etkisini araştırmıştır. Çalışmada taze ürüne göre kurutulmuş kuşburnu çeşitlerinin P, K, Ca ve Mg içeriğinde artış olduğu belirlenmiş olup bu dört element arasında pozitif yönlü bir ilişki tespit edilmiştir. Ayrıca, kurutma işleminin ardından renk parametrelerinin en iyi seviyede korunduğu kuşburnu çeşidinin *Rosa pulverulenta* olduğu, buna karşın en yüksek toplam fenolik içeriğin *Rosa canina* türünde elde edildiği bildirilmiştir.

Orak ve ark. (2012) dağ çileği meyvesini 65°C sıcaklıkta konvektif kurutma ve -40°C’de dondurarak kurutma yöntemi ile kurutmuş ve kurutma yöntemlerinin renk, besin elementi, askorbik asit ve toplam fenolik içeriğine etkisini belirlemiştir. Taze ürünün renk, askorbik asit ve toplam fenolik içeriğine en yakın sonuçları veren kurutma yönteminin dondurarak kurutma yöntemi olduğu tespit edilmiştir. Ayrıca çalışmada dondurarak ve sıcak hava ile kurutulmuş ürünlerin besin elementi içeriğinin taze üründen yaklaşık iki kat daha fazla olduğu saptanmıştır.

Chauhan ve ark. (2015) bir erik çeşidi olan karonda meyvesini güneşte, -20°C’de dondurarak kurutma ve 800 W çıkış gücünde mikrodalga kurutma yöntemi ile kurutmuş ve kurutma yöntemlerinin besin elementi içeriği, antioksidan, toplam fenolik, antosiyanin ve protein içeriği üzerine etkisini araştırmıştır. Çalışmada makro ve mikro besin elementi, antioksidan kapasitesi ve protein içeriğinin en iyi seviyede korunduğu yöntemin 800 W’da mikrodalga kurutma yöntemi olduğunu, buna karşın toplam fenolik ve antosiyanin içeriğinin dondurarak kurutma yönteminde daha iyi korunduğu bildirilmiştir.

Adak ve ark. (2017) çilek dilimlerini mikrodalga kurutma yöntemi ile 100 W, 200 W ve 300 W’da mikrodalga kurutma yöntemi ile kurutmuş, artan mikrodalga gücü ile K, N, P, Mg, Mn ve Zn içeriğinde artış olduğunu, buna karşın Fe içeriğinin azaldığını belirlemiştir. Çalışmada ayrıca K ile N ve P arasında; Mn ile Ca arasında; Fe, Mn, Zn ile Cu arasında pozitif yönlü doğrusal bir ilişki olduğu belirtilmiştir.

Fratianni ve ark. (2017) goji berry meyvesini konvektif kurutma yöntemiyle 60°C sıcaklıkta 21 saat süre ile kurutmuş ve taze ürünle karşılaştırmalı olarak besin elementi içeriklerini belirlemiştir. Araştırma sonucunda konvektif kurutulan ürünlerde Ca, K, Mg, Na, P, Cu, Fe, Mn, Zn ve Se içeriğinin taze ürüne kıyasla daha yüksek olduğu saptanmıştır.

Juhaimi ve ark. (2017) iki farklı çeşitte cennet hurmasını güneşte, 360 W, 540 W ve 720 W'da mikrodalga ve 70°C, 90°C, 110°C sıcaklıklarda konveksiyonel kurutma yöntemleri ile kurutmuş olup kurutma yöntemlerinin meyvenin makro ve mikro besin elementi içeriği, toplam fenolik ve antioksidan kapasitesi üzerine etkisini belirlemiştir. Her iki hurma çeşidi için de makro ve mikro besin elementi içeriğinin en iyi korunduğu yöntemin mikrodalga ile kurutma yöntemi olduğu tespit edilmiştir. Ayrıca çalışmada güneşte ve konveksiyonel kurutma yöntemi ile kurutulan ürünlerde fenolik içeriğin önemli ölçüde azaldığı, antioksidan kapasitesi açısından taze ürüne göre önemli bir değişim olmadığı bildirilmiştir.

Alibaş ve ark. (2020) elma kabuklarını gölgede kurutma ve 1000 W, 800 W, 600 W ve 400 W çıkış güçlerinde mikrodalga kurutma yöntemi ile kurutmuş ve kurutmanın renk ve besin elementleri üzerine etkisini belirlemiştir. Çalışmada hem renk parametreleri hem de makro ve mikro besin elementleri açısından taze ürüne en yakın sonuçların 400 W mikrodalga kurutma yönteminde elde edildiği tespit edilmiştir. Çalışmada elde edilen deneysel bulgular 21 farklı ince tabaka kurutma eşitliği ile modellenmiş olup; 600 W ve 800 W için geliştirilmiş Henderson ve Pabis, 400 W için geliştirilmiş Jena Das, 1000 W için Alibaş modelinin deneysel parametrelere en yakın sonuçları veren modeller olduğu görülmüştür. Ayrıca mikrodalga güç seviyesinin artmasıyla renk değerlerinde ve makro-mikro besin elementlerinde düşüş olduğu sonucuna varılmıştır.

3. MATERYAL VE YÖNTEM

3.1. Materyal

Kuşburnu

Bursa ili Harmancık ilçesi'nde yerel bir yetiştiriciden temin edilen kuşburnu (*Rosa canina* L.) meyvesi hasat edilir edilmez tazeliğini koruması amacıyla $+4 \pm 0.5^{\circ}\text{C}$ sıcaklıkta taşınabilir tip bir buzdolabına konularak kurutma laboratuvarına ulaştırılmıştır. Denemeler sırasında kuşburnu meyveleri nem içeriğini kaybetmemesi için atmosfer kontrollü bir soğutucuda bekletilmiştir.



Şekil 3.1. Kuşburnu (*Rosa canina* L.)

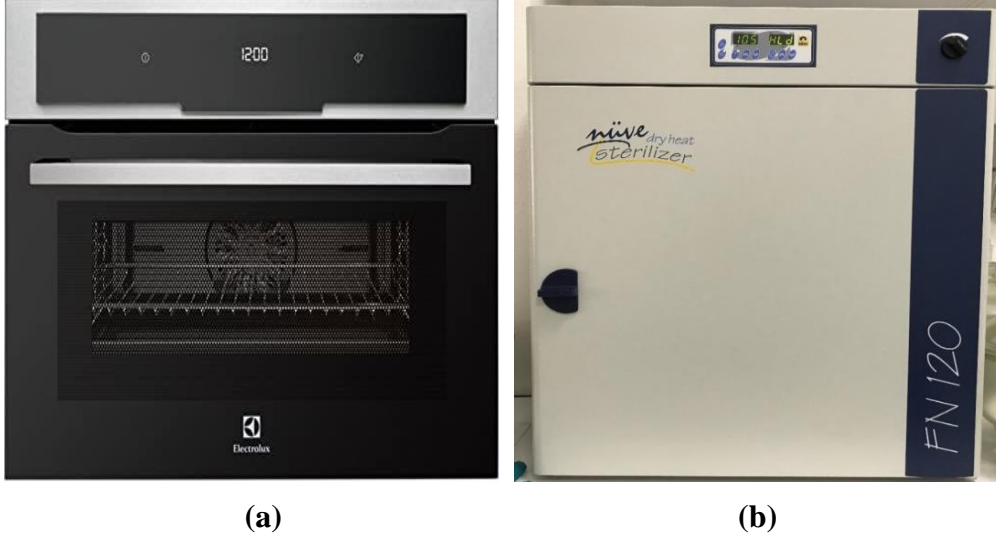
3.2. Kurutma Ekipmanları ve Kullanılan Cihazlar

3.2.1. Mikrodalga Kurutucu

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) kullanılarak gerçekleştirilmiştir. Kurutucunun kurutma bölmesinin hacmi 800 x 430 x 210 mm olup kurutma tepsisinin alanı 410 x 320 mm'dir. Programlanabilir dijital mikrodalga kurutucu üzerindeki kontrol panosunda dijital zaman göstergesi yardımıyla kurutma süresi ölçülmüştür. Kurutucu 100 W ile 1000 W mikrodalga güç aralığında 10 farklı mikrodalga çıkış gücünde ve 5°C hassasiyetle 30°C ile 230°C hava sıcaklığı arasında tüm sıcaklıklarda çalışabilmektedir. Kullanılan kurutucu Şekil 3.2.(a)'da gösterilmiştir.

3.2.2. Etüv

Kuşburnu meyvesinin başlangıç nem içeriğini belirlemek için numuneler 24 saat 105°C etüvde (Nüve, FN 120, Türkiye) bekletilmiştir (Yağcıoğlu 1999). Numunelerin ilk ve son kütlelerinden yola çıkılarak hem kuru hem de yaş baza göre nem içerikleri belirlenmiştir. Çalışmada kullanılan etüv Şekil 3.2.(b)'de gösterilmiştir.



Şekil 3.2. (a) Mikrodalga Fırın (b) Etüv

3.2.3. Hassas Teraziler

Kurutma öncesi ve kurutma sırasında numunelerin kütleleri 0.01 g hassasiyetli, otomatik kalibrasyonlu analitik bir terazi (Radwag, PS 4500 R2, Polonya) yardımı ile ölçülmüştür. Ayrıca, kurutma numunelerinin ilk nem içeriğinin belirlenmesi amacıyla 0.00001 g hassasiyetli manuel kalibrasyonlu bir hassas terazi (Metler-Todelo, ME-203, İsviçre) kullanılmıştır. Çalışmada kullanılan teraziler Şekil 3.3'de gösterilmiştir.



Şekil 3.3. Hassas Teraziler

3.2.4. Renk Ölçüm Cihazı

Taze ve kurutulmuş kuşburnu numunelerinin renk parametreleri otomatik kalibrasyonlu, noktasal ölçüm yapan bir renk ölçer (Konica-Minolta, Osaka, Japonya) yardımıyla belirlenmiştir. Renk parametrelerinin tümü (L , a , b , C , α) cihaz yardımıyla belirlenmiştir. Çalışmada kullanılan cihaz Şekil 3.4’de gösterilmiştir.



Şekil 3.4. Renk Ölçüm Cihazı

3.2.5. Kjeldahl Yöntemine Göre Protein Tayininde Kullanılan Cihazlar

Kjeldahl yöntemine göre protein tayininin saptanması sırasında kullanılan blok yakma sistemi (Buchi, K-437, İsviçre) Şekil 3.5’de gösterilmiştir.



Şekil 3.5. Blok Yakma Sistemi

Besin elementlerinin belirlenmesi aşamasında kullanılan buharlı damıtma cihazı (Buchi, K-350, İsviçre) Şekil 3.6’da verilmiştir.



Şekil 3.6. Destilasyon Cihazı

3.2.6. Makro ve Mikro Besin Elementi Tayininde Kullanılan Cihazlar

Ekstraksiyon ile numunenin yaklaşık 350°C reaksiyona girmesi için bir hot plate kullanılmıştır (Stuart SB500, Almanya). Hot plate Şekil 3.7’de gösterilmiştir.



Şekil 3.7. Hot Plate

Reaksiyon aşamasında ortaya çıkan gaz formundaki zararlı kimyasalların atmosfere gönderilmesi amacıyla bir çeker ocak kullanılmıştır (Hedlab xpro, Türkiye). Çeker ocak Şekil 3.8’de gösterilmiştir.



Şekil 3.8. Çeker Ocak

Yakma işleminin ardından kurutulmuş ve taze kuşburnu numunelerinin demir (Fe), bakır (Cu), çinko (Zn), magnezyum (Mg) ve manganez (Mn) analizlerinin yapılmasında

bir ICP-OES (PerkinElmer, OPTİMA 2100DV ICP OES, Amerika) cihazı kullanılmıştır. Cihaz Şekil 3.9’da gösterilmiştir.



Şekil 3.9. ICP Cihazı

Taze ve kurutulmuş kuşburnu numunelerinin sodyum (Na), potasyum (K) ve kalsiyum (Ca) içeriklerinin belirlenmesinde bir flame fotometreden (Eppendorf Elex 6361, Almanya) yararlanılmıştır. Cihaz Şekil 3.10’da gösterilmiştir.



Şekil 3.10. Flame Fotometre

Taze ve kurutulmuş kuşburnu numunelerinin fosfor (P) içeriği bir UV-VIS Spektrofotometre (Spectrum SP-UV-300SRB, Almanya) kullanılarak belirlenmiştir. Cihaz Şekil 3.11’de gösterilmiştir.



Şekil 3.11. UV-VIS Spektrofotometre

3.2.7. Elektrik Sayacı

Çalışmada kullanılan kurutucuların harcadığı toplam elektrik enerjisi miktarının belirlenmesi amacıyla Şekil 3.12’de gösterilen monofaze bir elektrik sayacı (Makel, M600 2251, Türkiye) kullanılmıştır.



Şekil 3.12. Monofaze Elektrik Sayacı

3.2.8. Derin Dondurucu

Besin elementi analizleri yapılincaya kadar kurutulmuş kuşburnu numuneleri derin dondurucuda (Vestel, Puzzle, Manisa, Türkiye) -24°C sıcaklıkta muhafaza edilmiştir.

3.3. Yöntem

3.3.1. Kurutma Yöntemi

Kurutulacak olan kuşburnu meyveleri yıkayıp içlerinden sağlıklı olanları seçilerek her bir deneme için 50.00 ± 0.02 g tartılmıştır. Gölgede kurutma işlemleri $25 \pm 1^\circ\text{C}$ sıcaklık ve $\%60 \pm 5$ bağıl nem koşullarında güneş görmeyen (gölgede) bir ortamda yapılırken, konvektif kurutma işlemi ise 50°C sıcaklıkta ve 1 m/s kurutma hızında gerçekleştirilmiştir. Mikrodalga kurutma denemeleri 100 W, 300 W, 500 W, 700 W ve 1000 W mikrodalga çıkış güçleri kullanılarak yürütülmüştür.

Kurutma çalışmaları 3 tekerrürlü olarak yapılmış olup gölgede kurutmada kütle azalmaları her altı saatte bir, mikrodalga kurutmada her 1 dakikada ve konvektif kurutmada ise 5 dakikada bir ölçülmüştür. Materyalin dış ortamla mümkün olduğunca az temas etmesi için kurutma sırasındaki kütle ölçümleri 10 s içinde yapılmıştır.

Kurutma öncesinde materyalin neminin belirlenmesi için 105°C sıcaklıkta 24 saat boyunca etüvde standart nem tayini yapılmış olup materyalin etüve konmadan önceki ve sonraki kütlelerinden yola çıkılarak yaş ve kuru baza göre nem içeriği sırasıyla aşağıdaki eşitlikler (Eş. 3.1 ve Eş. 3.2) kullanılarak 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) ve W_s , numunelerdeki su kütlesidir (kg).

Kurutma 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} , $m+dt$ zamandaki nem içeriği ($\text{kg}_{\text{su}} \text{kg}_{\text{KM}}^{-1}$); M_t , t anındaki nem içeriği ($\text{kg}_{\text{su}} \text{kg}_{\text{KM}}^{-1}$) ve dt , kurutma periyodunda nem içeriğinin hesaplandığı zamandır (dk) (Doymaz ve ark. 2006).

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

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

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

3.3.2. Enerji Tüketimi ve Özgül Enerji Tüketimi

Kurutucuların çalışma sırasında harcadıkları toplam enerji tüketim (TET) miktarı monofaze bir elektrik sayacı yardımıyla belirlenmiştir. Cihaz monofaze sayaca doğrudan bağlı olan bir prize bağlanmış ve kurutma sırasında harcanan enerji ilk ve son sayaç okumalarından faydalanarak hesaplanmıştır. Özgül enerji tüketiminin hesaplanmasında aşağıdaki (Eş. 3.5) eşitlik kullanılmıştır (Motevali ve ark. 2011b);

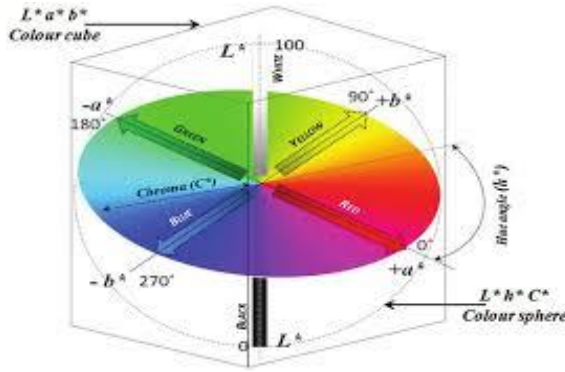
$$\text{ÖET} = \frac{TET}{\left(W_0 \cdot \frac{M_0 - M_f}{100 - M_f} \right)} \quad (3.5)$$

Burada: ÖET , özgül enerji tüketimi ($\text{kWh kg}_{\text{su}}^{-1}$); 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 (%). Konvektif kurutmada materyalin kütlesinin kurutma süresini ve dolayısıyla enerji tüketimini değiştirmeyeceği düşünülerek W_0 değeri konvektif kurutma için “1” olarak kabul edilmiştir.

3.3.3. Renk Ölçüm Yöntemi

Taze ve kurutulmuş ürünlerin parlaklık/koyuluk (L), kırmızılık/yeşillik (a), sarılık/mavilik (b), kroma (C) ve renk açısı (α) renk ölçer arayıcılığıyla herhangi bir hesaplama yapmaya gerek kalmaksızın doğrudan ölçülmüştür. Taze ve kurutulmuş örneklerin renk ölçümleri 20 tekerrürlü olarak yapılmıştır. Ürünün L değeri 0-100 arasında değişmekte olup “0” siyah rengi, “100” ise beyaz rengi temsil etmektedir.

Numunelerin L değeri 0'a yaklaştıkça koyuluk, 100'e yaklaştıkça parlaklık olarak ifade edilmektedir. Rengin kırmızılığı ya da yeşilliği " a " ile ifade edilmekte olup ölçümlerdeki pozitif (+) sayılar kırmızılığı, negatif (-) sayılar ise yeşilliği belirtmektedir. Rengin kırmızılık ya da yeşilliğinin artması pozitif ya da negatif sayılardaki mutlak artış ile anlaşılmaktadır. Rengin sarılık veya mavilik değeri " b " ile temsil edilmekte olup pozitif sayılar sarılık, negatif sayılar ise mavilik olarak tanımlanmaktadır. Bu pozitif ya da negatif sayıların mutlak değeri arttıkça ürünün sarılık/mavilik oranında da artış meydana gelmektedir. Ürünün kroması (C) numunenin canlı ya da pastel tonuyla ilgili bir belirteç olup pastel tonlar 0'a, canlı tonlar ise 100'e yakın olarak tanımlanmaktadır. Renk açısı (α) ise ürünün temel rengine karşılık gelen açı değeri ile ifade edilir. Bu açı değerlerine karşılık gelen renkler Şekil 3.13'de gösterilmiştir.



Şekil 3.13. Renk Açısı

Toplam renk değişimi (ΔE) numunenin kurutma işleminden ne oranda etkilendiğini anlamak önemli bir kriter olup aşağıdaki eşitlik (Eş. 3.6) yardımıyla hesaplanmaktadır.

$$\Delta E = \sqrt{(L_t - L_k)^2 + (a_t - a_k)^2 + (b_t - b_k)^2} \quad (3.6)$$

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

Kurutma işleminin ürüne olan etkisini belirlemede kahverengileşme indeksinden (BI) de yararlanılmaktadır. Kahverengileşme indeksi (BI) sırasıyla aşağıdaki eşitlikler (Eş. 3.7 ve Eş. 3.8) kullanılarak hesaplanmaktadır.

$$x = \frac{a + (1.75 \times L)}{[(5.645 \times L) + (a - (3.012 \times b))]} \quad (3.7)$$

$$BI = \frac{[100 \times (x - 0.31)]}{0.17} \quad (3.8)$$

3.3.4. Besin Elementi Analizleri

Toplam azot analizi Kjeldahl yöntemine göre yapılmıştır. Yöntem yakma, damıtma ve titrasyon aşamalarından oluşmaktadır. Yakma basamağında öncelikle materyaller öğütülerek homojenize edilmiştir. Homojenize edilen karışımdan 0.2 g ürün alınarak potasyum sülfat (K₂SO₄), %99'luk sülfirik asit (H₂SO₄), selenyum (Se) ve bakır sülfat (CuSO₄) karışımından oluşan bir karışım kapsül ile birlikte yakma tüpüne koyularak 2 saat boyunca 385°C sıcaklıkta tepkimeye sokulmuştur.

Yakma aşamasında materyalin bünyesinde bulunan organik madde, kimyasal karışımın içinde bulunan oksijen (O₂) molekülleri ile tepkimeye girerek yanma işlemi gerçekleşmiş ve ardından yanan organik maddeler parçalanmıştır. Yanarak parçalanmış organik madde asidik ortamda (NH₄)₂SO₄ formunda elde edilmiştir. İkinci aşama olan damıtma aşamasında, tepkime sırasında aktif olmayan sülfirik asit (H₂SO₄) ve amonyum sülfattan (NH₄)₂SO₄ oluşan bir karışım hazırlanmıştır. Bu karışıma sodyum hidroksit (NaOH) ilave edilerek su buharı yardımıyla damıtma işlemi gerçekleştirilmiştir.

Destilasyon işlemi sırasında uçucu halde bulunan ve su buharı ile beraber harekete geçen amonyak gazı damıtma cihazının yoğunlaştırma kısmına gelerek borik asit ile etkileşime girmiş ve amonyum borata dönüştürülmüştür. Son basamak olan titrasyon işleminde, amonyum borat çözeltisi yoğunluğu belli olan 0.1 M H₂SO₄ çözeltilerinden biri ile otomatik mikrobüret yardımıyla titrasyona tabi tutularak nötralize edilmiştir.

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

Kütlesi 0,5-2,0 g olarak belirlenen taze ve kurutulmuş kuşburnu örnekleri nitrik asit (HNO_3) ve perklorik asit (HClO_4) karışımı (4:1 v/v) kullanılarak yaş yakma işlemi gerçekleştirilmiştir. Erlenmayer içine alınan çözelti çeker ocak içindeki hot plate üzerine konularak 150-200°C sıcaklıkta tepkimeye sokulmuştur. Nitrik asidin ortamdaki uzaklaştırılması için erlenmayer tepkime sırasında hafifçe çalkalanmıştır. Erlenmayer içerisindeki karışımın içinden nitrik asitin uçması karışımın açık sarı renk almasını sağlamaktadır. Karışımında kalan perklorik asidin ortamdaki uzaklaştırılmasıyla çözelti beyaz bir renk almıştır. Bu işlemden sonra yakma işlemine 30 dakika daha devam edilmiştir.

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

3.3.5. Veri Analizi

Çalışma tesadüfi deneme parselleri yöntemine göre kurulmuş olup renk ölçümleri dışında kalan tüm ölçümler 3 tekerrürlü olarak yapılmıştır. Renk okumaları ise 20 tekerrürlü olarak gerçekleştirilmiştir. Tekerrürlerin ortalamaları ve standart hata değerleri JMP 7.0 istatistik programı kullanılarak hesaplanmıştır.

Çalışmada deneysel, yarı deneysel ve teorik 21 farklı ince tabaka kurutma modeli kullanılmış olup bu modeller Çizelge 3.1'de sunulmuştur. Bu modeller aracılığıyla, NLREG 6.2 istatistik programı kullanılarak zamana bağlı deneysel ayrılabilir nem içeriği verilerinden, tahmin verileri elde edilmiştir.

Çizelge 3.1. Kuşburnu meyvesinin kurutulmasında kullanılan modeller

No	Model Adı	Model Eşitliği	Referanslar
1	Lewis	$M_R = \exp(-kt)$	Lewis, 1921
2	Page	$M_R = \exp(-kt^n)$	Page, 1949
3	Geliştirilmiş Page Eşitliği-I	$M_R = a \exp[-(kt^n)]$	Dinrifo, 2012
4	Geliştirilmiş Page	$M_R = \exp[-(kt)^n]$	Overhults ve ark., 1973
5	Henderson ve Pabis	$M_R = a \exp(-kt)$	Henderson ve Pabis, 1961
6	Logaritmik	$M_R = a \exp(-kt) + c$	Yagcioglu ve ark., 1999
7	İki terimli	$M_R = a \exp(-k_0 t) + b \exp(-k_1 t)$	Henderson, 1974
8	İki terimli exponansiyel	$M_R = a \exp(-kt) + (1 - a) \exp(-kat)$	Sharaf-Elden ve ark., 1980
9	Wang ve Singh	$M_R = 1 + at + bt^2$	Wang ve Singh (1978)
10	Difüzyon yaklaşımı	$M_R = a \exp(-kt) + (1 - a) \exp(-kbt)$	Kassem, 1998
11	Verma ve ark.	$M_R = a \exp(-kt) + (1 - a) \exp(-gt)$	Verma ve ark., 1985
12	Geliştirilmiş Henderson ve Pabis	$M_R = a \exp(-kt) + b \exp(-gt) + c \exp(-ht)$	Karathanos, 1999
13	Simplified Fick's diffusion (SFFD) eşitliği	$M_R = a \exp[-c(t/L_k^2)]$	Diamente ve Munro, 1991
14	Geliştirilmiş Page eşitliği-II	$M_R = \exp[-k(t/L_k^2)^n]$	Diamente ve Munro, 1993
15	Midilli ve ark.	$M_R = a \exp(-kt^n) + bt$	Midilli ve ark., 2002
16	Weibull dağılımı	$M_R = a - b \exp[-(kt^n)]$	Babablis ve ark., 2006
17	Aghbashlo ve ark.	$M_R = \exp(-k_1 t/1 + k_2 t)$	Aghbashlo ve ark., 2009
18	Logistic	$M_R = a_0/(1 + a \exp(kt))$	Chandra ve Singh, 1995
19	Jena Das	$M_R = a \exp(-kt + b\sqrt{t}) + c$	Jena ve Das, 2007
20	Demir ve ark.	$M_R = a \exp(-kt)^n + c$	Demir ve ark., 2007
21	Alibas Modeli	$M_R = a \exp((-kt^n) + (bt)) + g$	Alibas, 2012

M_R , nem oranı; a, b, c, g, h , katsayılar; t , kurutma süresi, (d); n , kurutma parametresi; k, k_0, k_1, k_2 , kurutma sabitleri, (min^{-1}) L_k , materyalin kalınlığı (mm).

Regresyon katsayısı (R^2) ve tahminin standart hata (SEE) verileri ile eşitliklere ilişkin kuruma sabit ve katsayıları program aracılığıyla belirlenmiştir. Ortalama karesel hata ($RMSE$) aşağıdaki eşitlik (Eş. 3.9) kullanılarak hesaplanmıştır.

$$RMSE = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^N (M_{R_{pre,i}} - M_{R_{exp,i}})^2}{N}} \quad (3.9)$$

Burada: $M_{R_{exp,i}}$, deneysel ayrılabilir nem içeriği; $M_{R_{pre,i}}$, modelin tahmin ettiği ayrılabilir nem içeriği ve N , gözlem sayısıdır.

Tahminin ki kare (χ^2) değeri aşağıdaki eşitlik (Eş. 3.10) ile hesaplanmıştır;

$$\chi^2 = \frac{\sum_{i=1}^N (M_{R_{exp,i}} - M_{R_{pre,i}})^2}{N - n_i} \quad (3.10)$$

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

Regresyon katsayısı (R^2) deneysel verilere en yakın tahmin modelinin seçiminde ana kriter olarak rol oynamaktadır. Bu katsayının sayısal değerinin mümkün olduğunca “1.00”e yakın olması istenmektedir. Buna karşın tahminin standart hatası (SEE) ise en iyi modelin seçiminde ikinci kriter olup standart hata değerinin “0.00”a baz alınmaktadır. Benzer R^2 ve SEE değerlerinin olması durumunda sırasıyla $RMSE$ ve χ^2 parametrelerine bakılmaktadır. Her iki parametrenin de “0.00”a yakın olması istenmektedir.

4. BULGULAR VE TARTIŞMA

4.1. Kurutma Kinetiği ve Matematiksel Modelleme

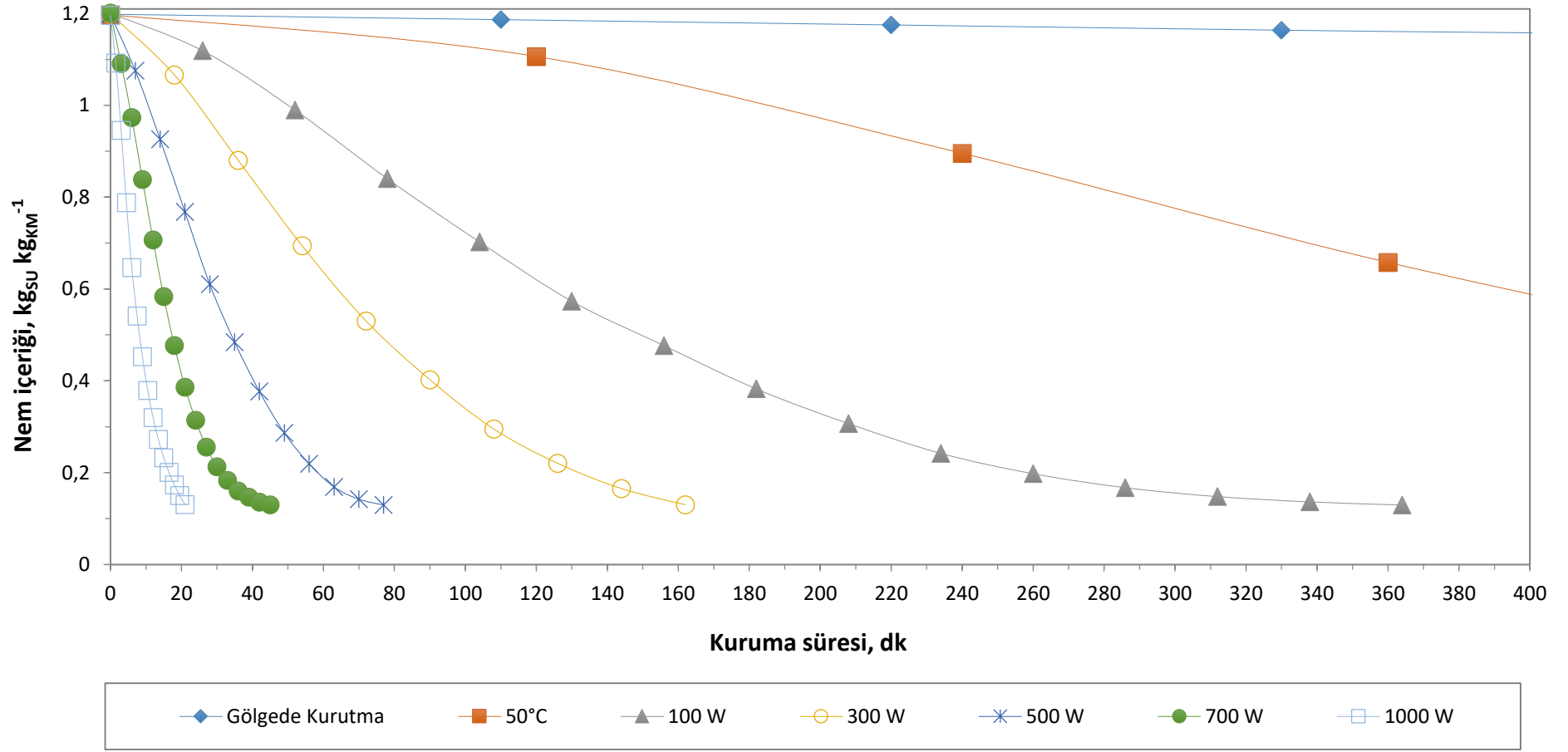
Kuşburnunun kurutma süresine bağlı kuru baza göre nem içeriği Şekil 4.1’de gösterilmiştir. Buna göre, ilk nem içeriği $1.199 \pm 0,003 \text{ kg}_{\text{su}} \text{ kg}_{\text{KM}}^{-1}$ (%52.79 \pm 0.05 y.b.) olarak belirlenen kuşburnu numuneleri son nem içeriği $0.130 \pm 0.001 \text{ kg}_{\text{su}} \text{ kg}_{\text{KM}}^{-1}$ (%11.14 \pm 0.03 y.b.) oluncaya dek gölgede, 50°C sıcaklıkta konvektif ve 100 W, 300 W, 500 W, 700 W ve 1000 W çıkış güçlerinde mikrodalga kurutma yöntemleri kullanılarak kurutulmuştur. Bu kurutma işlemleri belirtilen sırayla 9360, 1080, 364, 162, 77, 45 ve 21 dakika sürmüştür. Mikrodalga çıkış gücü arttıkça kurutma süresinin kısaldığı görülmüştür (Güleç ve ark. 2017; Polatçı ve Taşova 2018; Liu ve ark. 2019; Taşova ve ark. 2019; Alibaş ve ark. 2020). En kısa kurutma süresi olan 1000 W’da mikrodalga kurutma yönteminin, 700 W, 500 W, 300 W ve 100 W’dan sırasıyla 2.14, 3.66, 7.71 ve 17.33 kat daha kısa olduğu belirlenmiştir. Bununla birlikte 1000 W’da mikrodalga kurutmanın, 50°C’de konvektif kurutma ve gölgede kurutma yöntemlerinden sırasıyla 51.43 ve 445.71 kat daha kısa sürdüğü de tespit edilmiştir.

Erentürk ve ark. (2005) konveksiyonel kurutma yöntemi ile 50°C’de kuruttukları kuşburnu meyvesinin kurutma süresinin bu çalışmadan 1.66 kat daha uzun sürdüğünü belirlemiştir. Pirone ve ark. (2007) ise 50°C’de konveksiyonel kurutma yöntemiyle kurutulan kuşburnunun kurutma süresinin bulgularımıza oranla %66.6 daha fazla olduğunu saptamıştır. Şen (2010) güneşte, gölgede, vakumlu kurutma ve mikrodalga kurutma yöntemlerini kullanarak kuşburnu meyvesini kurutmuş ve en uzun kuruma süresini gölgede kurutma işlemi ile 18000 dakika, en kısa kurutma süresinin mikrodalga kurutma yöntemi ile 900 W çıkış gücünde 60 dakika olarak bildirmiştir. Bu çalışmadaki en uzun ve en kısa kurutma sürelerinin bulgularımıza oranla sırasıyla 1.92 ve 2.85 kat daha fazla olduğu görülmüştür.

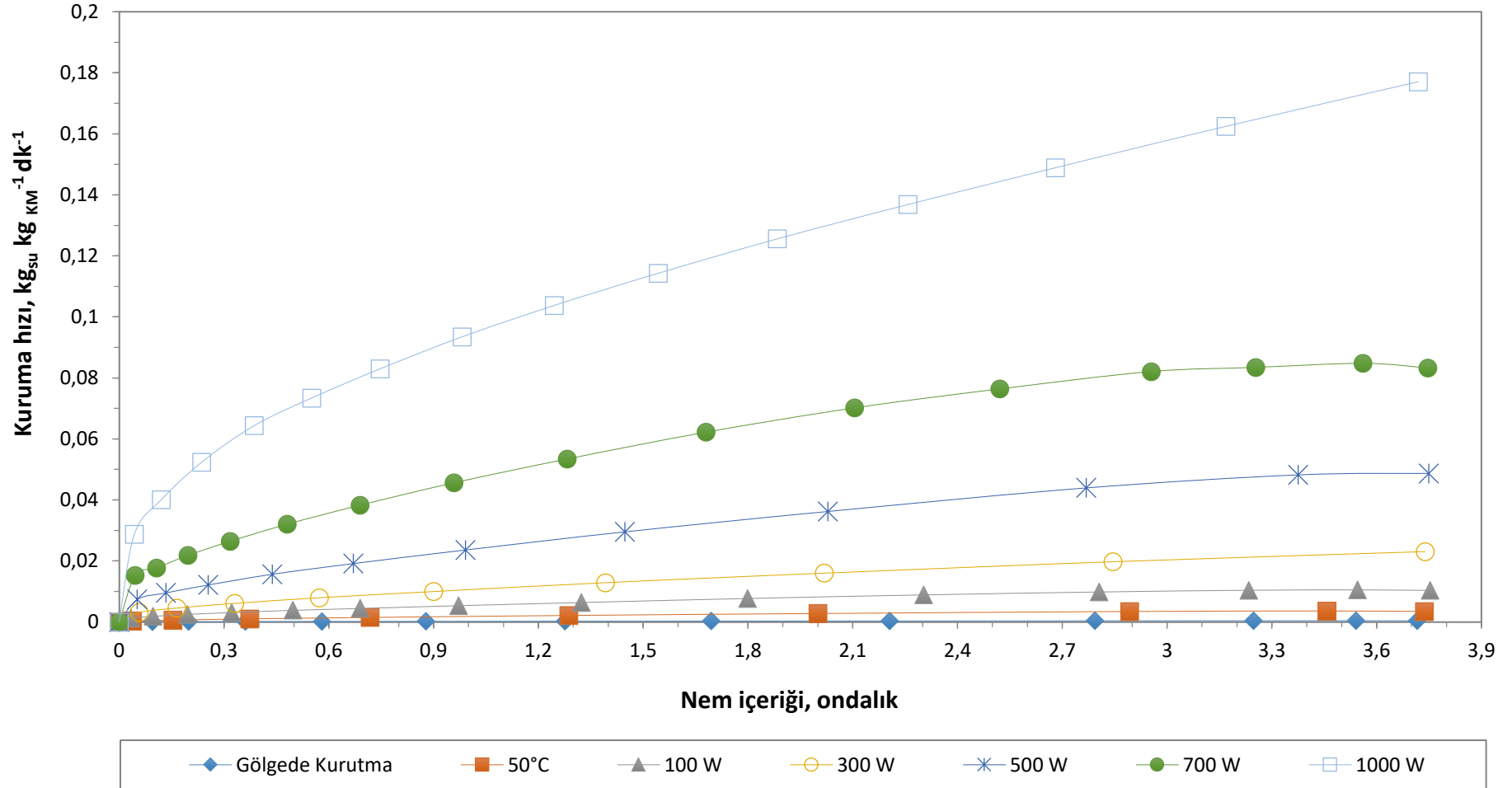
Taşova ve ark. (2019) kuşburnu meyvesini 50°C, 60°C ve 70°C’de konvektif kurutma ve 360 W, 540 W, 720 W ve 900 W’da mikrodalga kurutma yöntemleri ile kurutmuş ve en uzun kurutma süresinin 16.5 saat ile 50°C’de, en kısa kurutma süresinin ise 9 dakika ile 900 W’da elde edildiğini belirlemiştir. Bu değerler bulgularımızla paralellik göstermiştir. Polatoğlu ve Beşe (2017) 50°C’de konveksiyonel kurutma yöntemiyle

kuşburnu meyvesinin 1070 dakikada kurutulduğunu bildirmiş olup, bu kurutma süresi bulgularımızla örtüşmektedir. Liu ve ark. (2019) alıç meyvesini konvektif kurutma, mikrodalga kurutma, gölgede kurutma ve dondurarak kurutma yöntemleri ile kurutmuş ve en uzun kurutma yönteminin gölgede kurutma, en kısa kurutma yönteminin ise mikrodalga kurutma yöntemi olduğunu saptamıştır.

Farklı kurutma yöntemleri kullanılarak kurutulan kuşburnu meyvesinin kuruma hızları Şekil 4.2’de gösterilmiştir. Buna göre, ortalama kuruma hızları gölgede kurutma için $0,0002 \text{ (kg}_{\text{su}} \text{ kg}_{\text{KM}}^{-1} \text{ dk}^{-1})$, 50°C ’de konvektif kurutma için $0.0019 \text{ (kg}_{\text{su}} \text{ kg}_{\text{KM}}^{-1} \text{ dk}^{-1})$, 100 W, 300 W, 500 W, 700 W ve 1000 W’da mikrodalga kurutma için sırasıyla; 0.0058, 0.0104, 0.0245, 0.0496 ve 0.0937 $\text{(kg}_{\text{su}} \text{ kg}_{\text{KM}}^{-1} \text{ dk}^{-1})$ olarak belirlenmiştir. Mikrodalga çıkış gücünün artması ile kuruma hızının da arttığı görülmüştür (Evin 2011; Adak ve ark. 2017; Taşova ve ark. 2019). Diğer kurutma yöntemlerine kıyasla, 1000 W ve 700 W mikrodalga çıkış güçlerindeki kurutma süresi önemli ölçüde kısalmıştır. Yüksek mikrodalga çıkış güçlerinde kuruma süresinin önemli ölçüde kısılmasıyla ilişkili olarak, kuruma sürecinin büyük bir kısmında sabit hızda kuruma evresi görülmüştür. Kurutma sürecinin son aşamasında görülen azalan hızda kuruma evresi ise söz konusu kurutma yöntemlerinin sadece son birkaç dakikalık kısmında kaydedilmiştir. Tüm kurutma yöntemlerinde, kurutma işleminin başlangıcında, kurutulan materyalin nem içeriği yüksek olduğundan dolayı bu aşamada materyalin nem kaybetmesi daha hızlı olmuş, yani kuruma hızı artmıştır. Kurumanın ilerleyen aşamalarında materyaldeki nemin büyük bir kısmı buharlaştığından dolayı kalan nemin uzaklaştırılması zorlaşmış, yani kuruma hızları azalmıştır. Polatoğlu ve Beşe (2017) kızılcık meyvesinin kuruma hızının kurutma işleminin ilk etabında yüksek olduğunu, ancak ürünler nem kaybetmeye başladığı andan itibaren kuruma hızının azaldığını bildirilmiştir. Soysal (2004) mikrodalga kurutma yöntemiyle kurutulan maydanoz yapraklarının kuruma hızının kurutmanın ilk aşamasında yüksek olduğunu, buna karşın üründe oluşan nem kaybıyla birlikte kuruma hızının da giderek azaldığını saptamıştır.



Şekil 4.1. Farklı yöntemler kullanılarak kurutulmuş kuşburnu meyvesinin zamana bağlı nem içeriği



Şekil 4.2. Farklı yöntemler kullanılarak kurutulmuş kuşburnu meyvesinin nem içeriğine bağlı kuruma hızları

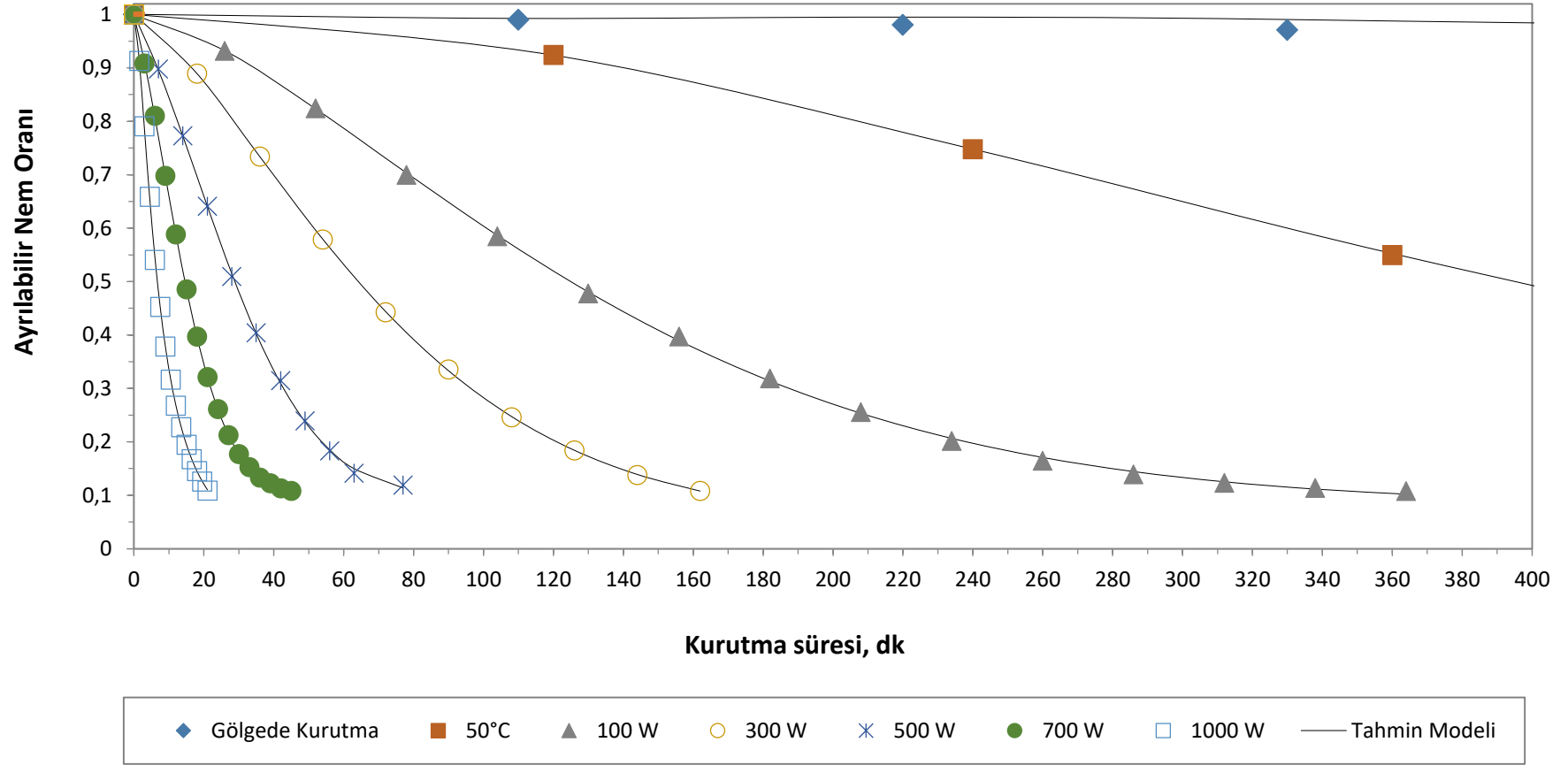
Farklı yöntemler kullanılarak kurutulmuş kuşburnunun zamana bağlı deneysel ayrılabilir nem içerikleri model arayıcılığıyla hesaplanan tahmini ayrılabilir nem içerikleri ile birlikte Şekil 4.3’de verilmiştir. Buna göre, 1000 W’da mikrodalga kurutma periyodunun neredeyse yarısına denk gelen ilk on dakikada ayrılabilir nemin %68’inin üründen uzaklaştırıldığı, buna karşın ilk 10 dakikada 700 W, 500 W, 300 W ve 100 W’da mikrodalga kurutmada bu oranın sırasıyla %34, %21, %5.6 ve %2.6 olduğu görülmüştür. Bununla birlikte 50°C’de konvektif kurutma ve gölgede kurutmada nemin yaklaşık %68’inin üründen uzaklaştırılması sırasıyla 420 ve 4400 dk sürmüştür. Elde edilen bulgular literatürdeki bazı çalışmalarla paralellik göstermektedir.

Bicer ve Kar (2013) konveksiyonel kurutma yöntemi ile 50°C’de kuruttuğu kuşburnunun 420’inci dakikada ayrılabilir neminin %68’inin üründen uzaklaştığını tespit etmiştir. Bu değer bulgularımızla örtüşmektedir. Ergüneş ve Taşova (2018) kuşburnu meyvesinin 50°C’de konvektif kurutulmasında 420’inci dakikada ayrılabilir neminin %70’inin üründen ayrıldığını belirlemiş olup, elde edilen bu değer bulgularımızla oldukça yakın olduğu görülmüştür. Şen (2010) kuşburnu meyvesinin 540 W ve 900 W’da mikrodalga ile kurutulmasında ilk 10 dakikadaki ayrılabilir nemin sırasıyla; %20 ve %30’unun üründen uzaklaştığını tespit etmiştir. Polatoğlu ve Beşe (2017) kıvılcık meyvesinin 50°C’de kurutulmasında 420’inci dakikada ayrılabilir neminin %65’inin üründen uzaklaştığını belirlemiştir. Cin ve Palazoğlu (2019) mikrodalga vakum kombinasyonu ile 100 W – 40 mbar’da kuruttuğu kuşburnu meyvesinin ilk 10 dakikada ayrılabilir nemin %2’sinin üründen ayrıldığını saptamıştır. Güleç ve ark. (2017) karayemiş meyvesinin 700 W’da mikrodalga ile kurutulmasında ilk 10 dakikadaki ayrılabilir neminin %30’unun üründen ayrıldığını belirlemiştir.

Deneysel veriler ile çalışmada kullanılan 21 farklı ince tabaka kurutma eşitliğinden elde edilen tahmin verilerine ilişkin istatistiksel parametreler (R^2 , SEE , $RMSE$ ve χ^2) gölgede kurutma, 50°C, 100 W ve 300 W için Çizelge 4.1’ de; 500 W, 700 W ve 1000 W için ise Çizelge 4.2’de gösterilmiştir. Söz konusu çizelgelere göre, gölgede, 50°C, 300 W, 500 W ve 700 W’da kurutma için sırasıyla 0.9998, 1.000, 1.000, 0.9998 ve 1.0000 regresyon katsayıları ile Alibaş modeli; 100 W’da 0.9998 regresyon katsayısı ile Weibull dağılımı; 1000 W’da ise 1.0000 regresyon katsayısı ile geliştirilmiş Henderson ve Pabis modeli en iyi model olarak seçilmiştir.

Alibaş (2012c) çilek dilimlerinin 1000 W, 750 W, 500 W ve 350 W mikrodalga çıkış güçleri ile kurutulmasında elde edilen deneysel verilere en yakın sonuçları veren modelin Alibaş modeli olduğu bildirmiştir. Zhang ve ark. (2012) bütün haldeki hünnap meyvesinin 45°C, 55°C ve 65°C sıcaklıklarda kurutulmasında en uygun modelin Weibull dağılımı olduğunu bildirmiştir. Zuo ve ark. (2015) alıç dilimlerinin 180 W, 360 W, 540 W, 720 W, 900 W'da mikrodalga ve 50°C - 70°C'de konvektif kurutulmasında en iyi ince tabaka kurutma modelinin Weibull dağılımı olduğunu tespit etmiştir. Polatoğlu ve Beşe (2017) kızılıcak meyvesinin konvektif kurutma yöntemi ile 50°C, 60°C, 70°C sıcaklıklarda kurutulmasında en iyi modelin geliştirilmiş Henderson ve Pabis modeli olduğunu saptamıştır. Alibaş ve Köksal (2017) böğütlen meyvesinin kurutulmasında deneysel verilere en yakın sonuçların 50°C'de Alibaş, 500 W çıkış gücünde Jena Das, 160 W ve 850 W mikrodalga çıkış güçlerinde geliştirilmiş Henderson ve Pabis modeli olduğunu belirlemiştir.

Farklı kurutma yöntemleri ile kurutulan kuşburnu meyvesinin modellenmesinde kullanılan 21 farklı ince tabaka kurutma modelinde yer alan sabit ve katsayılar gölgede kurutma ve 50°C için Çizelge 4.3; 100 W ve 300 W için Çizelge 4.4, 500 W ve 700 W için Çizelge 4.5; 1000 W için ise Çizelge 4.6'da gösterilmiştir. Buna göre, 25°C sıcaklıkta gerçekleştirilen gölgede kurutma ve 50°C'de konveksiyonel kurutmada deneysel verilere en yakın model olan Alibaş modelinin k , n , a ve g kurutma sabit ve katsayıları sıcaklığın artması ile artış gösterirken; b katsayısı sıcaklık artışıyla azalmıştır. Alibas modelinin en iyi model olarak belirlendiği 500 W, 700 W ve 1000 W'da mikrodalga kurutmada mikrodalga çıkış gücünün artması ile a ve g katsayıları azalırken b katsayısı artmıştır (Alibaş 2015).



Şekil 4.3. Farklı yöntemler kullanılarak kurutulmuş kuşburnu meyvesinin deneysel ve deneysel sonuçlara en yakın sonuçları veren model aracılığıyla hesaplanan tahmini ayrılabilir nem içeriği: gölgede, 50°C, 300 W, 500 W ve 700’da kurutma için Alibaş modeli; 100 W’da Weibull dağılımı modeli; 1000 W’da geliştirilmiş Henderson ve Pabis modeli en iyi model olarak seçilmiştir.

Çizelge 4.1. Gölgede kurutma, 50°C’da konveksiyonlu kurutma, 100W ve 300W’da mikrodalga kurutma yöntemleriyle kurutulan kuşburnu meyvesinin modellenmesinde kullanılan ince tabaka kurutma modellerinin deneysel parametrelerle olan istatistiksel verileri yer alan kurutma sabit ve katsayıları

Model	Gölgede Kurutma				50°C			
	R ²	SEE	RMSE	X ²	R ²	SEE	RMSE	X ²
1	0.9783	0.0537	3.9632 10 ⁻²	1.6689 10 ⁻³	0.9563	0.0718	2.1577 10 ⁻²	5.1728 10 ⁻⁴
2	0.9961	0.0235	2.0700 10 ⁻²	4.8564 10 ⁻⁴	0.9931	0.0303	2.4045 10 ⁻²	7.2271 10 ⁻⁴
3	0.9962	0.0239	1.2105 10 ⁻²	1.7794 10 ⁻⁴	0.9937	0.0309	1.3368 10 ⁻²	2.5529 10 ⁻⁴
4	0.9604	0.0749	1.2593 10 ⁻¹	1.7974 10 ⁻²	0.9563	0.0762	2.1577 10 ⁻²	5.8194 10 ⁻⁴
5	0.9856	0.0452	1.7394 10 ⁻²	3.4291 10 ⁻⁴	0.9696	0.0635	2.0897 10 ⁻²	5.4586 10 ⁻⁴
6	0.9892	0.0406	9.0224 10 ⁻¹¹	9.8846 10 ⁻²¹	0.9784	0.0572	4.2952 10 ⁻¹⁰	2.6355 10 ⁻¹⁹
7	0.9877	0.0448	1.5193 10 ⁻²	3.0187 10 ⁻⁴	0.9947	0.0307	3.0224 10 ⁻³	1.5225 10 ⁻⁵
8	0.9976	0.0184	1.0908 10 ⁻²	1.3484 10 ⁻⁴	0.9969	0.0202	1.2066 10 ⁻²	1.8198 10 ⁻⁴
9	0.9908	0.0361	4.5238 10 ⁻²	2.3193 10 ⁻³	0.9794	0.0523	3.5799 10 ⁻²	1.6020 10 ⁻³
10	0.9980	0.0169	4.7041 10 ⁻³	2.6870 10 ⁻⁵	0.9947	0.0284	3.0330 10 ⁻³	1.314210 ⁻⁵
11	0.9877	0.0432	1.5193 10 ⁻²	2.8030 10 ⁻⁴	0.9947	0.0284	3.0224 10 ⁻³	1.3050 10 ⁻⁵
12	0.9748	0.0668	7.3373 10 ⁻²	8.3200 10 ⁻³	0.9947	0.0337	4.8231 10 ⁻³	5.8156 10 ⁻⁵
13	0.9856	0.0452	1.7394 10 ⁻²	3.6739 10 ⁻⁴	0.9696	0.0679	2.0897 10 ⁻²	6.2384 10 ⁻⁴
14	0.9961	0.0235	2.0700 10 ⁻²	5.2033 10 ⁻⁴	0.9931	0.0324	2.4045 10 ⁻²	8.2595 10 ⁻⁴
15	0.9890	0.0408	5.2205 10 ⁻⁴	3.5640 10 ⁻⁷	0.9765	0.0596	8.4922 10 ⁻⁵	1.2019 10 ⁻⁸
16	0.9670	0.0708	1.3869 10 ⁻⁸	2.5152 10 ⁻¹⁶	0.9999	0.0033	5.0468 10 ⁻¹²	4.2450 10 ⁻²³
17	0.9894	0.0387	4.5310 10 ⁻²	2.2983 10 ⁻⁴	0.9803	0.0511	3.7215 10 ⁻²	1.7312 10 ⁻³
18	0.9953	0.0267	1.4240 10 ⁻²	2.4624 10 ⁻⁴	0.9919	0.0351	1.6411 10 ⁻²	3.8500 10 ⁻⁴
19	0.9956	0.0267	1.5885 10 ⁻⁹	3.2996 10 ⁻¹⁸	0.9976	0.0206	2.5809 10 ⁻¹⁴	1.1102 10 ⁻²⁷
20	0.9892	0.0421	4.1624 10 ⁻⁶	2.2657 10 ⁻¹¹	0.9784	0.0618	3.9188 10 ⁻⁵	2.5595 10 ⁻⁹
21	0.9988	0.0144	1.8430 10 ⁻¹¹	4.8105 10 ⁻²²	1.0000	0.0030	4.1930 10 ⁻¹¹	3.515710 ⁻²¹
Model	100 W				300 W			
	R ²	SEE	RMSE	X ²	R ²	SEE	RMSE	X ²
1	0.9777	0.0469	1.9250 10 ⁻²	3.9702 10 ⁻⁴	0.9760	0.0498	1.4445 10 ⁻²	2.3186 10 ⁻⁴
2	0.9969	0.0183	1.5666 10 ⁻²	2.8320 10 ⁻⁴	0.9995	0.0074	4.3957 10 ⁻³	2.4153 10 ⁻⁵
3	0.9972	0.0181	8.2362 10 ⁻³	8.4793 10 ⁻⁵	0.9996	0.0076	2.1427 10 ⁻³	6.5585 10 ⁻⁶
4	0.9777	0.0486	1.9250 10 ⁻²	4.2756 10 ⁻⁴	0.9760	0.0528	1.4445 10 ⁻²	2.6082 10 ⁻⁴
5	0.9869	0.0372	1.5103 10 ⁻²	2.6318 10 ⁻⁴	0.9839	0.0433	1.6596 10 ⁻²	3.4429 10 ⁻⁴
6	0.9906	0.0328	2.1592 10 ⁻¹⁰	5.8277 10 ⁻²⁰	0.9939	0.0284	7.0337 10 ⁻¹²	7.0675 10 ⁻²³
7	0.9963	0.0217	4.5616 10 ⁻³	2.8374 10 ⁻⁵	0.9999	0.0036	4.2883 10 ⁻⁴	3.0649 10 ⁻⁷
8	0.9978	0.0152	1.2238 10 ⁻²	1.7280 10 ⁻⁴	0.9999	0.0036	1.3225 10 ⁻³	2.1861 10 ⁻⁶
9	0.9931	0.0270	2.6156 10 ⁻²	7.8941 10 ⁻⁴	0.9948	0.0246	1.6985 10 ⁻²	3.6059 10 ⁻⁴
10	0.9987	0.0120	1.1204 10 ⁻³	1.5692 10 ⁻⁶	0.9999	0.0034	2.5770 10 ⁻⁴	9.4870 10 ⁻⁸
11	0.9963	0.0207	4.5616 10 ⁻³	2.6010 10 ⁻⁵	0.9999	0.0034	2.5770 10 ⁻⁴	9.4870 10 ⁻⁸
12	0.9961	0.0232	1.1922 10 ⁻²	2.3691 10 ⁻⁴	0.9999	0.0037	4.9619 10 ⁻⁴	6.1551 10 ⁻⁷
13	0.9869	0.0387	1.5103 10 ⁻²	2.8511 10 ⁻⁴	0.9839	0.0463	1.6596 10 ⁻²	3.9348 10 ⁻⁴
14	0.9969	0.0183	1.5666 10 ⁻²	3.0680 10 ⁻⁴	0.9995	0.0074	4.3957 10 ⁻³	2.7603 10 ⁻⁵
15	0.9997	0.0055	2.2606 10 ⁻⁴	6.9689 10 ⁻⁸	0.9981	0.0158	6.4255 10 ⁻⁵	6.8813 10 ⁻⁹
16	0.9998	0.0046	5.0397 10 ⁻¹²	3.4634 10 ⁻²³	1.0000	0.0025	9.0241 10 ⁻⁴	1.3573 10 ⁻⁶
17	0.9907	0.0314	2.7567 10 ⁻²	8.7684 10 ⁻⁴	0.9953	0.0233	1.5245 10 ⁻²	2.9050 10 ⁻⁴
18	0.9961	0.0211	9.5693 10 ⁻³	1.1447 10 ⁻⁴	0.9988	0.0124	3.3611 10 ⁻³	1.6139 10 ⁻⁵
19	0.9986	0.0131	1.3141 10 ⁻¹⁰	2.3549 10 ⁻²⁰	0.9994	0.0096	1.7976 10 ⁻¹⁰	5.3855 10 ⁻²⁰
20	0.9906	0.0343	4.1781 10 ⁻⁷	2.3804 10 ⁻¹³	0.9939	0.0307	5.5589 10 ⁻⁷	5.1503 10 ⁻¹³
21	0.9998	0.0047	8.8526 10 ⁻¹²	1.1755 10 ⁻²²	1.0000	0.0015	4.3501 10 ⁻¹²	3.7846 10 ⁻²³

Çizelge 4.2. Mikrodalga kurutma yöntemi ile 500 W, 700 W ve 1000 W’da kurutulan kuşburnu meyvesinin modellenmesinde kullanılan ince tabaka kurutma modellerinin deneysel parametrelerle olan istatistiksel verileri yer alan kurutma sabit ve katsayıları

Model	500 W				700 W			
	R ²	SEE	RMSE	X ²	R ²	SEE	RMSE	X ²
1	0.9772	0.0473	1.6764 10 ⁻²	3.0914 10 ⁻⁴	0.9847	0.0379	1.5429 10 ⁻²	2.5393 10 ⁻⁴
2	0.9981	0.0142	6.1322 10 ⁻³	4.5961 10 ⁻⁵	0.9961	0.0198	1.4769 10 ⁻²	2.4930 10 ⁻⁴
3	0.9982	0.0150	4.1988 10 ⁻³	2.4241 10 ⁻⁵	0.9963	0.0201	9.4080 10 ⁻³	1.0894 10 ⁻⁴
4	0.9772	0.0499	1.6764 10 ⁻²	3.4349 10 ⁻⁴	0.9847	0.0392	1.5429 10 ⁻²	2.7205 10 ⁻⁴
5	0.9848	0.0407	1.3963 10 ⁻²	2.3828 10 ⁻⁴	0.9903	0.0312	9.6983 10 ⁻³	1.0749 10 ⁻⁴
6	0.9913	0.0326	2.3544 10 ⁻⁹	7.6216 10 ⁻¹⁸	0.9916	0.0300	4.9275 10 ⁻¹¹	2.9884 10 ⁻²¹
7	0.9988	0.0132	2.1098 10 ⁻³	6.9948 10 ⁻⁶	0.9977	0.0163	6.5286 10 ⁻³	5.6830 10 ⁻⁵
8	0.9987	0.0121	3.2728 10 ⁻³	1.3092 10 ⁻⁵	0.9966	0.0185	1.4426 10 ⁻²	2.3783 10 ⁻⁴
9	0.9939	0.0257	1.9970 10 ⁻²	4.8742 10 ⁻⁴	0.9962	0.0196	1.7941 10 ⁻²	3.6787 10 ⁻⁴
10	0.9988	0.0117	1.2720 10 ⁻³	2.2246 10 ⁻⁶	0.9967	0.0181	1.3712 10 ⁻²	2.3142 10 ⁻⁴
11	0.9988	0.0124	1.3542 10 ⁻³	2.52168 10 ⁻⁶	0.9977	0.0157	5.5580 10 ⁻³	3.8019 10 ⁻⁵
12	0.9981	0.0177	7.5576 10 ⁻³	1.2566 10 ⁻⁴	0.9993	0.0094	1.0356 10 ⁻³	1.7160 10 ⁻⁶
13	0.9848	0.0407	1.3963 10 ⁻²	2.6807 10 ⁻⁴	0.9903	0.0312	9.6983 10 ⁻³	1.1576 10 ⁻⁴
14	0.9981	0.0151	6.1322 10 ⁻³	5.1706 10 ⁻⁵	0.9961	0.0205	1.4769 10 ⁻²	2.6847 10 ⁻⁴
15	0.9996	0.0078	1.3925 10 ⁻⁴	3.0471 10 ⁻⁸	0.9983	0.0134	9.0950 10 ⁻⁴	1.1029 10 ⁻⁶
16	0.9988	0.0120	3.9918 10 ⁻¹⁰	2.5040 10 ⁻¹⁹	0.9997	0.0061	2.9284 10 ⁻¹²	1.1434 10 ⁻²³
17	0.9933	0.0270	1.8639 10 ⁻²	4.2460 10 ⁻⁴	0.9917	0.0288	2.3191 10 ⁻²	6.1464 10 ⁻⁴
18	0.9976	0.0173	5.7366 10 ⁻³	4.5249 10 ⁻⁵	0.9956	0.0219	1.0436 10 ⁻²	1.3405 10 ⁻⁴
19	0.9996	0.0071	1.1493 10 ⁻¹³	2.0759 10 ⁻²⁶	0.9988	0.0117	3.9699 10 ⁻¹¹	2.1014 10 ⁻²¹
20	0.9913	0.0349	4.3670 10 ⁻⁷	2.9968 10 ⁻¹³	0.9916	0.0313	4.4044 10 ⁻⁶	2.5865 10 ⁻¹¹
21	0.9998	0.0054	1.6600 10 ⁻¹¹	5.0522 10 ⁻²²	1.0000	0.0014	4.1980 10 ⁻¹²	2.5637 10 ⁻²³

Model	1000 W			
	R ²	SEE	RMSE	X ²
1	0.9922	0.0262	1.5280 10 ⁻²	2.5014 10 ⁻⁴
2	0.9971	0.0167	1.3172 10 ⁻²	2.0019 10 ⁻⁴
3	0.9975	0.0160	5.5124 10 ⁻³	3.7983 10 ⁻⁵
4	0.9922	0.0272	1.5279 10 ⁻²	2.6938 10 ⁻⁴
5	0.9956	0.0203	3.1684 10 ⁻³	1.1583 10 ⁻⁵
6	0.9959	0.0207	6.3980 10 ⁻¹⁰	5.1168 10 ⁻¹⁹
7	0.9992	0.0094	4.3023 10 ⁻³	2.5240 10 ⁻⁵
8	0.9965	0.0181	1.4664 10 ⁻²	2.4813 10 ⁻⁴
9	0.9966	0.0180	9.5974 10 ⁻³	1.0628 10 ⁻⁴
10	0.9992	0.0086	4.3073 10 ⁻³	2.3191 10 ⁻⁵
11	0.9992	0.0090	4.2617 10 ⁻³	2.2703 10 ⁻⁵
12	1.0000	0.0024	1.0780 10 ⁻⁵	1.9370 10 ⁻¹⁰
13	0.9956	0.0212	3.1684 10 ⁻³	1.2549 10 ⁻⁵
14	0.9971	0.0174	1.3172 10 ⁻²	2.1688 10 ⁻⁴
15	0.9994	0.0081	2.0402 10 ⁻⁴	5.6761 10 ⁻⁸
16	0.9995	0.0072	6.6941 10 ⁻¹⁰	6.1106 10 ⁻¹⁹
17	0.9947	0.0225	1.7288 10 ⁻²	3.4485 10 ⁻⁴
18	0.9969	0.0180	4.5909 10 ⁻³	2.6346 10 ⁻⁵
19	0.9998	0.0046	3.5832 10 ⁻¹⁷	1.7509 10 ⁻³³
20	0.9959	0.0216	3.7774 10 ⁻⁹	1.9458 10 ⁻¹⁷
21	0.9997	0.0056	4.5394 10 ⁻¹²	3.0909 10 ⁻²³

Çizelge 4.3. Gölgede kurutma ve 50°C’de konveksiyonla kurutma ile kurutulan kuşburnu meyvesinin modellenmesinde kullanılan ince tabaka kurutma modellerinde yer alan kurutma sabit ve katsayıları

		Gölgede Kurutma					
Model	Sabit ve Katsayılar						
1	k=0.0002						
2	k=0.1103	n=1.3527					
3	k=0.0876	n=1.3301	a=1.0087				
4	k=0.0972	n=0.0009					
5	k=0.0492	a=1.0595					
6	k=0.0699	a=1.1756	c=-0.1303				
7	k ₀ =0.0005	k ₁ =1.0000	a=1.0775	b=-0.0775			
8	k=0.0465	a=1.9528					
9	a=-0.0002	b=0.0039					
10	k=0.0009	a=0.0039	b=0.3718				
11	k=0.0899	a=1.0775	g=1.0000				
12	k=0.0003	a=1.1284	b=1.2391	c=-1.3675	g=1.0000	h=1.0000	
13	L=2.2779	a=1.0595	c=0.0013				
14	k=0.0006	n=1.3527	L=0.7490				
15	k=0.0002	n=1.0130	a=1.0483	b=-6.7224			
16	k=0.0002	n=0.0690	a=1.0916	b=0.0001			
17	k ₁ =0.0002	k ₂ =0.0297					
18	k=0.0073	a=0.5616	a ₀ =1.5953				
19	k=0.0790	a=0.9562	b=0.0088	c=0.0038			
20	k=0.0465	n=0.2559	a=1.1756	c=-0.1303			
21	k=0.9361	n=1.0001	a=0.0007	b=0.9369	g=0.0663		
		50°C					
Model	Sabit ve Katsayılar						
1	k=0.0599						
2	k=0.0001	n=0.5956					
3	k=0.0007	a=1.0225	n=1.4195				
4	k=0.0004	n=1.0113					
5	k=0.0001	a=1.0945					
6	k=0.0001	a=1.2535	c=0.1856				
7	k ₀ =0.0006	k ₁ =1.0000	a=1.2920	b=0.2920			
8	k=0.0592	a=2.0623					
9	a=0.0001	b=6.2263					
10	k=0.8344	a=0.2920	b=0.0077				
11	k=0.0013	a=1.2920	g=1.0000				
12	k=1.0000	a=0.1438	b=1.2875	c=0.1438	g=0.0025	h=1.0000	
13	L=2.3260	a=1.0945	c=0.0059				
14	k=0.0001	n=1.4668	L=2.8367				
15	k=0.0019	n=1.0130	a=1.0483	b=-6.7224			
16	k=0.0039	n=0.0690	a=1.0916	b=0.0001			
17	k ₁ =0.0014	k ₂ =0.0597					
18	k=0.0008	a=0.3790	a ₀ =1.4219				
19	k=0.0089	a=0.0078	b=0.3103	c=1.0244			
20	k=0.1844	n=0.0934	a=1.1756	c=-0.1303			
21	k=0.9999	n=1.7047	a=0.9015	b=0.9369	g=0.0663		

Çizelge 4.4. Mikrodalga kurutma yönteminin 100 W ve 300 W mikrodalga çıkış güçleri kullanılarak kurutulan kuşburnu meyvesinin modellenmesinde kullanılan ince tabaka kurutma modellerinde yer alan kurutma sabit ve katsayıları

		100 W					
Model	Sabit ve Katsayılar						
1	k=0.0002						
2	k=0.0039	n=1.2902					
3	k=0.0592	n=1.2574	a=1.0172				
4	k=0.5995	n=1.0584					
5	k=0.0079	a=1.0792					
6	k=0.0691	a=1.1608	c=-0.1032				
7	k ₀ =0.7629	k ₁ =1.0000	a=1.1641	b=-0.1641			
8	k=0.0527	a=1.8836					
9	a=0.0999	b=6.3600 10 ⁻⁶					
10	k=0.0378	a=-0.2736	b=0.1997				
11	k=0.0897	a=1.1641	g=1.0000				
12	k=0.0069	a=1.1519	b=-1.4165	c=1.2646	g=1.0000	h=1.0000	
13	L=0.5628	a=1.0792	c=0.0001				
14	k=0.0005	n=1.2902	L=-0.6824				
15	k=0.0005	n=1.5110	a=0.9913	b=0.0002			
16	k=0.0068	n=1.4901	a=0.0828	b=-0.9163			
17	k ₁ =0.0099	k ₂ =-0.0011					
18	k=0.0705	a=0.7854	a ₀ =1.8347				
19	k=0.0001	a=-0.0199	b=0.4228	c=1.0368			
20	k=0.0091	n=0.8090	a=1.1608	c=-0.1032			
21	k=0.9983	n=1.5864	a=0.9148	b=-0.0010	g=0.0861		
		300 W					
		Sabit ve Katsayılar					
1	k=0.0001						
2	k=0.0637	n=1.3350					
3	k=0.0212	n=1.3239	a=1.0053				
4	k=1.7018	n=0.0001					
5	k=0.0001	a=1.0665					
6	k=0.0011	a=1.2950	c=-0.2595				
7	k ₀ =0.0392	k ₁ =0.0171	a=0.0039	b=1.6516			
8	k=0.0003	a=1.9033					
9	a=0.0071	b=2.1931					
10	k=0.0391	a=-0.6543	b=0.0007				
11	k=0.0003	a=1.6543	g=0.0391				
12	k=0.0501	a=800.3450	b=-800.9371	c=1.5918	g=0.0501	h=0.0169	
13	L=2.6569	a=0.0002	c=0.0890				
14	k=0.0001	n=0.0068	L=0.3271				
15	k=0.0049	n=1.1941	a=1.0247	b=-0.0002			
16	k=0.0018	n=1.4485	a=0.0596	b=-0.9386			
17	k ₁ =0.1932	k ₂ =-0.0027					
18	k=0.0049	a=0.5506	a ₀ =1.5709				
19	k=0.9999	a=1.0414	b=0.0438	c=-0.0433			
20	k=0.5902	n=-0.0101	a=1.2950	c=-0.2595			
21	k=0.9912	n=1.4586	a=0.9491	b=-0.0008	g=0.0509		

Çizelge 4.5. Mikrodalga kurutma yönteminin 500 W ve 700 W mikrodalga çıkış güçleri kullanılarak kurutulan kuşburnu meyvesinin modellenmesinde kullanılan ince tabaka kurutma modellerinde yer alan kurutma sabit ve katsayıları

		500 W					
Model	Sabit ve Katsayılar						
1	k=0.0025						
2	k=0.0001	n=1.3105					
3	k=0.0121	n=1.3009	a=1.0045				
4	k=-0.1557	n=0.9999					
5	k=0.0071	a=1.0647					
6	k=0.0205	a=0.0191	c=-0.1800				
7	k ₀ =0.0062	k ₁ =0.0932	a=1.5290	b=-0.5314			
8	k=0.0011	a=1.8800					
9	a=-0.0209	b=0.0848					
10	k=0.0929	a=-0.5268	b=0.3945				
11	k=0.0001	a=1.5351	g=0.0921				
12	k=0.0599	a=11987.10	b=6360.9698	c=-18347.07	g=0.0604	h=0.0601	
13	L=0.1794	a=1.0647	c=0.0009				
14	k=0.7397	n=1.3105	L=0.9825				
15	k=0.0001	n=1.4376	a=0.9938	b=0.0008			
16	k=0.0082	n=1.3390	a=0.0283	b=-0.9801			
17	k ₁ =0.0199	k ₂ =0.0001					
18	k=0.0031	a=0.6027	a ₀ =1.6233				
19	k=0.0035	a=-0.0169	b=0.9269	c=1.0228			
20	k=0.6679	n=0.5389	a=1.2203	c=-0.1800			
21	k=0.9952	n=2.0646	a=0.9028	b=-0.0146	g=0.0980		
		700 W					
	Sabit ve Katsayılar						
1	k=0.0034						
2	k=0.0267	n=0.0763					
3	k=0.0039	n=1.1916	a=1.0130				
4	k=0.0016	n=2.3168					
5	k=0.0544	a=0.0752					
6	k=0.0485	a=1.1022	c=0.0779				
7	k ₀ =0.0077	k ₁ =0.2743	a=1.2407	b=-0.2442			
8	k=0.0872	a=1.7959					
9	a=0.0775	b=0.0005					
10	k=0.0715	a=1.6799	b=1.9500				
11	k=0.0073	a=1.2409	g=0.2707				
12	k=0.2698	a=-0.2972	b=2.6388	c=1.2897	g=-0.1648	h=0.0655	
13	L=0.9876	a=1.0619	c=0.0531				
14	k=0.0382	n=0.0730	L=1.1596				
15	k=0.0099	n=1.5954	a=0.9636	b=0.0023			
16	k=0.0146	n=1.4927	a=0.0953	b=-0.8881			
17	k ₁ =0.0429	k ₂ =0.0072					
18	k=0.0739	a=1.1524	a ₀ =0.0842				
19	k=0.0003	a=-0.0262	b=1.1292	c=1.0386			
20	k=0.9934	n=0.0973	a=1.1022	c=-0.0535			
21	k=0.0022	n=1.9415	a=0.6142	b=-0.0280	g=0.1017		

Çizelge 4.6. Mikrodalga kurutma yönteminin 1000 W mikrodalga çıkış gücü kullanılarak kurutulan kuşburnu meyvesinin modellenmesinde kullanılan ince tabaka kurutma modellerinde yer alan kurutma sabit ve katsayıları

Model	1000 W					
	Sabit ve Katsayılar					
1	k=0.0055					
2	k=0.0494	n=1.1289				
3	k=0.0043	n=1.0974	a=1.0202			
4	k=0.0096	n=1.3055				
5	k=0.1099	a=0.9842				
6	k=0.1048	a=0.0578	c=-0.0215			
7	k ₀ =0.2999	k ₁ =1.5050	a=1.1040	b=-0.1041		
8	k=0.1373	a=0.2989				
9	a=0.0011	b=0.0021				
10	k=1.4753	a=-0.1044	b=0.0789			
11	k=0.0079	a=1.1040	g=1.5043			
12	k=0.5948	a=-0.3189	b=0.8308	c=0.4873	g=0.2026	h=0.0764
13	L=2.4744	a=0.0009	c=0.6728			
14	k=1.7841	n=1.1289	L=0.2389			
15	k=0.0646	n=1.2706	a=1.0024	b=0.0035		
16	k=0.1999	n=1.2751	a=0.0857	b=-0.9211		
17	k ₁ =0.0945	k ₂ =0.7985				
18	k=0.0579	a=2.9414	a ₀ =4.0511			
19	k=0.1958	a=0.9459	b=0.1258	c=0.0531		
20	k=0.0001	n=1.3329	a=1.0622	c=-0.0215		
21	k=0.9961	n=1.0006	a=0.9249	b=51.6692	g=0.0773	

4.2. 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 4.7’de verilmiştir. Çizelgeye göre 50°C’de konvektif kurutma sırasında harcanan toplam enerji tüketiminin 100 W, 300 W, 500 W, 700 W ve 1000 W mikrodalga çıkış güçlerinde harcanan toplam enerji tüketiminden yaklaşık olarak sırasıyla; 27, 60, 127, 217 ve 466 kat daha fazla olduğu görülmüştür. Konvektif kurutma yönteminde toplam kuruma süresinin mikrodalga kurutma yöntemine kıyasla oldukça uzun olması toplam enerji tüketiminin de yükselmesine neden olmuştur. Özgül enerji tüketimi açısından da en yüksek değerin 50°C’de konvektif kurutmada meydana geldiği tespit edilmiştir.

Hem özgül enerji tüketimi hem de toplam enerji tüketimi açısından 300-1000 W arasındaki mikrodalga kurutma yöntemleri ile gölgede kurutma yönteminin, 100 W ve 50°C'ye kıyasla düşük enerji tüketimine sahip yöntemler olduğu görülmüştür. Bununla birlikte, oda koşullarındaki 25°C'lik sabit sıcaklık ile %60-65 bağıl nem koşullarının sağlanması amacıyla kullanılan soğutucu ve nemlendiricilerin harcadığı enerji tüketimi dikkate alınmadığı için gölgede kurutma yönteminde herhangi bir enerji tüketiminin olmadığı varsayılmıştır. Ancak gölgede kurutma yönteminde ürünün kuruması toplam 6.5 gün gibi uzun bir sürede gerçekleşmektedir. Bu süre zarfında oda koşullarının sağlanması için harcanacak enerji tüketimi de dikkate alındığında bu yöntemin diğer yöntemlere kıyasla hem süre hem de görünür olmayan enerji tüketimi açısından uygulanabilir olmadığı açıkça görülmüştür. Çalışmada elde edilen sonuçlar literatürde bulunan bazı çalışmalarla örtüşmektedir.

Raghavan ve ark. (2003) kızılcık meyvesini 0.75 W g⁻¹, 1.0 W g⁻¹ ve 1.25 W g⁻¹ güç yoğunluklarında kurutmuş ve mikrodalga güç yoğunluğunun artmasıyla kuruma süresinin kısaldığını, buna bağlı olarak harcanan toplam enerji tüketim miktarının da azaldığını bildirmiştir. Koyuncu ve ark. (2007) konveksiyonel kurutma yöntemi ile 50°C, 60°C ve 70°C'de kuruttuğu kızılcık meyvesinde en yüksek enerji tüketiminin 50°C sıcaklık uygulamasında olduğunu saptamıştır. Horuz ve ark. (2017) vişnenin 50°C ve 70°C'de konveksiyonel, 120-180 W'da mikrodalga ve bu yöntemlerin kombinasyonları ile kurutulmasında toplam enerji tüketim miktarı ve özgül enerji tüketim miktarının en yüksek olduğu yöntemin, en uzun kurutma süresi ile ilişkili olarak 50°C'de konvektif kurutma olduğunu bildirmiştir. Alibaş ve Köksal (2017) böğürtlenin 50°C'de konveksiyonel ve 160 W, 500 W, 850 W'da mikrodalga kurutma yöntemleri ile kurutulmasında toplam enerji tüketiminin en fazla olduğu yöntemin 50°C sıcaklık uygulamasıyla konvektif kurutma olduğunu, buna karşın toplam enerji tüketiminin en az olduğu yöntemin 850 W'da mikrodalga kurutma yöntemi olduğunu tespit etmiştir. Motevali ve ark. (2011a) nar tanelerinin 100 - 300 W'da mikrodalga kurutma, 45 - 70°C'de konvektif kurutma ve 250 kPa basınç ile 100 ve 300 W kombinasyonunda vakumla kurutma yöntemleri ile kurutulmasında harcanan toplam enerji tüketim miktarı ve özgül enerji tüketim miktarının en az olduğu yöntemin, en kısa kuruma yöntemi olan mikrodalga kurutma yöntemi olduğunu belirlemiştir.

Çizelge 4.7. Kuşburnunun farklı yöntemlerle kurutulması sırasındaki toplam enerji tüketimi, özgül enerji tüketimi, kurutma süresi ve ortalama kuruma hızı

KY	KS **	OKH**	TET**	ÖET**
Gölge	9360±11.55 ^f	0.00020±0.000003 ^f	0.000±0.000 ^a	0.000±0.000 ^a
50°C	1080±20.82 ^e	0.00189±0.000029 ^f	16.307±0.257 ^c	34.816±0.548 ^g
100 W	364±3.06 ^d	0.00575±0.000123 ^e	0.607±0.005 ^b	25.823±0.217 ^f
300 W	162±7.02 ^c	0.01035±0.001121 ^d	0.270±0.012 ^a	11.530±0.500 ^e
500 W	77±1.53 ^b	0.02451±0.000334 ^c	0.128±0.003 ^a	5.474±0.109 ^d
700 W	45±1.53 ^a	0.04957±0.000878 ^b	0.075±0.003 ^a	3.194±0.108 ^c
1000 W	21±1.15 ^a	0.09365±0.000255 ^a	0.035±0.002 ^a	1.496±0.082 ^b

P<0.01 Sütunlar arası farklılıklar önemlidir. 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.

Koyuncu ve ark. (2003) kuşburnu meyvesinin 50°C sıcaklıkta konvektif kurutulmasında harcanan özgül enerji tüketimini 32.50 kWh kg⁻¹ olarak belirlemiş olup, bu değer bulgularımızla örtüştüğü görülmüştür. Horuz ve ark. (2017) vişnenin 50°C sıcaklıkta konvektif kurutulmasında kurutma işleminin 1645 dakikada tamamlandığını ve bu kurutma denemesinde harcanan toplam enerji tüketimi ve özgül enerji tüketiminin sırasıyla; 14.57 kWh ve 35.48 kWh kg⁻¹ olduğunu bildirmiştir. Kowalski ve ark. (2016) çilek dilimlerinin 50°C’de konvektif kurutma işleminin 800 dakika sürdüğünü, bununla birlikte kurutma süresince harcanan toplam enerji tüketimi ve özgül enerji tüketiminin sırasıyla; 9.05 kWh ve 137 kWh kg⁻¹ olduğunu tespit etmiştir. Alibaş ve Köksal (2017) böğürtlenin 50°C’de konveksiyonel ve 500 W güç düzeyinde mikrolga ile kurutulmasında harcanan toplam enerji tüketiminin sırasıyla; 0.9164 ve 0.2264 kWh olduğunu tespit etmiştir. Yine bu kurutma denemeleri için kuruma süreleri sırasıyla 272 ve 12.67 dakika olarak belirlenmiştir. Karacabey ve ark. (2020) sultani çekirdeksiz üzüm çeşidinin 50°C sıcaklıkta konvektif kurutulmasında harcanan özgül enerji tüketiminin 82.51 kWh kg⁻¹ olduğunu bildirmiştir. Ayrıca çalışmada, bu kurutma işleminin 2971 dakikada tamamlandığı saptanmıştır.

4.3. Renk Parametreleri, Toplam Renk Değişimi ve Kahverengileşme İndeksi

4.3.1. Renk Parametreleri

Taze ve kurutulmuş kuşburnunun parlaklık (L), kırmızılık (a), sarılık (b), kroma (C), renk açısı (α), toplam renk değişimi (ΔE) ve kahverengileşme indeksi (BI) Çizelge 4.8'de gösterilmiştir. Buna göre, mikrodalga kurutmanın 300 W ve 700 W mikrodalga çıkış gücündeki parlaklık değerinin taze ürününkiyle neredeyse aynı olduğu görülmüştür. Taze ürüne kıyasla, gölgede, 50°C ve 100 W'da kurutma yöntemlerinde ürünlerde koyuluğun yüksek oranda meydana geldiği, diğer bir deyişle en fazla parlaklık kaybının gözlemlendiği belirlenmiştir. Ayrıca, mikrodalga kurutmanın 300-1000 W arasındaki tüm çıkış güçlerinin, ürünün parlaklığı açısından kabul edilebilir olduğu tespit edilmiştir.

Taze ürüne en yakın kırmızılık 700 W mikrodalga kurutma yönteminde ölçülmüş olup bunu 500 W'da kurutmanın takip ettiği görülmüştür. Bununla birlikte en düşük mikrodalga çıkış gücü olan 100 W'da kırmızılığın taze ürüne kıyasla 2.72 kat azaldığı belirlenmiştir. Gölgede ve konvektif kurutma yöntemlerindeki kırmızılığın 100 W'a kıyasla sırasıyla %74 ve %69 daha yüksek olduğu saptanmıştır.

Taze ve 700 W'da mikrodalga ile kurutulmuş kuşburnunun sarılık oranının benzer olduğu, buna karşın diğer tüm kurutma yöntemlerinde sarılığın önemli ölçüde azaldığı belirlenmiştir. Sarılık değerinin en fazla kayba uğradığı yöntemin en düşük mikrodalga çıkış gücü olan 100 W olduğu görülmüş olup bu yöntemde 700 W'a oranla sarılık değerinin 4.47 kat azaldığı tespit edilmiştir. Gölgede ve konvektif kurutma yöntemlerinde ölçülen sarılık değerinin ise 700 W'a kıyasla sırasıyla %96.53 ve %76.17 oranında azaldığı görülmüştür. Sarılık değerine benzer şekilde, taze ürüne en yakın kroma değeri 700 W'da mikrodalga kurutma yönteminde ölçülmüştür. Bununla birlikte 100 W'da kurutmanın ürünlerin renginde önemli ölçüde matlığa neden olduğu kaydedilmiştir. En düşük mikrodalga çıkış gücü olan 100 W'dan sonra üründe en fazla matlığa neden olan gölgede ve konvektif kurutma yöntemlerindeki kroma değerinin 100 W'a kıyasla sırasıyla %83.51 ve %85.64 oranında yüksek olduğu görülmüştür. Bununla birlikte, gölge ve konvektif kurutma yöntemlerindeki kroma değerinin ise 700 W'dan sırasıyla %53.04 ve %51.29 oranında daha düşük olduğu saptanmıştır.

Taze ürüne en yakın renk açısı değerinin 50°C’de konvektif kurutma ve 1000 W’da mikrodalga kurutma yöntemleri olduğu görülmüştür. Buna karşın 700 W’da kurutmada ise renk açısının yükseldiği dolayısıyla da renkte turuncu tonun arttığı tespit edilmiştir. Taze ürüne kıyasla renk açısı bakımından en düşük değerin 100 W’da mikrodalga kurutma yöntemi olduğu belirlenmiş olup bu yöntemin renk açısının taze ürüne oranla %42.32 oranında azaldığı görülmüştür.

Tüm renk parametreleri açısından taze ürüne en yakın kurutma yönteminin 700 W olduğu tespit edilirken, en fazla renk kaybının meydana geldiği yöntemin ise 100 W olduğu görülmüştür. En yüksek mikrodalga gücü olan 1000 W’ın 700 W’a oranla sarılık dışındaki renk parametrelerini önemli ölçüde etkilemediği tespit edilmiştir. Bununla birlikte kurutma süresi bakımından en uzun süreli kurutma yöntemleri olan gölgede kurutma, 50°C’de konvektif kurutma ve 100 W’da mikrodalga kurutma yöntemleri renk parametrelerinde belirgin oranda kayba neden olmuş, ancak en yüksek kaybın en düşük mikrodalga gücü olan 100 W’da meydana geldiği tespit edilmiştir.

Kurutma süresinin uzaması ve ürünün düşük düzeyde de olsa mikrodalga enerjisine uzun süreli maruz kalması renk parametreleri açısından olumsuz etkilere yol açmıştır. Buna karşın ürünün yüksek mikrodalga gücüne kısa süreli maruz kalmasının renk parametrelerini belirgin biçimde etkilemediği gözlemlenmiştir. Elde edilen bulguların literatürde bulunan bazı çalışmalarla paralel olduğu görülmüştür (Alibaş 2015; Bustos ve ark. 2018).

Ozkan ve ark. (2007) 90 – 1000 W arasında sekiz farklı mikrodalga çıkış gücü ile ıspanak yapraklarını kurutmuş ve en düşük çıkış gücü olan 90 W ve en yüksek çıkış gücü olan 1000 W’ın önemli ölçüde renk kaybına neden olduğunu bildirmiştir. Şen (2010) mikrodalga kurutma yöntemi ile kurutulan kuşburnunun renk parametrelerinin gölgede kurutmaya oranla taze ürüne daha yakın olduğunu belirlemiştir. Ölçülen renk parametrelerinin bulgularımızla paralel olduğu görülmüştür. Taşova ve ark. (2019) kuşburnu meyvesini 50°C, 60°C, 70°C’de sıcak hava ve 360 W, 540 W, 720 W, 900 W’da mikrodalga ile kurutmuş ve taze ürünün renk parametrelerine en yakın sonuçların 720 W mikrodalga güç seviyesinde elde edildiğini belirlemiştir. Tontul ve ark. (2019) kuşburnu meyvesini 50°C, 60°C, 70°C sıcaklıklarda konveksiyonel kurutucu ile

kurutmuş ve en uzun kurutma süresi olan 50°C'nin ürünlerde önemli düzeyde renk kaybına neden olduğunu tespit etmiştir. Aral ve Beşe (2016) alıç meyvesini 50°C, 60°C ve 70°C sıcaklıklarda konveksiyonel kurutma yöntemi ile kurutmuş ve en fazla renk kaybının 50°C'de meydana geldiğini saptamıştır. Benzer şekilde, Bustos ve ark. (2018) da 50°C'de kurutulan ahududu, böğürtlen, kırmızı ve siyah frenk üzümünde taze ürünlere kıyasla renk kaybının yüksek olduğunu bildirmiştir. Demir ve ark. (2019) kızılılık meyvesini 50°C, 60°C, 70°C sıcaklıklarda konvektif kurutma yöntemi ile kurutmuş ve en fazla renk kaybının 50°C'de meydana geldiğini saptamıştır.

4.3.2. Toplam Renk Değişimi ve Kahverengileşme İndeksi

Toplam renk değişimi açısından taze ürün baz alındığından dolayı bu numunelerde herhangi bir renk değişimi meydana gelmemiştir. Çizelge 4.8'e göre, en düşük renk değişiminin 700 W mikrodalga çıkış gücünde meydana geldiği, buna karşın en fazla renk değişiminin meydana geldiği kurutma yönteminin ise en düşük mikrodalga çıkış gücü olan 100 W'da mikrodalga kurutma yöntemi olduğu görülmüştür. Bununla birlikte gölgede ve 50°C'de konveksiyonel kurutma yöntemlerinin de önemli ölçüde renk değişimine neden olduğu tespit edilmiştir. Mikrodalga kurutmada 300 – 1000 W arasındaki tüm mikrodalga kurutma yöntemlerinde renk değişiminin diğer yöntemlere kıyasla daha düşük olduğu görülmüştür. Ayrıca, 700 W'da meydana gelen renk değişiminin 100 W'da kurutulan numunelere kıyasla 4.76 kat daha düşük olduğu; gölgede ve konvektif kurutma yöntemlerine göre ise bu oranın sırasıyla 2.99 ve 2.86 kat düşük olduğu tespit edilmiştir. Elde edilen bulgular literatürdeki bazı çalışmalarla paralellik göstermektedir. Taşova ve ark. (2019) kuşburnu meyvesinin 50°C ve 70°C sıcaklıkta konvektif ve 360 - 900 W aralığında 4 farklı mikrodalga çıkış gücünde kurutulmasında en fazla toplam renk değişiminin, en düşük mikrodalga çıkış gücü olan 360 W'da olduğunu, buna karşın orta ve yüksek mikrodalga çıkış güçlerindeki renk değişiminin konvektif kurutmaya göre daha az olduğunu tespit etmiştir. Zielinska ve Zielinska (2019) kızılılık meyvesinin 60-90°C'de ve 100 - 500 W mikrodalga çıkış güçlerinde kurutulmasında toplam renk değişiminin en fazla olduğu yöntemin 60°C sıcaklık uygulaması ile konvektif kurutma olduğunu, buna karşın toplam renk değişiminin en az olduğu yöntemin 500 W'da mikrodalga ile kurutma yöntemi olduğunu saptamıştır.

Kuşburnu meyvesi kırmızı rengin hakim olduğu bir meyve türü olduğundan dolayı kahverengileşme indeksi en fazla kırmızılığın hakim olduğu taze üründe daha yüksektir. Bu durum tamamen meyvenin hakim rengi olan koyu kırmızı renkten kaynaklanmaktadır. Bu nedenle kahverengileşme indeksi düşük olan 100 W’da mikrodalga kurutmada ürün renginde açılma/sararma meydana geldiği anlaşılmaktadır. Tüm kurutma yöntemlerinin içinde kahverengileşme indeksi açısından taze ürüne en yakın kurutma yönteminin 700 W’da mikrodalga kurutma yöntemi olduğu görülmüştür. Bu yöntemdeki kahverengileşme indeksi 100 W’a kıyasla 3.18 kat daha yüksektir.

Taşova ve ark. (2019) 50°C ve 70°C’de konvektif ve 360 - 900 W aralığında 4 farklı mikrodalga çıkış gücünde kurutulan kuşburnu meyvesinde kahverengileşme indeksi bakımından taze ürüne en yakın sonuçların 720 W’da mikrodalga kurutma yönteminde elde edildiğini; buna karşın, en düşük kahverengileşme indeksinin konvektif kurutma yöntemi ile 50°C sıcaklık uygulamasında gözlemlendiğini belirtmiştir. Elde edilen bu sonuçlar bulgularımızla paralellik göstermektedir. Şen (2010) kuşburnu meyvesinin güneşte kurutma, gölgede kurutma ve 540 - 900 W aralığındaki farklı çıkış güçlerini kullanarak mikrodalga kurutma yöntemleri ile kurutmuş ve taze ürüne en yakın kahverengileşme indeksinin 900 W’da meydana geldiğini saptamıştır.

Çizelge 4.8. Taze ve kurutulmuş kuşburnu meyvesinin renk parametreleri

KY	L^{**}	a^{**}	b^{**}	C^{**}	α^{**}	ΔE^{**}	BI^{**}
Taze	38.7±0.7 ^{ab}	46.8±0.6 ^a	31.9±0.9 ^a	56.7±0.9 ^a	34.3±0.6 ^b	0.0±0.0 ^a	216.4±5.3 ^b
Gölge	28.0±0.4 ^d	29.9±1.8 ^e	17.3±0.5 ^c	34.5±1.7 ^e	30.3±1.3 ^c	25.1±1.5 ^e	158.6±3.2 ^c
50°C	28.7±0.5 ^d	29.1±1.1 ^e	19.3±0.9 ^c	34.9±1.4 ^{de}	33.6±0.6 ^b	24.0±1.5 ^e	168.6±6.7 ^c
100 W	27.8±0.4 ^d	17.2±2.0 ^f	7.6±0.7 ^d	18.8±2.1 ^f	24.1±0.7 ^d	40.0±1.3 ^f	73.9±8.2 ^e
300 W	39.0±0.6 ^a	33.5±0.8 ^d	19.1±1.0 ^c	38.6±0.9 ^d	29.6±1.3 ^c	18.7±1.1 ^d	123.4±5.7 ^d
500 W	37.0±0.9 ^b	38.6±0.6 ^{bc}	22.2±1.0 ^b	44.6±0.7 ^c	29.9±1.2 ^c	13.2±1.6 ^c	154.3±2.1 ^c
700 W	37.5±0.7 ^{ab}	40.4±1.0 ^b	34.0±0.9 ^a	52.8±1.2 ^b	40.0±0.7 ^a	8.4±0.8 ^b	235.3±8.6 ^a
1000 W	35.1±0.7 ^c	35.3±1.1 ^{cd}	23.9±0.8 ^b	42.8±0.9 ^c	34.2±1.5 ^b	14.7±1.5 ^c	171.7±7.1 ^c

P<0.01 Sütunlar arası farklılıklar önemlidir. KY, kurutma yöntemi; L, parlaklık/koyuluk; a, kırmızılık/yeşillik; b, sarılık/mavilik; C, kroma; α° , renk açısı; ΔE , toplam renk değişimi; BI, kahverengileşme indeksi. \pm SH

4.4. Protein İçeriği ve Makro - Mikro Besin Elementi Konsantrasyonu

Taze ve kurutulmuş kuşburnunun protein içeriği ve makro besin elementleri izelge 4.9'da; mikro besin elementleri ise izelge 4.10'da sunulmuştur. Taze kuşburnunun protein içeriği, makro ve mikro besin elementlerinin kurutulmuş numunelere oranla belirgin ölçüde dūřuk olduğu grlmüştur. Kurutma sırasında ürünün yapısında bulunan suyun büyük bir kısmı buharlaştırılmakta ve bu da ürünün daha konsantre hale gelmesine neden olmaktadır. Bu çalışmada kuşburnu başlangıç kütlesinin neredeyse 1/5'ine kadar kurutulmuş olduğundan birim ürünün konsantrasyonunda da aynı ölçüde artış meydana gelmiştir. Bu konsantrasyon artışı da taze ürünün protein içeriği ve besin elementlerinin kurutulmuş ürünlerden daha dūřuk olmasına yol amiştir. Literatürde pek çok araştırmacı taze ürünün konsantrasyonunun kurutulmuş numunelere oranla dūřuk olduğunu vurgulamıştır (Ozcan ve ark. 2005; Arslan ve Özcan, 2012; Alibas ve ark. 2020).

Çizelge 4.9'a göre, protein içeriğinin en iyi korunduğu kurutma yönteminin 500 ve 700 W olduğu görülmektedir. Taze ürüne kıyasla söz konusu kurutma yöntemleri ile kurutulmuş kuşburnunun protein içeriğinin sırasıyla 2.3 ve 2.2 kat daha yüksek olduğu belirlenmiştir. Fosfor ve kalsiyum içeriği bakımından en iyi kurutma yönteminin 700 W, buna karşın potasyum ve magnezyum açısından ise en iyi sonuçları veren kurutma yönteminin 500 W olduğu saptanmıştır. Hem 500 W hem de 700 W'da mikrodalga kurutulan numunelerin makro besin elementi konsantrasyonunun birbirine yakın olduğu grlmüştur. Fosfor açısından en belirgin kaybın 100 W'da mikrodalga kurutma yönteminde meydana geldiği tespit edilmiştir. Bununla birlikte, 100 W'da ölçülen fosfor konsantrasyonunun taze ürüne kıyasla 1.86 kat yüksek olduğu, buna karşın 700 W'a kıyasla 1.27 kat dūřuk olduğu belirlenmiştir. Fosfor içeriğinin korunması bakımından en iyi yöntem olan 500 W'ı, 300 W mikrodalga kurutma yöntemi takip etmiştir. Kurutulmuř numunelerdeki en dūřuk fosfor konsantrasyonu gölgede kurutmada lülmüřtur. Gölgede kurutulmuş numunelerin fosfor içeriği taze ürüne kıyasla %44.5 oranında yüksekken; 500 W'da kurutulmuş numunelerin fosfor konsantrasyonu ise taze ürüne kıyasla %95 daha fazladır. Kalsiyumun konsantrasyonunun en yüksek düzeyde lüldüđu kurutma yönteminin 700 W, en dūřuk olduğu kurutma yönteminin ise 50°C'de konvektif kurutma olduğu grlmüştur.

Konvektif kurutmada taze ürüne kıyasla kalsiyum içeriğinin 2.06 kat yüksek olduğu, buna karşın 700 W'da mikrodalga kurutma yöntemine göre 1.67 kat düşük olduğu belirlenmiştir. Tüm kurutma yöntemleri içinde magnezyumun en düşük ölçüldüğü yöntemin gölgede kurutma yöntemi olduğu saptanmıştır. Ayrıca, gölgede kurutma yönteminin en yüksek magnezyum konsantrasyonunun belirlendiği 500 W'a kıyasla %65.5 oranında kayba neden olduğu görülmüştür. Bununla birlikte, 500 W'da ölçülen magnezyum içeriğinin taze ürüne kıyasla 3.74 kat yüksek olduğu tespit edilmiştir.

Ercisli (2007) taze kuşburnuda belirlediği K, Ca, Fe, Cu, Mn ve Zn içeriği sonuçlarımızla paralellik göstermiş olup, P ve Mg içeriğinin bulgularımıza oranla sırasıyla 8.84 ve 2.28 kat daha fazla olduğu görülmüştür. Paunović ve ark. (2019) tarafından taze kuşburnu meyvesinde belirlenen K, Ca, Mg, P, Mn ve Fe içerikleri ve 50°C sıcaklık uygulamasında ölçülen K, Ca, P, Fe ve Mg konsantrasyonlarının sonuçlarımızla benzer olduğu görülmüştür. Buna karşın, Mn içeriğinin bulgularımıza oranla 2.5 kat daha fazla olduğu saptanmıştır. Bratu ve ark. (2018) taze kuşburnudaki Mn, Fe, Cu ve Zn içeriğinin bulgularımıza kıyasla sırasıyla 16, 2.8, 6.92 ve 5.83 kat daha fazla olduğunu belirlemiştir.

Çizelge 4.9. Taze ve kurutulmuş kuşburnu meyvesinin protein içeriği ve makro besin elementleri

KY	TP** %	P** %	K** %	Ca** %	Mg** %
Taze	2,351±0,396 ^d	0.058±0.005 ^d	0.550±0.028 ^c	0.187±0.006 ^c	0.050±0.003 ^d
Gölge	4,041±0,299 ^c	0.109±0.006 ^c	0.795±0.047 ^b	0.427±0.015 ^b	0.113±0.003 ^c
50°C	3,999±0,192 ^c	0.111±0.010 ^c	0.841±0.021 ^b	0.389±0.026 ^b	0.121±0.003 ^c
100 W	4,212±0,187 ^c	0.108±0.004 ^c	0.925±0.016 ^{ab}	0.403±0.015 ^b	0.118±0.019 ^c
300 W	4,358±0,324 ^{bc}	0.115±0.005 ^{bc}	0.986±0.138 ^{ab}	0.436±0.018 ^b	0.124±0.028 ^c
500 W	5,360±0,217 ^a	0.119±0.003 ^{bc}	1.073±0.047 ^a	0.611±0.027 ^a	0.187±0.006 ^a
700 W	5,075±0,214 ^{ab}	0.138±0.001 ^a	0.910±0.072 ^{ab}	0.648±0.019 ^a	0.162±0.003 ^{ab}
1000 W	4,361±0,085 ^{bc}	0.129±0.005 ^{ab}	0.891±0.063 ^{ab}	0.433±0.007 ^b	0.139±0.002 ^{bc}

P<0.01 Sütunlar arası farklılıklar önemlidir. KY, kurutma yöntemi; TP, toplam protein; P, fosfor; K, potasyum; Ca, kalsiyum; Mg, magnezyum. ±SH.

Çizelge 4.10'a göre, sodyum ve demir açısından en yüksek konsantrasyon 500 W mikrodalga kurutma yönteminde ölçülmüştür. Bununla birlikte, 500 ve 700 W'da mikrodalga kurutmada sodyum konsantrasyonunun oldukça yakın olduğu görülmüştür.

Ayrıca, en düşük sodyum içeriğinin ölçüldüğü 100 W'daki sodyum konsantrasyonunun 500 W'a göre %60.62 oranında azaldığı, taze ürüne kıyasla %43.16 oranında arttığı tespit edilmiştir. Konvektif kurutmanın demir içeriğinin taze ürüne göre %13.77 kat azaldığı; 500 W'a kıyasla %70.83 azaldığı belirlenmiştir. Çalışmada, bakır, manganez ve çinko içeriği bakımından en iyi yöntemin 700 W olduğu görülmüştür. Bakır açısından en düşük konsantrasyonun konvektif kurutmada; çinko için konvektif kurutmada ve manganez için gölgede ve konvektif kurutma yöntemlerinde ölçüldüğü tespit edilmiştir.

Konvektif kurutmadaki bakır konsantrasyonunun taze ürüne kıyasla %10.4 arttığı; bununla birlikte, taze ürünün bakır konsantrasyonunun 700 W'a göre yaklaşık %95 azaldığı gözlemlenmiştir. Konvektif ve gölgede kurutmada manganez konsantrasyonunun taze ürünün manganez içeriğine benzer olduğu görülmüştür. Taze ürüne kıyasla 700 W'daki manganez konsantrasyonunun 4.69 kat arttığı tespit edilmiştir. Konvektif kurutmadaki çinko içeriğinin taze ürüne kıyasla 1.5 kat artış gösterdiği; buna karşın taze ürünün çinko konsantrasyonunun 700 W'a kıyasla 2.5 kat azaldığı saptanmıştır.

Çizelge 4.10. Taze ve kurutulmuş kuşburnu meyvesinin mikro besin elementleri

KY	Na**	Fe**	Cu**	Mn**	Zn**
	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm
Taze	193.93±28.52 ^f	14.16±0.56 ^e	2.50±0.03 ^e	21.50±1.15 ^e	4.32±1.25 ^c
Gölge	421.73±9.81 ^{ab}	17.32±1.05 ^d	3.02±0.11 ^{de}	23.72±0.85 ^{de}	9.13±1.61 ^{ab}
50°C	364.60±27.01 ^{bcd}	16.11±0.47 ^{de}	2.76±0.05 ^e	24.51±0.39 ^{de}	6.44±0.45 ^{bc}
100 W	277.63±17.32 ^e	16.46±0.69 ^d	3.53±0.45 ^{cd}	35.77±3.47 ^{cd}	7.13±0.88 ^b
300 W	322.87±40.85 ^{de}	20.73±1.09 ^c	3.47±0.22 ^d	44.79±1.48 ^c	7.71±0.44 ^b
500 W	445.92±5.28 ^a	27.52±0.35 ^a	4.19±0.31 ^{bc}	76.26±3.98 ^b	8.09±0.74 ^b
700 W	406.41±29.22 ^{abc}	23.99±0.50 ^b	4.87±0.06 ^a	122.91±10.98 ^a	10.81±0.82 ^a
1000 W	341.30±30.32 ^{cde}	20.29±0.17 ^c	4.50±0.13 ^{ab}	40.13±0.24 ^c	9.02±0.07 ^{ab}

P<0.01 Sütunlar arası farklılıklar önemlidir. KY, kurutma yöntemi; Na, sodyum; Fe, demir; Cu, bakır; Mn, Mangan; Zn, çinko. ±SH.

Özrenk ve ark. (2012) gölgede kuruttuğu 15 farklı kuşburnu genotipinde Zn içeriğinin 4.55-21.99 ppm arasında değiştiğini tespit etmiştir. Bu çalışmadaki gölgede kurutulan ürünlerin Zn içeriğinin bu sınır değerlerinin arasında olduğu görülmektedir. Türkben ve

ark. (2010) güneşte kurutulmuş kuşburnu meyvesinin taze ürüne kıyasla Mg, Ca ve P içeriğinin arttığını, buna karşın Na ve K içeriğinin azaldığını belirlemiştir. Chauhan ve ark. (2015) bir erik çeşidi olan karonda meyvesinin güneşte, -20°C’de dondurarak ve 800 W’da mikrodalga kurutma yöntemleri ile kurutulmasında Ca, Fe, P ve protein içeriğinin en iyi seviyede korunduğu yöntemin 800 W’da mikrodalga kurutma yöntemi olduğunu tespit etmiştir. Frathini ve ark. (2017) konvektif 65°C sıcaklık uygulamasıyla kurutulmuş goji berry meyvesinin K, P, Cu, Fe, Mn ve Zn içeriğini taze ürüne kıyasla daha yüksek olduğunu belirtmiştir.

Juhaimi ve ark. (2017) iki farklı çeşit cennet hurmasının güneşte kurutma, 360 W ile 720 W’da mikrodalga kurutma ve 70°C ile 110°C’de konvektif kurutma yöntemleri ile kurutulmuş ve P, K, Ca, Mg, Fe, Zn, Mn ve Cu içeriğinin en iyi düzeyde korunduğu yöntemin mikrodalga kurutma olduğunu belirlemiştir. Alibas ve ark. (2020) elma kabuklarının gölgede kurutma ve 400, 600, 800 ve 1000 W’da mikrodalga kurutma yöntemleri ile kurutulmuş olup, makro ve mikro besin elementi içeriğinin en iyi korunduğu yöntemin 400 W’da mikrodalga kurutma yöntemi olduğunu bildirmiştir.

4.5. Verilerin Doğrusal Korelasyonları

Taze ve kurutulmuş kuşburnunun renk ve besin elementi parametreleri arasındaki negatif ve pozitif yönlü lineer korelasyonlar Çizelge 4.11’de verilmiştir. Kurutma, materyalde bulunan suyun uzaklaştırılmasına ve buna bağlı olarak da materyalin konsantrasyonunun artmasına neden olduğundan taze üründeki toplam protein, makro ve mikro besin elementlerinin kurutulmuş ürünlere oranla daha düşük olduğu görülmüştür. Protein içeriği ve makro mikro besinlerde en yüksek konsantrasyon genellikle 500 W ve 700 W mikrodalga gücünde ölçülmüştür ve besin elementi ile protein içeriğinin düşük olduğu kurutma yöntemleri benzerlik göstermiştir. Bu nedenle besin elementleri ve toplam protein arasında pek çok orta ve yüksek yönlü pozitif doğrusal korelasyon tespit edilmiştir.

Toplam protein (TP) içeriğinin P, K, Mg ve Fe ile orta düzeyde pozitif lineer korelasyonları olduğu görülmüştür. Bununla birlikte Ca protein sentezinde hayati bir öneme sahip olduğundan TP ve Ca arasında yüksek düzeyde lineer ilişki olduğu tespit edilmiştir (Gerrano ve ark. 2018; Alibas ve ark. 2020). Çalışmada, P ile Ca ve Mg

arasında orta düzeyli, buna karşın Ca ile Mg, Fe ve Mn arasında yüksek düzeyli pozitif yönlü korelasyonlar tespit edilmiştir. Bunun yanı sıra, Ca ile Na ve Cu arasında, Mg ile Na, Fe ve Cu arasında, Cu ile Mn arasında orta düzeyli pozitif ilişkilerin olduğu görülmüştür. Ayrıca, Fe ve Mn arasında ise yüksek düzeyli bir ilişki olduğu belirlenmiştir. Çalışmada renk parametreleri ile makro ve mikro besin elementleri arasında anlamlı düzeyde bir ilişki varlığına rastlanmamıştır. Ancak, renk parametrelerinin birbiri ile çok sayıda pozitif ve negatif yönlü anlamlı ilişkisi tespit edilmiştir.

Parlaklık (L) ile a ve C arasında pozitif, buna karşın L ile ΔE arasında negatif yönlü orta düzeyli doğrusal korelasyonların varlığı saptanmıştır. Benzer şekilde, kırmızılık (a) ile b , C ve BI arasında pozitif ve ΔE ile negatif yönlü kuvvetli ilişkiler olduğu belirlenmiştir. Hem b ile C , a ve BI hem de BI ile C ve a arasında yüksek düzeyli pozitif doğrusal korelasyonlar tespit edilirken; ΔE ile b , C ve BI arasında kuvvetli negatif ilişkilerin olduğu görülmüştür.

Ercisli (2007) 60°C'de kurutulmuş kuşburnu meyvesinin P, K, Ca ve Mg konsantrasyonları arasında pozitif yönlü doğrusal ilişkiler olduğunu belirtmiştir. Türkben ve ark. (2010) hem Na ile K arasında hem de Mg, K ve Ca arasında pozitif yönlü doğrusal korelasyonlar saptamıştır. Orak ve ark. (2012) dağ çileğinin konvektif kurutma yöntemi ile kurutulmasında Cu ile Zn, Fe, B, Ca, K, P, Mg ve S arasında negatif yönlü ilişkilerin olduğunu saptamıştır. Adak ve ark. (2017) mikrodalga kurutma yöntemi ile kurutulmuş çileğin K ile N ve P içeriği arasında pozitif ilişkiler olduğu belirtmiştir. Bununla birlikte Fe, Mn, Zn, ve Cu, arasında ve Mn ile Ca arasında pozitif korelasyonlar olduğu tespit edilmiştir. Gerrano ve ark. (2018) mikrodalga kurutma yöntemiyle kuruttukları börülce çeşitlerinin K ile Cu, Fe ve Mg içeriği arasında pozitif ilişkiler olduğunu saptamıştır. Aynı çalışmada hem Mg ve hem de P ile Na ve Zn arasında anlamlı düzeyde pozitif ilişkilerin olduğu da vurgulanmıştır. Alibas ve ark. (2020) Ca ile N, P, K arasında; K ile N ve P arasında; Mg ile N, P, K ve Ca arasında; Na ile N, P, K, Ca ve Mg arasında; Cu ile P, K, Mg ve Na arasında; Mn ile K, Mg ve Na arasında; Zn ile P, K, Mg ve Cu arasında çok sayıda pozitif anlamlı korelasyon olduğunu tespit etmiştir. Ayrıca yaptıkları çalışmada, hem a ile L ve a arasında hem de C ile b arasında pozitif yönlü anlamlı ilişkiler olduğu vurgulanmıştır.

Çizelge 4.11. Taze ve kurutulmuş kuşburnu meyvesinin fitokimyasal parametreleri arasındaki lineer regresyonlar

TP	P	K	Ca	Mg	Na	Fe	Cu	Mn	Zn	L	a	b	C	α	ΔE	BI	
1.0000	0.7597	0.7813	0.8541	0.7671	0.6791	0.7666	0.6731	0.6379	0.4461	-0.1003	-0.2907	-0.2363	-0.2764	-0.0455	0.2699	-0.2337	TP
	1.0000	0.6019	0.7935	0.7708	0.6916	0.6092	0.6833	0.5795	0.6546	-0.1495	-0.3846	-0.2143	-0.3264	0.1098	0.3251	-0.2076	P
		1.0000	0.6437	0.5941	0.4681	0.6879	0.5015	0.3584	0.4057	-0.0315	-0.3871	-0.3850	-0.3954	-0.1974	0.3636	-0.4726	K
			1.0000	0.8659	0.7363	0.8435	0.7570	0.8097	0.6939	-0.0001	-0.0701	-0.0345	-0.0546	0.0561	0.0809	-0.0122	Ca
				1.0000	0.7882	0.7886	0.7158	0.6265	0.5478	-0.0641	-0.1683	-0.1623	-0.1692	-0.0299	0.1863	-0.1567	Mg
					1.0000	0.6426	0.4463	0.4570	0.5411	-0.2384	-0.1648	-0.1564	-0.1657	0.0287	0.2025	-0.0403	Na
						1.0000	0.7658	0.7600	0.5661	0.3619	0.1746	0.1290	0.1642	0.1082	-0.1749	0.0169	Fe
							1.0000	0.7671	0.6905	0.2446	0.0255	0.1378	0.0743	0.2177	-0.0810	0.0441	Cu
								1.0000	0.5343	0.3202	0.2851	0.3931	0.3412	0.3402	0.3286	0.3663	Mn
									1.0000	-0.0350	-0.0661	-0.0278	-0.0485	0.0727	0.0904	0.0057	Zn
										1.0000	0.7433	0.6948	0.7464	0.4226	-0.7782	0.4219	L
											1.0000	0.8850	0.9832	0.5202	-0.9665	0.8209	a
												1.0000	0.9549	0.8382	-0.9207	0.9366	b
													1.0000	0.6569	-0.9744	0.8890	C
														1.0000	-0.6234	0.8135	α
															1.0000	-0.8301	ΔE
																1.0000	BI

TP, toplam protein (%), P, fosfor (%), K, potasyum (%); Ca, kalsiyum (%); Mg, magnezyum (%); Na, sodyum (ppm); Fe, demir (ppm); Cu, bakır; (ppm) Mn, mangan (ppm); Zn, çinko (ppm); L, parlaklık/koyuluk; a, kırmızılık/yeşillik; b, sarılık/mavilik; C, kroma; α° , renk açısı; ΔE , toplam renk değişimi; BI, kahverengileşme indeksi.

5. SONUÇ

Bu tez çalışmasında kütlesi 50.00 ± 0.02 g ve başlangıç nem içeriği $1.199 \pm 0,003$ $\text{kg}_{\text{su}} \text{kg}_{\text{KM}}^{-1}$ (%52.79 \pm 0.05 y.b.) olan kuşburnu (*Rosa canina* L.) meyvesi gölgede kurutma, 50°C’de konvektif kurutma ve 100 W, 300 W, 500 W, 700 W ve 1000 W’da mikrodalga kurutma yöntemleri kullanılarak son nem içeriği 0.130 ± 0.001 $\text{kg}_{\text{su}} \text{kg}_{\text{KM}}^{-1}$ (%11.14 \pm 0.03 y.b.) oluncaya dek kurutulmuştur. Gölgede, 50°C, 100 W, 300 W, 500 W, 700 W ve 1000 W için kurutma işlemleri sırasıyla 9360, 1080, 364, 162, 77, 45 ve 21 dakika sürmüştür. Elde edilen kurutma verileri literatürdeki 21 farklı ince tabaka kurutma eşitliği kullanılarak modellenmiş ve deneysel verilere en yakın tahmin modelinin gölgede, 50°C, 300 W, 500 W ve 700 W için Alibaş modeli; 100 W için Weibull dağılımı modeli; 1000 W için geliştirilmiş Henderson ve Pabis modeli olduğu saptanmıştır.

Mikrodalga kurutmanın ortalama kuruma hızının konvektif ve gölgede kurutma yöntemlerinden yüksek olduğu saptanmıştır. Bununla birlikte, mikrodalga kurutmada uygulanan mikrodalga çıkış gücünün artmasıyla kuruma hızının da arttığı belirlenmiştir. Çalışmada, kuruma süresinin artmasıyla ortalama kuruma hızının azaldığı görülmüştür. Toplam enerji tüketimi ve özgül enerji tüketimi bakımından en yüksek değerler 50°C’de konvektif kurutmada ölçülmüştür. Bununla birlikte, mikrodalga kurutmada uygulanan mikrodalga çıkış gücünün artmasıyla toplam enerji tüketiminin ve özgül enerji tüketiminin azaldığı tespit edilmiştir.

Tüm kurutma yöntemlerinin içinde taze ürüne en yakın renk parametreleri 700 W’da mikrodalga kurutma yönteminde ölçülmüş olup bunu 500 W’da mikrodalga kurutma yöntemi izlemiştir. Buna karşın, 100 W’da mikrodalga kurutmanın ise taze ürüne kıyasla en yüksek düzeyde renk kaybına neden olduğu belirlenmiştir. Gölgede ve konvektif kurutmanın da kuşburnunun rengini olumsuz yönde etkilediği kaydedilmiştir. Çalışmada ayrıca, toplam renk değişimi ve kahverengileşme indeksi bakımından taze ürüne en yakın değerler 700 W’da mikrodalga kurutma yönteminde elde edilmiştir. Bununla birlikte 100 W hariç tüm mikrodalga çıkış güçlerinde toplam renk değişimi ve kahverengileşme indeksinin taze ürüne yakın olduğu görülmüştür.

Toplam renk değişimi ve kahverengileşme indeksi bakımından taze ürüne en uzak veriler 100 W mikrodalga kurutma yönteminde elde edilmiş; bunu konvektif ve gölgede kurutma yöntemleri izlemiştir.

Toplam proteinin en yüksek düzeyde korunduğu kurutma yönteminin 500 W ve 700 W olduğu belirlenmiştir. Bununla birlikte diğer kurutma yöntemlerinin de toplam protein miktarını korumada etkili olduğu saptanmıştır. Çalışmada, fosfor, kalsiyum, sodyum, bakır, mangan ve çinko açısından en iyi yöntemin 700 W olduğu; buna karşın, demir, potasyum ve magnezyum açısından ise 500 W olduğu tespit edilmiştir. Gölgede kurutmada potasyum, magnezyum ve bakır içeriğinde büyük kayıplar meydana gelmiştir. Bununla birlikte, çinko ve kalsiyum konsantrasyonunda en fazla kayıp 50°C’de konvektif kurutma yönteminde meydana gelmiştir. Fosfor ve sodyum açısından ise en fazla kaybın meydana geldiği kurutma yönteminin 100 W olduğu görölmüştür. Hem gölgede hem de konvektif kurutmanın manganez ve demir içeriğini olumsuz yönde etkilediği kaydedilmiştir. Çalışmada besin elementleri arasında pek çok pozitif yönlü orta ve yüksek düzeyli korelasyon olmasına karşın; kalsiyum ile magnezyum, demir ve manganez arasında ve demir ile manganez arasındaki ilişkilerin %80’in üzerinde olduğu görölmüştür. Renk parametreleri, toplam renk değişimi ve kahverengileşme indeksi arasında kuvvetli korelasyonların olduğu saptanmıştır. Toplam renk değişimi ile kırmızılık, sarılık ve kroma arasında negatif yönlü %90’ın üzerinde kuvvetli ilişkiler tespit edilmiştir. Buna karşın, kroma ile kırmızılık ve sarılık arasında ve sarılık ile kahverengileşme indeksi arasında da %90’ın üzerinde pozitif yönlü korelasyonlar görölmüştür. Hem kurutma süresi, ortalama kuruma hızı, toplam enerji tüketimi ve özgül enerji tüketimi gibi kurutma parametreleri hem de renk, makro ve mikro besin elementleri gibi kalite parametreleri bakımından en uygun kurutma yönteminin 500 ve 700 W’da mikrodalga kurutma yöntemleri olduğu; buna karşın, kuşburnunun kurutulması açısından 100 W’da mikrodalga kurutma, gölgede kurutma ve konvektif kurutmanın kalite ve kurutma parametrelerini olumsuz yönde etkilediği belirlenmiştir.

KAYNAKLAR

Adak, N., Heybeli, N., Ertekin, C. 2017. Infrared drying of strawberry. *Food Chemistry*, 219: 109-116.

Aghlasho, M., Kianmehr, M.H., Khani, S., Ghasemi, M. 2009. Mathematical modeling of carrot thin-layer drying using new model. *International Agrophysics*, 23: 313-317.

Akdaş, S., Başlar, Y. 2014. Dehydration and degradation kinetics of bioactive compounds for mandarin slices under vacuum and oven drying conditions. *Journal of Food Processing and Preservation*, 39(6): 1098-1107.

Alibas, I. 2007. Energy consumption and colour characteristics of nettle leaves during microwave, vacuum and convective drying. *Biosystems Engineering*, 96(4): 495-502.

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): 1-13. <https://doi.org/10.1111/jfpp.14332>

Alibaş, İ., Köksal, N. 2017. Böğürtlenin mikrodalga ve sıcak hava ile kurutulması ve kurutmanın renk ve askorbik asit içeriği üzerine etkisinin etkisi, *Yalova Atatürk Bahçe Kültürleri Merkez Araştırma Enstitüsü Dergisi*, 46(1): 53-62.

Alibaş, İ. 2012a. Asma yaprağının (*Vitis vinifera* L.) mikrodalga enerjisiyle kurutulması ve bazı kalite parametrelerinin belirlenmesi. *Tarım Bilimleri Dergisi*, 18(1): 43-53.

Alibaş, İ. 2012b. Sıcak havayla kurutulan enginar (*Cynara cardunculus l. var.scolymus*) dilimlerinin kuruma eğrilerinin tanımlanmasında yeni bir modelin geliştirilmesi ve mevcut modellerle kıyaslanması. *Uludağ Üniversitesi Ziraat Fakültesi Dergisi*, 26(1): 49-61.

Alibaş, İ. 2012c. Microwave drying of strawberry slices and the determination of the some quality parameters. *Journal of Agricultural Machinery Science*, 8(2): 161-170.

Alibaş, İ. 2015. İnce tabaka mango dilimlerinin mikrodalga tekniği ile kurutulması. *Anadolu Tarım Bilimleri Dergisi*, 30(2015): 99-109.

Anonim, 2020a. Kuşburnu hakkında genel bilgiler. <https://tr.wikipedia.org/kuşburnu/> (Erişim Tarihi: 02.03.2020).

Anonim, 2020b. Kuşburnu nedir. <https://www.medikalakademi.com.tr/kuşburnu-nedir/> (Erişim Tarihi: 02.03.2020).

- Anonim, 2020c.** Tarımda kuşburnu.
<https://tarimvedestek.blogspot.com/> (Erişim Tarihi : 02.03.2020).
- Anonim, 2020d.** Kuşburnunun sağlığı faydaları.
<http://www.eczaakademi.org/> (Erişim Tarihi: 05.03.2020).
- Anonim, 2020e.** Oxygen radical absorbance capacity of selected foods.
http://www.orac-info-portal.de/download/ORAC_R2.pdf (Erişim Tarihi: 02.03.2020).
- Aral, S., Beşe, A.V. 2016.** Convective drying of hawthorn fruit (*Crataegus spp.*): Effect of experimental parameters on drying kinetics, color, shrinkage, and rehydration capacity. *Journal of Food Chemistry*, 210(2016): 577-584.
- Arslan, D., Özcan, M. 2008.** Evaluation of drying methods with respect to drying kinetics, mineral content and colour characteristics of rosemary leaves. *Energy Conversion and Management*, 49(2008): 1258-1264.
- 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.
- Bicer, A., Kar, F. 2013.** Experimental investigation of drying behavior of rosehip in a cyclone-type dryer. *International Journal of Biological, Biomolecular, Agricultural, Food and Biotechnological Engineering*, 7(6): 2013.
- Bratu, M.M., Popescu, A., Negreanu-Pirjol, B.B., Negreanu-Pirjol, T., Birghila, S. 2018.** Correlation of antioxidant activity of dried berry infusions with the polyphenols and selected microelements contents. *Bull. Chem. Soc. Ethiop.*, 32(1): 1-12.
- Bremmer, J.M. 1965.** Total nitrogen in: methods of soil analysis. (Edit.C.A Black) part 2. Amer.Soc.of Agr.Inc., Publisher, Madison, Wisconsin-USA, p.1149-1178.
- Bustos, M.C., Rocha-Parra, D., Sampedro, I., Pascual-Teresa de, S., Leon, A.E. 2018.** The influence of different air-drying conditions on bioactive compounds and antioxidant activity of berries. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 66: 2714-2723.
- Cemeroğlu, B., Özkan, M. 2004.** Kurutma teknolojisi, meyve sebze işleme teknolojisi, Bizim Büro Yayınevi, Ankara, Türkiye, s. 479-613.
- 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.
- Chandra, P.K., Singh, R.P. 1995.** Applied numerical methods for food and agricultural engineers. CRC Press Boca Raton. FL, p. 163-167.

Chua, K.J., Mujumdar, A.S., Hawlader, M.N.A., Chou, S.K., Ho, J.C. 2001. Batch drying of banana pieces-effect of stepwise change in drying air temperature on drying kinetics and product colour. *Food Research International*, 34: 721–31.

<https://doi.org/10.1081/drt-100107282>

Cin, M., Palazoğlu, T.K. 2019. Investigation of the effect of microwave-vacuum drying on the quality characteristics of rosehips. 1st International / 11th National Food Engineering Congress, 24 November 2019, Mersin.

Coklar, H., Akbulut, M., Kılnc, 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): 1842-4309.

Çakır, M.T. 2015. Güneş enerjisinden yararlanarak tarım ürünlerinin kurutulması. *Gazi Mühendislik Bilimleri Dergisi*, 1(1): 41-56.

Darıcı, S., Şen, S. 2012. Kivi meyvesinin kurutulmasında kurutma havası hızının kurumaya etkisinin incelenmesi. Ulusal Tesisat Mühendisliği Kongresi, 13-16 Nisan 2012, İzmir.

Demir, H.U., Atalay, D., Erge, H.S. 2019. Kinetics of the changes in bio-active compounds, antioxidant capacity and color of Cornelian cherries dried at diferent temperatures. *Journal of Food Measurement and Characterization*, 2019(13): 2032–2040.

Demir, H., Sezer, S., Süfer, Ö. 2017. Soğan dilimlerinin kurutulması esnasında renk değişimine etki eden faktörlerin yanıt yüzey yöntemi ile belirlenmesi. *GIDA*, 42(6): 731-742.

Demir, V., Gunhan, T., Yagcioglu, A.K., Degirmencioglu, A. 2004. Mathematical modelling and the determination of some quality parameters of air-dried bay leaves. *Biosystems Engineering*, 88: 325-335.

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.

Diamante, L.M., Munro, P.A. 1993. Mathematical modeling of the thin layer solar drying of sweet potato slices. *Solar Energy*, 51: 271-276.

Dinrifo, R.R. 2012. Effects of pre-treatments on drying kinetics of sweet potato slices. *Agricultural Engineering International: CIGR Journal*, 14(3): 136-145.

Doğan, A., Kazankaya, A., Çelik, F., Uyak, C. 2006. Kuşburnunun halk hekimliğindeki yeri ve bünyesindeki bileşenler açısından yararları. II. Ulusal Üzümsü Meyveler Sempozyumu, 14-16 Eylül 2006, Tokat.

Doymaz, İ., Tugrul, N., Pala, M. 2006. Drying characteristics of dill and parsley leaves. *Journal of Food Engineering*, 77: 559-565.

Ercişli, S. 2007. Chemical composition of fruits in some rose (*Rosa spp.*) species. *Journal of Food Chemistry*, 104(4): 1379-1384.

Erenturk, S., Sahin Gulaboglu, M., Gultekin, S. 2005. The effects of cutting and drying medium on the vitamin C content of rosehip during drying. *Journal of Food Engineering*, 68(2005): 513-518.

Ergüneş, G., Taşova, M. 2018. Kabin kurutucuda kurutulan kuşburnu (*Rosa canina* L.) meyvesinin kuruma performansı, efektif difüzyon ve aktivasyon enerjisi değerlerinin belirlenmesi. *Akademik Ziraat Dergisi*, 7(1): 75-82.

Evin, D. 2011. Investigation on the drying kinetics of sliced and whole rosehips at different moisture contents under microwave treatment. *Scientific Research and Essays*, 6(11): 2337-2347.

Fan, C., Pacier, C., Martirosyan, D.M. 2014. Rose hip (*Rosa canina* L): A functional food perspective. *Journal of Functional Foods in Health and Disease*, 4(11): 493-509.

Feng, H.A.O., Tang, J., Mattinson, D.S., Fellman, J.K. 1999. Microwave and spouted bed drying of frozen blueberries: the effect of drying and pretreatment methods on physical properties and retention of flavor volatiles. *Journal of Food Process Preserve*, 23(6): 463-479.

Fратиanni, A., Niro, S., Panfili, G., Falasca, L., Cinquanta, L., Rivzi Alam, M.D. 2017. Nutritional evaluation of fresh and dried goji berries cultivated in Italy. *Italy Journal of Food Science*, 29: 2017.

Gerrano, A. S., Jansen van Rensburg, W. S., Venter, S. L., Shargie, N. G., Amelework, B. A., Shimelis, H. A., Labuschagne, M. T. 2018. Selection of cowpea genotypes based on grain mineral and total protein content. *Acta Agriculturae Scandinavica, Section B-Soil & Plant Science*, 69(2): 155-166.
<https://doi.org/10.1080/09064710.2018.1520290>

Gruenwald, J., Uebelhack, R., Moré, M.I. 2019. *Rosa canina*–Rosehip pharmacological ingredients and molecular mechanisms counteracting osteoarthritis-A systematic review. *International Journal of Phytotherapy and Phytopharmacology*, 60(2019): 152-958.

Guimaraes, R., Barros, L., Carvalho, A.M., And Ferreira, I.C.F.R. 2010. Studies on chemical constituents and bioactivity of *Rosa micrantha*: an alternative antioxidants source for food, pharmaceutical, or cosmetic applications. *Journal of Agriculture Food Chemical*, 58: 6277-6284.

Güleç, F., Turhan Özdemir, G.D. 2017. Karayemiş (*Laurocerasus officinalis Roemer*) meyvesinin kuruma karakteristiğinin incelenmesi. *Akademik Ziraat Dergisi*, 6(1): 73-80.

Gürel, A.E., Ceylan, İ., Aktaş, M. 2016. Meyve ve sebzelerin kurutma parametrelerinin incelenmesi. *Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Dergisi*, 4(4): 267-273.

Gürlek, G., Akdemir, Ö., Güngör, A. 2015. Gıda kurutulmasında ısı pompalı kurutucuların kullanımı ve elma kurutmada uygulanması. *Pamukkale Üniversitesi Mühendislik Bilimleri Dergisi*, 21(9): 398-403.

Hazar, D., Ersoy, N., Baktır, İ., Kaynakçı Elinç, Z. 2016. Üzümsü meyvelerin süs bitkisi olarak kullanımı. *Yalova Atatürk Bahçe Kültürleri Merkez Araştırma Enstitüsü Dergisi*, 45(2): 173-183.

Henderson, S.M. 1974. Progress in developing the thin layer drying equation. *Transection of ASAC*, 17: 1167-1172.

Henderson, S.M., Pabis, S. 1961. Grain drying theory II. temperature effects on drying coefficients. *Journal of Agricultural Engineering Research*, 6: 169-174.

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.

Horneck, D.A., Hanson, D. 1998. Handbook of reference methods for plant analysis. CRC Press Washington, D.C, p. 157-164.

Horuz, E., Bozkurt, H., Karatas, H., Maskan, M. 2017. Effect of hybrid (microwave convectional) and convectional drying on drying kinetics, total phenols, antioxidant capacity, vitamin C, color, and rehydration capacity of sour cherries. *Journal of Food Chemistry*, 230: 295-305.

Horvath, G., Molnar, P., Rado-Turcsı, E., Deli, J., Kawase, M., Satoh, K., Tanaka, T., Tani, S., Sakagami, H., Gyemant, N., Molnar, J. 2012. Carotenoid composition and in vitro pharmacological activity of rose hips. *Journal of Acta Biochimica Polonica*, 59(1): 129-132.

Isaac, A.R., Johnson, W.C. 1998. Handbook of reference methods for plant analysis. CRC Press Washington, p. 65-170.

İzli, G. 2018. Effects of different drying applications on the some quality characteristics of pear fruit. *Journal of Food and Technology*, 6(4): 479-485.

Jager, A.K., Eldeen, I.M.S., Van Staden, J. 2007. COX-1 and -2 activity of rose hip. *Phytotherapy Research*, 21(12): 1251-1252.

- Jena, S., Das, H. 2007.** Modelling for vacuum drying characteristic of coconut presscake. *Journal of Food Engineering*, 79: 92-99.
- Juhaimi, F.A.L., 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: 58-63.
- Karaaslan, N., Tunçer, K. 2009.** Kırmızıbiberin fan destekli mikrodalga ile kurutulmasında kuruma karakteristiklerinin incelenmesi ve uygun kuruma modelinin belirlenmesi. *KSÜ Doğa Bilimleri Dergisi*, 12(2): 9-10.
- Karabacak, Ö.A., Özcan Sinir, G., Suna, S. 2015.** Mikrodalga ve mikrodalga destekli kurutmanın çeşitli meyve ve sebzelerin kalite parametreleri üzerine etkisi. *UÜ Ziraat Fakültesi Dergisi*, 29(2): 125-135.
- Karacabey, E., Taşeri, L., Uysal Seçkin, G., Aktaş, T. 2020.** Sultani çekirdeksiz üzüm çeşidinde farklı kurutma yöntemlerinin kurutma kinetiği, enerji tüketimi ve ürün kalitesi açısından incelenmesi. *Tekirdağ Ziraat Fakültesi Dergisi*, 2020: 17(1).
- Karathanos, V.T. 1999.** Determination of water content of dried fruits by drying kinetics. *Journal of Food Engineering*, 39: 337-344.
- 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.
- Kaya, A., Aydın, O. 2008.** Kurutma havası sıcaklığının kızılciğın kuruma süresi ve sorpsiyon eğrisine etkisinin deneysel incelenmesi. *Journal of Thermal Science and Technology*, 28(2): 45-49.
- Koca, I., Üstün, N.S., Koyuncu, T. 2009.** Effect of drying conditions on antioxidant properties of rosehip fruits (*Rosa canina* sp.). *Asian Journal of Chemistry*, 21(2): 1061-1068.
- Koyuncu, T., Tosun, I., Pinar, Y. 2007.** Drying characteristics and heat energy requirement of cornelian cherry fruits (*Cornus mas.* L.). *Journal of Food Engineering*, 78: 735–739.
- Koyuncu, T., Tosun, I., Ustun, N.S. 2003.** Drying kinetics and color retention of dehydrated rosehips. *Journal of Drying Technology*, 21(7): 1369-1381.
- 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.
- Kutlu, N., İşçi, A., Demirkol, Ö.Ş. 2015.** Gıdalarda ince tabaka kurutma modelleri. *GIDA*, 40(1): 39-46. <https://doi: 10.15237/gida.GD14031>

- Lewis, W.K. 1921.** The rate of drying of solid materials. *Industrial Engineering Chemistry*, 13: 427-432.
- Liu, H., Liu, J., Lv, Z., Yang, W., Zhang, C., Chen, D., Jiao, Z. 2019.** Effect of dehydration techniques on bioactive compounds in hawthorn slices and their correlations with antioxidant properties. *Journal of Food and Science Technology*, 56(5): 2446-2457.
- Midilli, A., Kucuk, H., Yapar, Z. 2002.** A new model for single layer drying. *Drying Technology*, 20(7): 1503-1513.
- Motevali, A., Minaei, S., Khoshtagaza, M.H. 2011a.** Evaluation of energy consumption in different drying methods. *Energy Conversion and Management*, 52(2): 1192-1199.
- Motevali A., Minaei S., Khoshtagaza M. H., Amirnejat H. 2011b.** Comparison of energy consumption and specific energy requirements of different methods for drying mushroom slices. *Energy*, 36:6433-6441.
- Nas, S., Gökalp, H.Y. 1993.** Kuşburnu ve pestil teknolojisi ve gıda değeri. *Atatürk Üniversitesi Ziraat Fakültesi Dergisi*, 24(2): 142-150.
- Ohaco, E.H., Ichiyama, B., Lozano, J.E., Michelis, A.De. 2014.** Rehydration of rosa rubiginosa fruits dried with hot air. *An International Journal of Drying Technology*, 33(6): 696-703.
- Okcu, Z., Kerse, S., Yavuz, Y. 2017.** Kuşburnu meyvesinin değişik ürünlere işlenirken besinsel kalitesindeki değişim. *Yalova Atatürk Bahçe Kültürleri Merkez Araştırma Enstitü Dergisi*, 46(1): 89-96.
- Orak, H.H., Aktas, T., Yagar, H., İsbilir, S.S., Ekinci, N. 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.
- Overhults, D.D., White, G.M., Hamilto, M.E., Ross, I.J. 1973.** Drying soybeans with heated air. *Transactions of the ASEA*, 16: 195-200.
- Ozcan, M., Arslan, D., Unver, A. 2005.** Effect of drying methods on the mineral content of basil (*Ocimum basilicum* L.). *Journal of Food Engineering*, 69: 375-379.
- Ozkan A.I., Akbudak, B., Akbudak, N. 2007.** Microwave drying characteristics of spinach. *Journal of Food Engineering*, 78(2):577-583.
- Özbay Doğu, S., Sariçoban, C. 2015.** Et kurutma teknolojisi ve dünyada tüketilen bazı kurutulmuş et ürünleri. *Gıda ve Sağlık Bilimleri Dergisi*, 1(3): 109-123.

Özbek, B., Dadali, G. 2007. Thin-layer drying characteristics and modelling of mint leaves undergoing microwave treatment. *Journal of Food Engineering*, 83(4): 541–549.

Özrenk, K., Gündoğdu, M., Doğan, A. 2011. Erzincan yöresi kuşburnu (*Rosa canina* L.) meyvelerinin organik asit, şeker ve mineral madde içerikleri. *YYÜ Tarım Bilimleri Dergisi*, 22(1): 20-25.

Page, G. 1949. Factors influencing the maximum rates of air-drying shelled corn in thin layer. *MSc Thesis*, PU Department of Mechanical Engineering, West Lafayette, USA.

Paunović, D., Kalušević, A., Petrović, T., Urošević, T., Djinović, D., Nedović, 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.

Pirone, B.N., Ochoa, M.R., Kessler, A.G., Michelis, A.D. 2007. Chemical characterization and evolution of ascorbic acid concentration during dehydration of rosehip, *American Journal of Food Technology*, 2(5): 377-387.

Polatçı, H., Taşova, M. 2017. Sıcaklık kontrollü mikrodalga kurutma yönteminin alıç (*Crataegus spp.* L.) meyvesinin kuruma karakteristikleri ve renk değerleri üzerine etkisi. *Gıda Bilim ve Teknoloji Dergisi*, 5(10): 1130-1135.

Polatçı, H., Taşova, M. 2018. Mikrodalga fırın ile kurutulan yenidoğru (*Eriobotrya japonica* L.) meyvesinin kuruma kinetiği ve kalitesinin belirlenmesi. *Anadolu Tarım Bilimleri Dergisi*, 33(2018): 124-130.

Polatoğlu, B., Beşe, A.V. 2017. Convective drying of cornelian cherry fruits (*Cornus mas.L.*): drying kinetics and degradation of vitamin C. *Journal of Engineering Sciences of Omer Halisdemir University*, 6(2): 406-414.

Quintero Ruiz, N.A., Demarchi, S.M., Giner, S.A. 2014. Effect of hot air, vacuum and infrared drying methods on quality of rose hip (*Rosa rubiginosa*) leathers. *International Journal of Food Science and Technology*, 49: 1799-1804.

Raghavan, G.S.V., Beaudry, C., Rennie, T.J. 2003. Microwave finish drying of osmotically dehydrated cranberries. *Drying Technology*, 21(9): 1797-1810.

Russo, P., Adiletta, G., Di Matteo, M. 2013. The influence of drying air temperature on the physical properties of dried and rehydrated eggplant. *Journal of Food and Bioproducts Processing*, 91(3): 249-256.

Sarıbaş, M. 1996. Batı Karadeniz bölgesinde doğal yayılış yapan (*Rosa canina* L.) (kuşburnu) nun bazı morfolojik palinolojik ve tohum özellikleri. Kuşburnu Sempozyumu, 5-6 Eylül 1996, Gümüşhane.

Sharaf-Eldeen, Y.I., Blaisdell, J.L., Hamdy, M.Y. 1980. A model for ear corn drying. *Transactions of the ASAE*, 23: 1261-1271.

Sharma, B., Singh, B., Dhyani, D., Verma, P.K. And Karthigeyan, S. 2012. Fatty acid composition of wild growing rose species. *Journal of Medicinal Plants Research*, 6(6): 1046-1049.

Sharma, G.P., Prasad, S. 2001. Drying of garlic (*Allium sativum*) cloves by microwave-hot air combination. *Journal of Food Engineering*, 50(2001): 99-105.

Soysal, Y. 2004. Microwave drying characteristics of parsley. *Biosystems Engineering*, 89(2): 167-173.

Şen, E. 2010. Kuşburnu meyvesinin vakum ve mikrodalga tekniği ile kurutulması ve kuruma özelliklerinin belirlenmesi. *Yüksek Lisans Tezi*, GOPÜ, Fen Bilimleri Enstitüsü, Tarım Makinaları Anabilim Dalı, Tokat.

Şengül, M., Topdaş, E.F., Doğan, H., Serencam, H. 2018. Artvin ilinde geleneksel olarak üretilen farklı marmelat çeşitlerinin bazı fiziksel ve kimyasal özellikleri, antioksidan aktiviteleri ve fenolik profiller. *Akademik Gıda Dergisi*, 16(1): 51-59.

Taşova, M., Ergüneş, G., Gerçekcioğlu, R., Karagül, Ş. 2019. Konvektif ve mikrodalga yöntemlerle kurutulan kuşburnu (*Rosa montana Chaixsubsp. woronovii* (Lonacz) Ö. Nilsson) meyvelerinde kalite değişimleri. *Anadolu Tarım Bilimleri Dergisi*, 34(2019): 1308-8769.

Toğrul, H. 2006. Suitable drying model for infrared drying of carrot. *Journal of Food Engineering*, 77: 610-619.

Tontul, I., Eroğlu, E., Topuz, A. 2019. Kırınım pencereli kurutma ve sıcak hava akımında kurutma işlem şartlarının kuşburnu tozlarının fizikokimyasal özellikleri üzerine etkisi. *Gıda Dergisi*, 44(1): 1-9.

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. <https://doi.org/10.24925/turjaf.v7i8.1100-1112.2121>

Tuğrul, N., Doymaz, İ., Pala M. 2001. Dereotunun kurutma karakteristiklerinin incelenmesi. *The Journal Of Food*, 26(6): 403-407.

Turan, I., Demir, S., Kilinc, K., Özer, Y.S., Misir, S., Kara, H., Genc, B., Mentese, A., Aliyazicioglu, Y., Deger, O. 2018. Cytotoxic effect of Rosa canina extract on human colon cancer cells through repression of telomerase expression. *Journal of Pharmaceutical Analysis*, 8(2018): 394-399.

Türkben, C., Uylaşer, V., İncedayı, B., Çelikkol, I. 2010. Effects of different maturity periods and processes on nutritional components of rose hip (*Rosa canina* L.). *Journal of Food, Agriculture & Environment*, 8(1): 26-30.

Türker, İ., İşleroğlu, H. 2017. Kuşburnu pulpunun kızılötesi ışınım ile ince tabaka kurutulması. *Gaziosmanpaşa Üniversitesi Ziraat Fakültesi Dergisi*, 34(1): 118-128.

Uslu Demir, H., Atalay, D., Erge, H., S. 2019. Kinetics of the changes in bio-active compounds, antioxidant capacity and color of Cornelian cherries dried at different temperatures. *Journal of Food Measurement and Characterization*, 13(20): 32-2040.

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 ASEA*, 28: 296-301.

Wang, C.Y.R.P., Singh. 1978. A single layer drying equation for rough rice. ASAE, St. Joseph, p.78-3001

Yagcioglu, A., Degirmencioglu, A., Cagatay, F. 1999. Drying characteristic of laurel leaves under different conditions of conditions. Proceeding of the 7 th International Congress of Agricultural Mechanization and Energy, 26-27 May 1999, Adana.

Yağcıoğlu, A. 1999. Tarım ürünleri kurutma tekniği. Ege Üniversitesi Ziraat Fakültesi Yayınları, No:536, İzmir.

Yıldız, H., Nergiz, C. 1996. Bir gıda maddesi olarak kuşburnu. Kuşburnu Sempozyumu, 5-6 Eylül 1996, Gümüşhane, Türkiye, s. 309-318.

Yılmaz, T. 2017. Üzüm kurutma işlemi için yenilenebilir enerji kaynaklarının kullanımı. *CBÜ Fen Bilimleri Dergisi* 13(2): 537-544.

Yongsawatdigul, J., Gunasekaran, S. 1996. Microwavevacuum drying of cranberries: Part II. Quality evaluation. *Journal of Food Process Preserve*, 20(2): 145-156.

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: 8.

Zielinska, M., Zielinska, D. 2019. Effects of freezing,convective and microwave-vacuum drying on the content of bioactive compounds and color of cranberries. *LWT - Food Science and Technology*, 104(2019): 202-209.

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.

ÖZGEÇMİŞ

Adı Soyadı : Seda GÜNAYDIN
Doğum Yeri ve Tarihi : SİVAS / 06.05.1996
Yabancı Dil : İNGİLİZCE
Eğitim Durumu
Lise : Akdağmadeni Şöhretin Duygu Anadolu Lisesi
(2010-2014)
Lisans : Bozok Üniversitesi Mühendislik Mimarlık
Fakültesi Biyosistem Mühendisliği (2014-2018)
İletişim
e-posta : seda.gunaydin22@hotmail.com
501829014@ogr.uludag.edu.tr
Yayınlar :