



**MİKRODALGA YÖNTEMİYLE BAZI MANTAR  
ÇEŞİTLERİNİN KURUTULMASINDA KURUTMA  
PARAMETRELERİNİN BELİRLENMESİ**

**Çinare HANMAMMADLİ**



T.C.  
BURSA ULUDAĞ ÜNİVERSİTESİ  
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

**MİKRODALGA YÖNTEMİYLE BAZI MANTAR ÇEŞİTLERİNİN  
KURUTULMASINDA KURUTMA PARAMETRELERİNİN BELİRLENMESİ**

**Çinare HANMAMMADLİ**  
**0000-0003-0418-1200**

Doç. Dr. Nazmi İZLİ  
0000-0002-2084-4660  
(Danışman)

**YÜKSEK LİSANS TEZİ**  
**BİYOSİSTEM MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI**

**BURSA – 2020**  
**Her Hakkı Saklıdır**

## TEZ ONAYI

Çinare HANMAMMADLİ tarafından hazırlanan "MİKRODALGA YÖNTEMİYLE BAZI MANTAR ÇEŞİTLERİNİN KURUTULMASINDA KURUTMA PARAMETRELERİNİN BELİRLENMESİ" 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. Nazmi İZLİ  
0000-0002-2084-4660

**Başkan** : Doç. Dr. Nazmi İZLİ  
0000-0002-2084-4660  
Bursa Uludağ Üniversitesi, Ziraat Fakültesi,  
Biyosistem Mühendisliği Anabilim Dalı

**Üye** : Prof. Dr. Ali VARDAR  
0000-0001-6349-9687  
Bursa Uludağ Üniversitesi, Ziraat Fakültesi,  
Biyosistem Mühendisliği Anabilim Dalı

**Üye** : Doç. Dr. Osman GÖKDOĞAN  
0000-0002-4933-7144  
Isparta Uygulamalı Bilimler Üniversitesi, Ziraat  
Fakültesi, Tarım Makinaları ve Teknolojileri  
Mühendisliği Bölümü

Yukarıdaki sonucu onaylarım

Prof. Dr. Hüseyin Aksel EREN  
Enstitü Müdürü

28/04/2020



Scanned with  
CamScanner

**B.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.**

**28/02/2020**

**Çinare Hanmammadli**

## ÖZET

Yüksek Lisans Tezi

### MİKRODALGA YÖNTEMİYLE BAZI MANTAR ÇEŞİTLERİNİN KURUTULMASINDA KURUTMA PARAMETRELERİNİN BELİRLENMESİ

**Çinare Hanmammadli**

Bursa Uludağ Üniversitesi  
Fen Bilimleri Enstitüsü  
Biyosistem Mühendisliği Anabilim Dalı

**Danışman:** Doç. Dr. Nazmi İZLİ

Yapılan tez çalışmasında, 4 farklı mantar çeşidi (istiridye, kültür, kestane ve shiitake) 3 farklı mikrodalga gücünde (100, 200 ve 300 W) kurutulmuştur. Mantar örneklerinin kurutma kinetikleri incelenmiş ve kurutma davranışlarını en iyi açıklayan ince tabaka kurutma modelini seçmek için 10 farklı matematiksel model deneysel verilere uygulanmıştır. Ayrıca, mantar örneklerinin renk değişimleri ve rehidrasyon oranı değerleri analiz edilmiştir. Deney sonuçları incelendiğinde, en kısa kuruma süresi 27 dakika ile kestane mantarının 300 W mikrodalga gücünde kurutulduğu uygulamada görülmüştür. Mikrodalga gücünün azalmasıyla ürünlerin kurutma sürelerinin arttığı gözlemlenmiştir. İstatistiksel hesaplamalar sonucunda, 300 W mikrodalga gücünde kurutulan kültür mantarının kurutma kinetiklerini en iyi açıklayan modelin Page modeli olduğu tespit edilirken diğer kurutma uygulamaları için ise Midilli ve ark. modeli olduğu bulunmuştur. Kurutmanın etkisi ile tüm taze mantar örneklerinin  $L^*$  değerlerinde azalma gözlenmiştir ( $p<0,05$ ). En yüksek rehidrasyon değerleri 100 W mikrodalga gücünde kurutulan kültür ve shiitake mantar örneklerinde tespit edilmiştir. Sonuç olarak mikrodalga kurutma yönteminin istiridye, kültür, kestane ve shiitake mantarının kurutulmasında uygulanabilir bir yöntem olduğu görülmüştür.

**Anahtar Kelimeler:** Mikrodalga, kurutma, rehidrasyon, renk  
2020, viii + 49 sayfa.

## ABSTRACT

MSc Thesis

DETERMINATION OF DRYING PARAMETERS IN DRYING SOME MUSHROOM VARIETIES BY MICROWAVE METHOD

**Çinare Hanmammadli**

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

**Supervisor:** Assoc. Prof. Dr. Nazmi IZLI

In the thesis study, 4 different mushroom varieties (oyster, cultivated, chestnut and shiitake) were dried with 3 different microwave power (100, 200 and 300 W). Drying kinetics of the mushroom samples were investigated and 10 different mathematical models were applied to the experimental data to select the thin layer drying model that best describes the drying behavior of mushrooms. In addition, colour changes and rehydration ratio values of mushroom samples were analyzed. When examined the results of the experiment, the shortest drying time was seen in the application where the chestnut mushroom was dried at 300 W microwave power with 27 min. It has been observed that drying time of the products increases with the decrease of microwave power. As a result of the statistical calculations, it was found that the model that best describes the drying kinetics of the cultivated mushroom dried at 300 W microwave power was the Page model, while for other drying applications, it was found that Midilli et al. model. With the effect of drying, a decrease in L \* values of all fresh mushroom samples was observed ( $p < 0,05$ ). The highest rehydration values were determined in cultivated and shitake mushroom samples dried at 100 W microwave power. As a result, it was found that microwave drying method is a viable method for drying oyster, culture, chestnut and shiitake mushrooms.

**Keywords:** Microwave, drying, rehydration, colour  
**2020, viii + 49 pages.**

## TEŞEKKÜR

Tez çalıőmam boyunca, tecrübeleri ve bilgisiyle bana destek olan baőta danıőmanım Doç. Dr. Nazmi İZLİ'ye, tez jüri üyeleri Prof. Dr. Ali VARDAR ve Doç. Dr. Osman GÖKDOĞAN ile çalıőmalarım esnasında yardımcı olan Dr. Onur TAŞKIN ve Arő. Gör. Ahmet POLAT'a en içten teőekkürlerimi sunarım.

Ayrıca annem Gülnare HANMAMMADOVA, babam Elçin HANMAMMADOV, ablam Mine HANMAMMADLİ ve kardeőim Aysel HANMAMMADLİ'e teőekkürlerimi sunarım.

inare HANMAMMADLİ

.../.../.....

## İÇİNDEKİLER

	Sayfa
ÖZET .....	i
ABSTRACT .....	ii
TEŞEKKÜR.....	iii
SİMGELER ve KISALTMALAR DİZİNİ .....	v
ŞEKİLLER DİZİNİ.....	vi
ÇİZELGELER DİZİNİ .....	viii
1. GİRİŞ.....	1
2. KURAMSAL TEMELLER ve KAYNAK ARAŞTIRMASI .....	4
2.1. Mikrodalga teknolojisi .....	4
2.2. Mikrodalga ile ısıtma teorisi .....	4
2.3. Mikrodalga sisteminin temel üniteleri .....	5
2.3.1. Güç ünitesi .....	6
2.3.2. Aplikatör .....	7
2.3.3. Kontrol sistemi .....	7
2.4. Mikrodalganın kullanım alanları.....	8
2.5. Önceki çalışmalar.....	8
3. MATERYAL ve YÖNTEM.....	15
3.1. Materyal .....	15
3.2. Yöntem.....	16
3.2.1. Kurutma yöntemi .....	16
3.2.2. Nem içeriğinin hesaplanması .....	16
3.2.3. Nem oranının hesaplanması .....	17
3.2.4. Kuruma hızının hesaplanması .....	17
3.2.5. Kuruma eğrilerinin matematiksel modellenmesi .....	17
3.2.6. Rehidrasyon oranının belirlenmesi .....	18
3.2.7. Renk değerlerinin belirlenmesi ve hesaplanması .....	19
3.2.8. İstatiksel değerlendirme .....	19
4. BULGULAR ve TARTIŞMA.....	21
4.1. Mantar çeşitlerinin nem içeriği değişimi.....	21
4.2. Mantar çeşitlerinin kuruma hızı değişimi .....	24
4.3. Mantar çeşitlerinin kuruma eğrilerinin modellenmesi .....	27
4.4. Mantar çeşitlerinin rehidrasyon oranının değişimi .....	38
4.5. Mantar çeşitlerinin renk analizi sonuçları .....	39
5. SONUÇ.....	44
KAYNAKLAR .....	45
ÖZGEÇMİŞ .....	49



## SİMGELER ve KISALTMALAR DİZİNİ

Simgeler	Açıklama
$R^2$	: Belirtme katsayısı
dk	: Dakika
$MR_{exp, i}$	: Deneysel nem oranı
g	: Gram
RMSE	: Hataların karelerinin karekök ortalaması
$M_t$	: Herhangi bir t anındaki nem içeriği (g su.g kuru madde <sup>-1</sup> )
$a$	: Katsayı (birimsiz)
$b$	: Katsayı (birimsiz)
$c$	: Katsayı (birimsiz)
$n$	: Katsayı (birimsiz)
$\chi^2$	: Ki-kare
$t$	: Kuruma zamanı (dakika)
$k$	: Kinetik sabit (dak <sup>-1</sup> )
mm	: Milimetre
$MR$	: Nem oranı (birimsiz)
$a^*$	: Rengin yeşilliği (-) ya da kırmızılığı (+)
$b^*$	: Rengin maviliği (-) ya da sarılığı (+)
$L^*$	: Parlaklık
s	: Saniye
°C	: Santigrat derece
cm	: Santimetre
T	: Sıcaklık (°C)
$M_{t+dt}$	: $t+dt$ anındaki nem içeriği (g su.g kuru madde <sup>-1</sup> )
$MR_{pre, i}$	: Tahmin edilen nem oranı
$\Delta E$	: Toplam renk değişimi

### Kısaltmalar Açıklama

TÜİK	: Türkiye İstatistik Kurumu
PR	: Kesiklilik Oranı

## ŞEKİLLER DİZİNİ

	<b>Sayfa</b>
Şekil 2.1. Elektromanyetik dalga spektrumu .....	4
Şekil 2.2. Bir mikrodalga sisteminin temel ünitesi.....	5
Şekil 2.3. Magnetronun iç yapısı.....	6
Şekil 3.1. Kurutmada kullanılan mikrodalga fırının genel görünüşü.....	15
Şekil 3.2. Renk ölçer cihazının genel görünüşü.....	16
Şekil 4.1. Farklı mikrodalga kurutma koşullarında kurutulan istiridye mantarı örneklerinin nem içeriklerinin zamanla değişimi.....	21
Şekil 4.2. Farklı mikrodalga kurutma koşullarında kurutulan kültür mantarı örneklerinin nem içeriklerinin zamanla değişimi.....	22
Şekil 4.3. Farklı mikrodalga kurutma koşullarında kurutulan kestane mantarı örneklerinin nem içeriklerinin zamanla değişimi.....	23
Şekil 4.4. Farklı mikrodalga kurutma koşullarında kurutulan shiitake mantarı örneklerinin nem içeriklerinin zamanla değişimi.....	24
Şekil 4.5. Farklı mikrodalga kurutma koşullarında kurutulan istiridye mantarı örneklerinin kuruma hızlarının nem içerikleriyle değişimi.	25
Şekil 4.6. Farklı mikrodalga kurutma koşullarında kurutulan kültür mantarı örneklerinin kuruma hızlarının nem içerikleriyle değişimi.....	26
Şekil 4.7. Farklı mikrodalga kurutma koşullarında kurutulan kestane mantarı örneklerinin kuruma hızlarının nem içerikleriyle değişimi.....	26
Şekil 4.8. Farklı mikrodalga kurutma koşullarında kurutulan shiitake mantarı örneklerinin kuruma hızlarının nem içerikleriyle değişimi.....	27
Şekil 4.9. Farklı mikrodalga kurutma koşullarında kurutulan istiridye mantarı örneklerinin deneysel nem oranı sonuçları ile en uygun modelin nem oranı sonuçlarının karşılaştırılması.....	34
Şekil 4.10. Farklı mikrodalga kurutma koşullarında kurutulan kültür mantarı örneklerinin deneysel nem oranı sonuçları ile en uygun modellerin nem oranı sonuçlarının karşılaştırılması.....	34
Şekil 4.11. Farklı mikrodalga kurutma koşullarında kurutulan kestane mantarı örneklerinin deneysel nem oranı sonuçları ile en uygun modelin nem oranı sonuçlarının karşılaştırılması.....	35
Şekil 4.12. Farklı mikrodalga kurutma koşullarında kurutulan shiitake mantarı örneklerinin deneysel nem oranı sonuçları ile en uygun modelin nem oranı sonuçlarının karşılaştırılması.....	35
Şekil 4.13. Farklı mikrodalga kurutma koşullarında kurutulan istiridye mantarı örneklerinin deneysel nem oranı sonuçları ile en uygun modelin nem oranı sonuçlarının karşılaştırılması.....	36
Şekil 4.14. Farklı mikrodalga kurutma koşullarında kurutulan kültür mantarı örneklerinin deneysel nem oranı sonuçları ile en uygun modellerin (a) Midilli ve ark. ve b) Page) nem oranı sonuçlarının karşılaştırılması.....	37
Şekil 4.15. Farklı mikrodalga kurutma koşullarında kurutulan kestane mantarı örneklerinin deneysel nem oranı sonuçları ile en uygun modelin nem oranı sonuçlarının karşılaştırılması.....	38
Şekil 4.16. Farklı mikrodalga kurutma koşullarında kurutulan shiitake mantarı örneklerinin deneysel nem oranı sonuçları ile en uygun modelin nem oranı sonuçlarının karşılaştırılması.....	38

Şekil 4.17.	Farklı kurutma koşullarında kurutulan mantar örneklerinin rehidrasyon oranı sonuçları.....	39
Şekil 4.18.	Farklı kurutma koşullarında kurutulan istiridye mantarı örneklerinin renk değerleri sonuçları.....	40
Şekil 4.19.	Farklı kurutma koşullarında kurutulan kültür mantarı örneklerinin renk değerleri sonuçları.....	41
Şekil 4.20.	Farklı kurutma koşullarında kurutulan kestane mantarı örneklerinin renk değerleri sonuçları .....	42
Şekil 4.21.	Farklı kurutma koşullarında kurutulan shiitake mantarı örneklerinin renk değerleri sonuçları.....	43



## ÇİZELGELER DİZİNİ

	<b>Sayfa</b>
Çizelge 3.1. Modelleme için kullanılan ince tabaka kurutma modelleri.....	18
Çizelge 4.1. Farklı mikrodalga kurutma koşullarında kurutulan istiridye mantarı örneklerinin kurutulmasında kullanılan modellerin istatistiksel analiz sonuçları.....	30
Çizelge 4.2. Farklı mikrodalga kurutma koşullarında kurutulan kültür mantarı örneklerinin kurutulmasında kullanılan modellerin istatistiksel analiz sonuçları.....	31
Çizelge 4.3. Farklı mikrodalga kurutma koşullarında kurutulan kestane mantarı örneklerinin kurutulmasında kullanılan modellerin istatistiksel analiz sonuçları.....	32
Çizelge 4.4. Farklı mikrodalga kurutma koşullarında kurutulan shiitake mantarı örneklerinin kurutulmasında kullanılan modellerin istatistiksel analiz sonuçları.....	33

## 1.GİRİŞ

Gıdaları muhafaza etmek için kullanılan yöntemlerin amacı, enzimatik ve mikrobiyolojik değişimleri sınırlandırmak veya önlemektir. Bununla birlikte insanların hem dengeli ve yeterli beslenmesine, hem de ekonomik kayıpların azaltılmasına yardımcı olmaktadır. Ayrıca kısa sürede bozulmakta olan ürünleri muhafaza edip ekonomiye kazandırmak ülke ekonomisi için olumlu sonuçlar ortaya çıkarmaktadır. Bu amaçlarla uygulanan birçok muhafaza yöntemi bulunmaktadır. Kurutma bu muhafaza yöntemlerinden en önemlilerindedir. Kurutma işlemiyle gıdada bulunan su gıdanın bozulmasına neden olmayacak bir seviyeye kadar azaltılmaktadır. Kurutulmuş gıdaların üretiminde diğer yöntemlere göre daha az ekipman, daha az işçilik gerekmede, depolaması ve taşınması da daha az masraflı olmaktadır (Karaaslan ve ark. 2016). Bir diğer ifadeyle kurutma, hava ile ürün arasında gerçekleşen kütle ve ısı transferi işlemine denir. Kurutma sırasında ürünlerin uzun süre dayanıklı kalmasını sağlamak için sebze ve meyvelerin içindeki %80-95 oranındaki su azaltılarak %10-20 seviyesine düşürülmektedir. İyi bir kurutma işleminden beklenen kurutulmuş ürünün besin değeri, tat, renk, görünüş, rehidrasyon yeteneği korunmalı, mikrobiyolojik, kimyasal ve enzimatik yönden dayanıklı hale getirilmesidir.

Mantar dünyada en fazla çeşidi bulunan ürünler arasında yer almaktadır. Bunların arasında 5020 yenilen, 1820 tıbbi özellik gösteren, 1250 yenilmeyen, 1010 zehirli olmak üzere toplamda 10 000'e yakın makromantar varlığını sürdürmektedir (Bengü ve ark. 2019). Kirk (2011) yaptığı çalışmada dünyada kayıtlı mantar sayısının 500 000'in üzerinde olduğunu belirtmiştir. Literatürde mantarlar etli ve şemsiye şeklinde kendine özgü meyve kısımları olan makrofunguslar olarak tanımlanmaktadır. Sağlıklı besin kaynağı olması ve lezzeti ile dünyanın birçok noktasında uzunca bir süredir tüketilmektedir (Zhang ve ark. 2007). Zengin protein kaynağı, fibrilli yapıları, kolesterol içermemeleri, vitamin ve mineral bakımından zengin olmaları, bazılarının biyoaktif moleküllerden biri olan  $\beta$ -glukanları içermeleri nedeniyle mantar sağlıklı besin kaynağı olarak görülmektedir. Ancak zehirli türleri olduğu için, mantar bilinçsiz toplanıp yenirse tehlike yaratmaktadır (Metin ve ark. 2013). Mortaş ve Akbulut (2016) çalışmasında  $\beta$ -glukanın arpa ve yulaftan elde edildiğinde daha çok kan şekerini düşürücü ve kolesterol etkisinin, mantardan elde edildiğinde ise antitümör ve immün sistemi güçlendirici etkisini

gösterdiğini bildirmişlerdir. Mantarlar esas bünyeleri fruktifikasyon organları olan, klorofil olmayan canlılardır (Turp ve Boylu 2018). Yüksek su oranına (% 88.1- 90.0) sahip yemeklik mantarın kimyasal değerleri yüzde olarak karbonhidrat % 3.0 - 6.8, protein % 2.0 - 5.0, yağ % 0.2 - 0.4, kül % 1.2 dir. Diğer sebzelere nazaran protein oranı yüksek, karbonhidrat oranı düşüktür. Yenilebilen mantarın 100 gramının ortalama besin değerleri: 28 kalori, 0.3 g yağ, 2.7 g protein, 4 g karbonhidrat, 116 mg fosfor, 6 mg kalsiyum, 0.8 mg demir, 414 mg potasyum, 15 mg sodyum, 13 mg magnezyum, 0.46 mg riboflavin, 012 mg tiamin, 4.2 mg niasin, 3m g vitamin C içermektedir. Yapılan çalışmalarda yabancı türlerde kültürel türlerden daha yüksek C vitamini ve folik asit bulunmuştur. Bu vitamin kayıplarının süpermarketlerde bekletilmesi sonucu olabileceği belirtilmektedir. Ayrıca mantarlar insanların gereksinim duyduğu bütün elzem amino asitleri de içermektedir. Elzem amino asit puanının mantarların 89, et ve tavuğun 98, patatesin 59 ve havucun 31 olduğu bildirilmektedir. Genel beslenme değerine göre puan verildiğinde süt değerine yakın olduğu belirtilmiştir (Bierer 1985).

Mantar üretimi 100'e yakın ülkede yapılmaktadır. Mantar üretiminde ileri teknolojiyi kullanan kıtaların Avrupa ve Amerika olduğu görülmektedir. Çoğu ülke için geçim kaynağı olarak bilinen mantarın dünyadaki yıllık üretimi 3,5 milyon ton olarak bildirilmiştir (Metin ve ark. 2013). Türkiye Ziraat Odaları Birliği verilerine göre ise 2010 yılında dünyada 5,1 milyon ton mantar üretilmiştir. Çin, Amerika ve Hollanda dünyada önde gelen mantar üreticileri iken, Türkiye 21559 ton ile 19. sırada yer almaktadır.

Bu tez çalışmasında mantarın 4 çeşidi kültür (*Agaricus bisporus*), shiitake (*Lentinula edodes*), istiridye (*Pleurotus ostreatus*) ve kestane mantarı (*Agaricus campestris*) kullanılmıştır. Türkiye'de mantar üretim miktarının cinslere dağılımı araştırıldığında *Agaricus* cinsi (%86) ilk sırayı alırken *Pleurotus* (%10) ve *Lentinula edodes* (%3) türleri sırasıyla ikinci ve üçüncü sırada yer almaktadır (Eren ve Pekşen, 2016).

Kültür mantarında (*Agaricus bisporus*) kuru madde, meyve ağırlığı, sap uzunluğu, sap ağırlığı, şapka ağırlığı, şapka çapı, sap çapı ve ham protein içeriği, mantarın değerlendirme şekline göre değişen kalite parametreleridir. Kültür mantarında taze tüketim için istenilen kalite özellikleri, salamura kullanımında istenmeyebilir. Shiitake mantarı (*Lentinula edodes*) türü Shii ağacından toplanmaktadır. Bu mantar, kültüre

alınabilen bir mantardır ve suni metotlar ile kültüre alma çalışmaları üzerine giderek çeşitli yöntemler geliştirilmektedir (Eliuz 2019).

İstiridye mantarları (*Pleurotus ostreatus*) çok farklı bitkisel materyal üzerinde yetiştirilebilmektedir. Bu mantarın çok sayıda ırkı olup bu ırklarının neredeyse tümünün yetiştirmesi kolaydır. Dünyada haklı bir üne sahip bu mantarın ticarete konu olan önemli örnekleri doğadan toplanmış, kültüre alınmış ve yüksek düzeyde verime sahip ırkları elde edilerek ticareti yapılmaktadır (Çat ve ark. 2018). Bu mantar türü kavak, kestane, meşe, okaliptüs, karaağaç, sarısalkım, gürgen, kayın, kızılağaç, ıhlamur, söğüt ve yalancı akasya gibi ağaç türlerinin kütükleri üzerinde yetiştirilebilmektedir (Pekşen 2013). Ayrıca, istiridye mantarın yetiştirilmesinde kullanılan samanın, hayvanın kanındaki metabolit ve beslenme davranışı üzerine herhangi bir zararlı etkisi olmaksızın büyükbaş hayvan beslenmesinde kullanılabileceği bildirilmiştir (Albores ve ark. 2006).

Kestane mantarı (*Agaricus campestris*) kahverengi şapkası olan beyaz saplı ve sıkı dokulu bir mantar çeşididir. Bazı yörelerde çayır mantarı olarak da bilinmektedir. Şekil olarak beyaz kültür mantarlarına çok benzemektedir. İlkbahar ve sonbahar aylarında meralarda ve çayırıklarda kendiliğinden yetişen bir mantar türüdür. Suni olarak da yetiştirilmektedir. Kestane mantarı Erzurum, Ağrı ve Van'da toplanıp tüketilmektedir (Güvenç ve Kaya 1996). Kestane mantarı, besin değeri çok yüksek bir mantar çeşididir. İçerisinde insan vücudu için yararlı olan protein ve demir bulunur. Bu minerallerin dışında kalsiyum, potasyum, bakır ve fosfor da vardır. Doğada yetişme şekli, yan yana ve bitişik haldedir (Serdaroğlu 2010). Kestane mantarı şapkalı mantarlardandır. Bu mantar çeşidi nemi yüksek yerlerde yetişir. İyi gübrelenmiş yerlerde daha iyi yetişmektedir. Mantar çeşitleri içerisinde en çok tüketilenler şapkalı mantarlardır (Nearing ve ark. 2016)

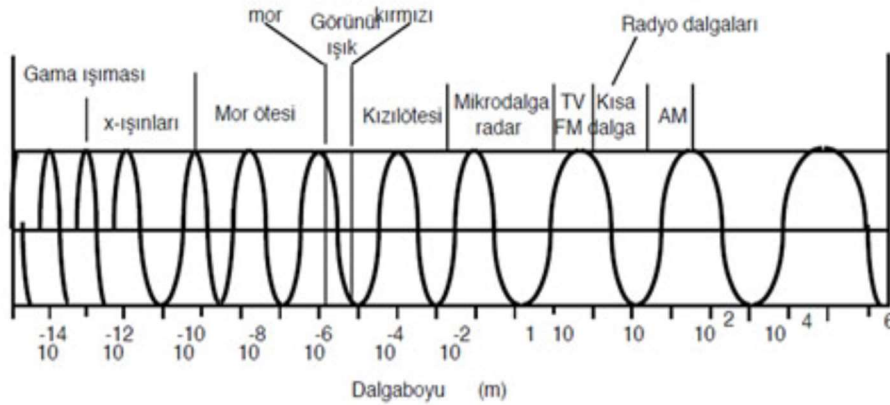
Bu çalışmanın amacı; 4 farklı mantar çeşidinin (istiridye, kültür, kestane ve shiitake) mikrodalga yöntemi (100, 200 ve 300 W) kullanılarak kurutma karakteristiklerinin belirlenmesidir. Ayrıca, mantar örneklerinin renk değişimleri ve rehidrasyon oranı değerleri incelenerek kalite parametrelerinin ortaya konulmasıdır.

## 2. KURAMSAL TEMELLER ve KAYNAK ARAŞTIRMASI

### 2.1. Mikrodalga Teknolojisi

Kurutma yöntemleri içerisinde etkili yöntemlerden biri, elektromanyetik ışınlama olan mikrodalga kurutmadır. Bu yöntemi kullanarak sebze ve meyveler üzerinde çok sayıda araştırmalar yapılmış, ürünün kalite parametrelerine mikrodalga yönteminin etkisi incelenmiştir.

Kesikli ve sürekli dalgalar üreten cihazlar (klistron ve magnetron) kullanılarak mikrodalgalar üretilmektedir. Mikrodalgalar elektromanyetik dalga spektrumunda 1 mm'den 1 m'ye kadar değişen dalga boyu, kızıl ötesi ile radyo frekansları arasındaki bölgede ve 300MHz-300GHz frekans aralığında bulunmaktadır. Şekil 2.1'de Elektromanyetik dalga spektrumu gösterilmiştir. Ev tipi mikrodalga fırınlarında 2450 MHz, endüstriyel mikrodalga fırınlarında ise 915 MHz frekansları kullanılmaktadır. Frekans düzeyi mikrodalganın etki derinliğini değiştirmektedir. Mikrodalgalar 2450 MHz'de 10 cm'ye kadar, 915 MHz'de ise 30 cm'ye kadar etki derinliği oluşturabilmektedir (Gölcü ve Şen 2014, Yoğurtçu 2014).



Şekil 2.1. Elektromanyetik dalga spektrumu (Palamutçu ve Dağ, 2009)

### 2.2. Mikrodalga ile Isıtma Teorisi

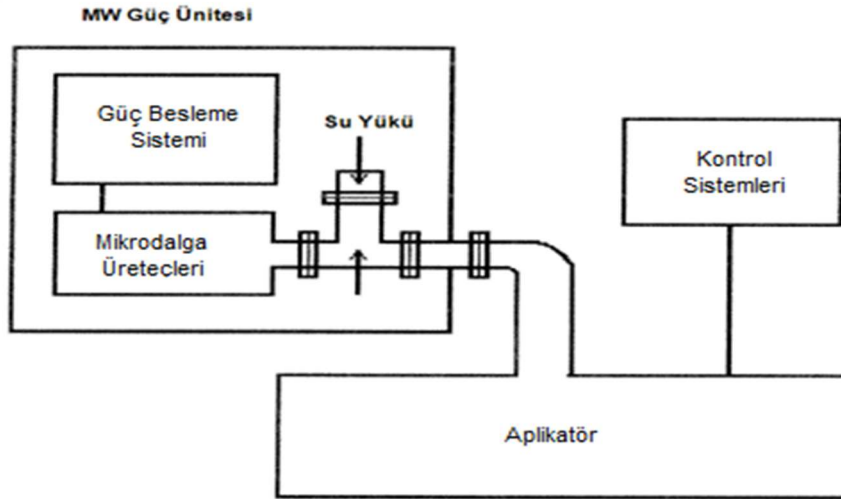
Mikrodalga ile ısıtmada, mikrodalga ışınları kurutmak veya pişirmek istenilen gıdalar tarafından emilmektedir. Emilen mikrodalgalar saniyede 2,45 milyar kez titreşerek gıdanın içindeki su moleküllerinde de bir titreşim oluşturmaktadır. Bir ucunda negatif,



diğer ucunda ise pozitif yük olan su molekülleri emilme sürecinden önce gıda bünyesinde rastgele dağılmışlardır. Mikrodalga ışınlarını emen moleküller elektrik alanına göre düzenli yapıya geçmektedir. Bu yüksek hızla titreşen su molekülleri birbirine sürtünerek ısı enerjisini meydana getirmektedirler (Karaaslan 2008). Bu nedenle de mikrodalga kullanarak işlem görece ürünün içinde su moleküllerinin olması gerekmektedir (Yılmaz ve ark. 2018). Diğer kurutma yöntemlerinde gıdanın dışından içine doğru ısınma olduğu için ürün yüzeyinin sertleşmesi, kütle ve ısı geçişini yavaşlatmaktadır. Bu da kurutma işleminin yüksek enerji ve uzun süre harcamasını gerektirmektedir. Mikrodalga ile kurutmada ise, ürünün içinde oluşan sıcaklık ile ürünün içindeki suyun materyalin yüzeyine doğru buhar basıncı oluşturması kurutma işlemini hızlandırılmaktadır. Ürünlerin mikrodalga ile kurutulmasına mikrodalga gücü, frekans, sıcaklık, gıdanın su içeriği, kütlesi, elektriksel iletkenlik, yoğunluk, dielektrik, fiziksel geometri ve termal özelliklerin etki ettiği belirtilmektedir (Konak ve ark. 2009, Yılmaz ve ark. 2018).

### 2.3. Mikrodalga Sisteminin Temel Üniteleri

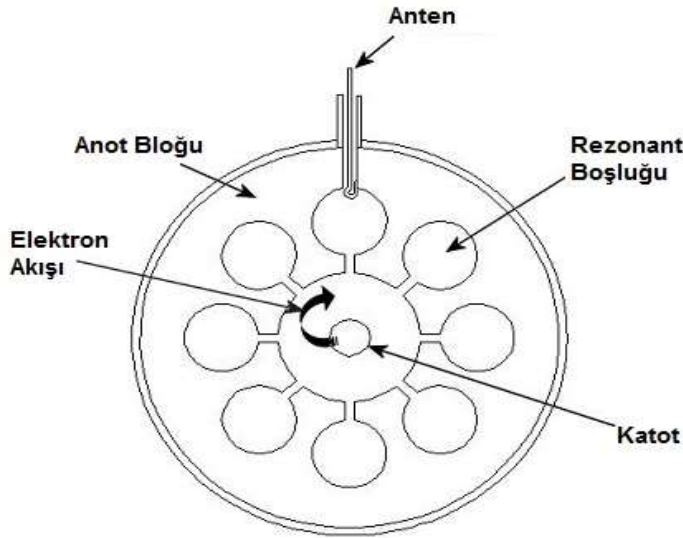
Mikrodalga sisteminin genel olarak 3 bölümden (güç ünitesi, aplikatör ve kontrol sistemi) oluşmaktadır (Şekil 2.2).



Şekil 2.2. Bir mikrodalga sisteminin temel ünitesi (Kalender 2013)

### 2.3.1. Güç ünitesi

Güç ünitesi mikrodalga üreticileri, su yükü ve jeneratöre güç sağlayan ünitelerden ibarettir. Mikrodalga ışınlarının üretimi için magnetron ve klistronlardan yararlanılmaktadır. (Gümüşderelioğlu ve Kaynak 2012). Yüksek güç çıkışına, yüksek verime, yeterli frekans kararlılığına sahip olmaları ve klistronlara nazaran daha düşük maliyette olmaları nedeniyle çoğunlukla magnetronlar kullanılmaktadır. Mikrodalga üreticilerini su veya basınçlı hava ile soğutma yapılabilmektedir. Jeneratörlerden güç çıkışı yüksek olanlarında sulu soğutma sistemleri, güç çıkışı düşük olanlarında ise havalı soğutma sistemleri kullanılmaktadır. Magnetronlar, aplikatörden geriye yansıyan dalgalardan su yükü vasıtasıyla korunmaktadır. Magnetronlar mikrodalga fırınların en önemli kısmı olup, 4000-6000 voltluk elektrik enerjisini mikrodalgalara çevirirler. Magnetronun iç yapısı Şekil 2.3.'te gösterilmiştir.



Şekil 2.3. Magnetronun iç yapısı (Kalender 2013).

Magnetron, anodu kütleli bir bakır bloktan meydana gelmiş bir diyottur. Bu anot bloğunun orta deliğinde silindirik oksit-katot yer almaktadır. Anot katota göre 1000-2000 volt fazla seviyede ve toprağa bağlıdır. Oldukça kuvvetli bir mıknatıs (at nalı tipi) arasına yerleştirilen magnetronlarda, katottan çıkan elektronlar pozitif yüklü anota doğru

çekilmeye başlarlar. Mıknatıs, elektron hareket yoluna dikey konumda bulunmaktadır. Kuvvet hatları, elektronların anota ulaşmadan dairesel bir yolda hareket etmesine neden olmaktadır (Doğru 2018).

Elektronlar, dairesel hareketlerini anot bloğunun boşluklarında tamamlamakta ve dışarı çıkmaktadırlar. Fakat devam eden anot gerilimi ve mıknatıslanma etkisiyle yine başka bir boşluğa girmektedirler. Bu durum, magnetron içinde elektromanyetik bir yüksek frekans oluşturmaktadır. Magnetron içine uzatılan cam destekli sondaj çengeli ile yüksek elektromanyetik dalgalar dalga kılavuzu yardımıyla antene iletilmektedir. Antende bu elektromanyetik dalgaları kılavuz ile parabolik antene göndermektedir. Magnetronlar çalışırken çok ısınmaktadırlar. Bu yüzden özel vantilatör ile soğutma işlemleri uygulanmaktadır. Magnetronda bulunan mıknatıs, ısı ve darbelerden zayıflamaktadırlar.

### **2.3.2. Aplikatör**

Bir anten kullanılarak magnetronun ürettiği yüksek enerji dağıtıcılara aktarılmakta ve dağıtıcılar bu enerji dalgalarını aplikatöre taşınmaktadırlar. Ürünün mikrodalgaya maruz kaldığı bir bölümdür. Bu bölüme mikrodalga fırın boşluğu da denilmektedir (Gümüşderelioğlu ve Kaynak 2012).

### **2.3.3. Kontrol sistemi**

Kontrol sistemi ise mikrodalga sisteminin performansını geliştiren, sistemdeki bazı parametreleri ölçen ve otomatik ayarlamalar yapan birim olarak gösterilmektedir. Kontrol sistemi, mikrodalğanın istenen güçte ve zamanda malzemeye uygulanılmasına olanak sağlamaktadır (Zhang ve ark. 2019; Kalender 2013).

## 2.4. Mikrodalğanın kullanım alanları

Gıda endüstrisinde, un (Buğday, soya, fındık vb.), irmik, tarhana, meyve-sebzeler, patates cipsi ve makarnaların kurutulmasında mikrodalgadan yararlanılmaktadır (Decareau 1992; Dadalı 2007). Ek olarak kimya, tekstil, mobilya-kereste, seramik ve diğer alanlarda da kullanılmaktadır.

## 2.5. Önceki çalışmalar

Karaaslan (2014) yaptığı araştırma çalışmasında Trabzon hurmasının mikrodalga ile kurutulmasında uygun kuruma modelini belirlemiştir. İlk nem içeriği yaş baza göre %75,21 ( $\pm 0,03$ ) olan 200 ( $\pm 0,02$ ) g ağırlığındaki Trabzon hurmaları yaş baza göre nem içeriği %15 ( $\pm 0,07$ ) oluncaya kadar 5 farklı mikrodalga güç seviyesinde kurutulmuştur. Kurutma işlemlerini 180, 360, 540, 720 ve 900 W mikrodalga güç seviyelerinde ve sırasıyla 104, 41, 31, 25, 18 dakikada gerçekleşmiştir. Kurutma verileri, 12 farklı matematiksel modellere uygulanmıştır. Bu modellerin performansları, gözlemlenen ve tahmini nem içeriği arasında belirtme katsayısı değeri ( $R^2$ ), tahmini standart hatası ( $SEE$ ) ve kalanların kareleri toplamına ( $RSS$ ) göre karşılaştırılmıştır. Elde edilen sonuçlara göre tüm çalışma koşullarında en uygun modelin Midilli ve ark. modeli olduğu belirlemiştir.

Karaaslan ve Havuz (2014) yaptıkları çalışmada mantarın mikrodalga ile kurutulması üzerine yapılan kuruma davranışının etkilerini araştırmışlardır. Denemeleri, 100 g ağırlığına sahip mantar örnekleriyle farklı mikrodalga güçlerinde gerçekleştirmişlerdir. Yaş baza göre %93,4 ( $\pm 0,02$ ) ilk nem içeriğine sahip mantar örneklerini yaş baza göre %9,27 ( $\pm 0,06$ ) son nem içeriğine gelene kadar mikrodalga fırında 180, 360, 540, 720 ve 900W mikrodalga güçlerinde kurutmuşlardır. Çalışmalarında 11 tane model eşitlik uygulamışlardır. Bu modellerin performanslarını gözlemlenen ve tahmini nem oranları arasında belirtme katsayısı değeri ( $R^2$ ), tahmini standart hatası ( $SEE$ ) ve kalanların kareleri toplamına ( $RSS$ ) göre karşılaştırmışlardır. Diğer model eşitliklerle karşılaştırıldığında Weibull ve Alibaş Model eşitliklerinin en iyi tahmini verdiğinin sonucuna varmışlardır.

Yoğurtçu (2016) yaptığı araştırma çalışmasında, mikrodalga tekniği kullanılarak 90-600 W mikrodalga çıkış gücü aralığında 4 mm kalınlıktaki Tunceli sarımsağı (*Allium tuncelianum*) dilimlerinin kuruma kinetiği incelemiştir. Deneysel verileri temsil etmek için on adet matematiksel model kullanmıştır. Bu modellere uygunluğu gösteren determinasyon katsayısı ( $R^2$ ), ortalama hata kareleri karekökü (*RMSE*), ki-kare ( $\chi^2$ ) ve yüzde hata (% E) değerleri belirlenmiştir. Determinasyon katsayısı ( $R^2$ ) değerlerinin 0,9440-0,9993 aralığında değiştiği görülmüştür. Midilli ve ark. modelinin deneysel verileri temsil eden en iyi model olduğu gözlemlenmiştir. Mikrodalga çıkış gücündeki (*P*) artma ile kuruma hızı artarken örnek kütledeki (*m*) artma ile kuruma hızının azaldığını belirtmiştir.

Karaaslan ve ark. (2016) yaptıkları çalışmada, ayva dilimlerinin mikrodalga ile kurutulması da elde edilen nem oranı, kuruma hızı ve kuruma karakteristikleri rapor edilmiştir. Bu çalışmada fan destekli mikrodalga kurutucuda kurutulmuşlardır. Ayva dilimlerinin kuruma süresi ve kurutma hızı üzerinde mikrodalga kurutmanın (180, 360, 540, 720 and 900W) etkileri araştırılmıştır ve mikrodalga gücünde artış kuruma süresini önemli ölçüde azalttığını tespit etmişlerdir. Ayva dilimleri 3,75 g su/g kuru madde ilk nem içeriğinden 0,12 g su/g kuru madde son nem içeriğine kadar kurutulmuşlardır. Mikrodalga kurutma sistemi içerisinde, 5 mm kalınlıkta dilimlenen ayva dilimleri 180, 360, 540, 720 ve 900 W mikrodalga güç seviyelerinde kurutulmuştur. Kurutma verileri, 10 farklı matematiksel modellere uygulanmıştır. Tüm kuruma modelleri içerisinde, en uygun kuruma modeli, Midilli ve ark. model eşitliği bulunmuştur.

Bal ve ark. (2017) yaptıkları bambu filizi dilimlerinin ( $35 \pm 1,75$  mm çap,  $3,4 \pm 0,2$  mm kalınlık) mikrodalga kurutma ile kurutulması çalışmasında uygulanan mikrodalga güç seviyelerinin (140, 210, 280 ve 350 W) doku, mikroyapı ve rehidrasyon özellikleri ürün üzerine etkisini araştırmışlardır. Güç seviyesindeki artışla birlikte ürünün sertliğinin arttığını ve güç seviyesi 140'tan 350 W'ye yükseltildiğinde protein içeriğinde yaklaşık %23 azaldığını gözlemlenmişlerdir. Ayrıca, su aktivitesinin 140 W ve 350 W mikrodalga güç seviyesi aralığında 0,71'den 0,38'e düştüğünü, rehidrasyon oranının ise 280 W'a kadar yükseldiğini, bundan sonra güç seviyesindeki artışla azaldığını belirlemişlerdir. Buna ek olarak, taramalı elektron mikroskobu ile inceledikleri mikroyapısal değişikliklerde, artan

gücün seviyesi ile ciddi doku büzülmesi, çökmesi ve sertleşmesinin gerçekleştiğini gözlemlemişlerdir.

Bualuang ve ark. (2017) yaptıkları çalışmada mikrodalga kurutma gücünün (100-700 W) zengin bir antioksidan kaynağı olarak uygulanabilen filizlenmiş mısırın kurutma hızı, etkin difüzyon hızı,  $\beta$ -karoten içeriği (BCC), toplam flavonoid içeriği (TFC), toplam fenolik içerik (TPC) ve antioksidan kapasitesi üzerindeki etkisini araştırmışlardır. Mikrodalga kurutma gücünün 100'den 700 W'a çıkarılmasıyla, etkin difüzyon hızı  $1,50 \times 10^{-6}$  ila  $1,81 \times 10^{-5}$  m<sup>2</sup>/s aralığındayken,  $\beta$  karoten değeri (BCC)  $614,20 \pm 3,10$  ila  $229,90 \pm 1,00$   $\mu$ g arasında değiştiğini belirlemişlerdir. Öte yandan, 300 W'da kurutulmuş örneklerin TPC ve TFC değerleri %8,66 ve 98,97 daha yüksek olan 100 W'da kurutulmuş örneklerle karşılaştırıldığında sırasıyla  $315,94 \pm 0,69$  mg gallik asit eşdeğeri g<sup>-1</sup> DW ve  $190,16 \pm 1,33$  mg kateşin eşdeğeri g<sup>-1</sup> DW ile en yüksek düzeyde olduğunu bildirmişlerdir. Çimlendirilmiş mısırın antioksidan yeteneğinde de benzer bir gelişme bulunmuştur. 300 W'lık bir mikrodalga gücünde kurutmanın, en yüksek besleyici ve antioksidan değerleri sağladığını tespit etmişlerdir.

Hazervazifeh ve ark (2017) 'Golden Delicious' elma dilimlerinin kurutma kinetiğini ve kurutma verimliliğini sıcak hava ve üniform mikrodalga kurutma yöntemleri kullanılarak araştırmışlardır. Mikrodalga güç seviyeleri olarak 500, 1000, 1500 ve 2000 W, hava sıcaklıkları olarak 40, 50, 60 ve 70 ° C ve hava hızları olarak ise 0.5, 1, 1,5 ve 2 m/s kullanmışlardır. Sonuçları incelediklerinde, mikrodalga yönteminin sıcak hava yöntemine kıyasla işlem süresinde %80 azalma ile yüksek oranda zaman tasarrufu sağladığını tespit etmişlerdir. Mikrodalga yönteminde en yüksek kurutma verimliliği değerini bulmuşlardır. Ayrıca, mikrodalga yöntemini kullandıklarında kurutma enerji maliyetlerini %60 oranda azaldığını gözlemlemişlerdir.

Juhaimi ve ark. (2017) çalışmalarında mikrodalga ve konvensiyonel kurutmanın hurma (Anamur ve Silifke) meyve etinin fenolik bileşikler, antioksidan aktivite, mineral ve toplam fenolik içerikleri üzerine etkisini incelemişlerdir. Hem mikrodalga (360, 540 ve 720 W) hem de konvensiyonel (70, 90 ve 110 °C) kurutmanın hurmanın antioksidan

aktivitesinde önemli farklılıklar olmamasına rağmen fenolik bileşiklerin azalmasına neden olduğunu tespit etmişlerdir. Hurmanın toplam fenolik içeriğinin, kontrol örneği (156,128 mg GAE 100 g<sup>-1</sup>) ile karşılaştırıldığında 114,640 mg GAE 100 g<sup>-1</sup> (Silifke 540 W) ile 133,484 mg GAE 100 g<sup>-1</sup> (Silifke 720 W) arasında değiştiğini bulmuşlardır. Hurma örneklerinin P içeriklerinin 86,00 mg/kg (kontrol) ile 704,420 mg/kg (360 W) arasında değiştiğini, Anamur örneklerinin ise P içerikleri 79,430 mg/kg (kontrol) ile 1288,780 mg/kg (360 W) arasında değiştiğini gözlemlemişlerdir. Mikrodalga fırında kurutulmuş hurma meyvelerinin mineral içeriklerinin, konvensiyonel yöntemle kurutulmuş meyveler göre (özellikle hurma meyvelerinin Ca ve Mg içerikleri) daha yüksek olduğunu belirtmişlerdir.

Mujaffar ve Lee Loy (2017) çalışmalarında farklı sıcaklıkta (35, 50 ve 60 °C) ve mikrodalgada kurutulmuş amaranth (*Amaranthus dubius*) yapraklarının rehidrasyon davranışlarını araştırmışlardır. Yaprakları rehidrasyon işleminden önce 700 W güç seviyesinde kurutmuşlardır. İstatistiksel olarak önemli bir etkisi olmasa da rehidrasyon sıcaklığı ne kadar yüksek olursa, yaprakların denge nem içeriğinin o kadar yüksek olduğunu tespit etmişlerdir (p>0,05). Sadece sıcaklığın 50'den 60 °C'ye yükselmesiyle rehidrasyon oranında önemli bir artış gözlemişlerdir (p<0,05). İşlemin, Peleg sorpsiyon modeli (Peleg oran sabiti (K<sub>1</sub>) ve Peleg kapasite sabiti (K<sub>2</sub>) ile yeterince açıklandığını, her ikisini de rehidrasyon sıcaklığı arttıkça azaldığını bulmuşlardır. Taze yapraklar ve 35 °C'de rehidre edilmiş yaprakları ile 50 ve 60 °C'de rehidre edilmiş yapraklar arasındaki renk farkından ( $\Delta E$ ) önemli ölçüde yüksek olduğunu belirlemelerine rağmen (p<0,05), bu fark görsel açıdan tespit edilememiştir. Yaprakların pişirilmesini (cooking), yüksek rehidrasyon sıcaklıklarında 120 dakikadan fazla gerçekleştirmişlerdir. Mikrodalgada kurutulmuş yaprakların rehidrasyonu 35 °C'de başarıyla gerçekleştiğini, bununla birlikte rehidre edilmiş yapraklar taze yapraklardan daha koyu olduğunu sonucuna varmışlardır. Sıcaklığın 50 ° C'ye yükseltilmesinin, rehidrasyon kapasitesini ve yaprakların rengini geliştirdiğini, ancak yaprakların pişirilmesinin işlemin ikinci saatinde gerçekleştiğini belirlemişlerdir.

Bai ve ark. (2018) çalışmalarında Ginkgo biloba tohumlarının, kurutma işlemi sırasında kurutma kinetiklerini ve renk değişikliklerini belirlemek için farklı mikrodalga güçleri

(200, 280, 460 ve 640 W) altında mikrodalga kurutucuda kurutmuşlardır. Tüm ürünlerin kurutma eğrileri, kısa bir ısınma periyodu ile birlikte uzun bir sabit oran ve düşme oranı periyodu gösterdiğini belirlemişlerdir. Etkin nem difüzyon katsayılarının mikrodalga çıkış seviyeleri aralığında  $3.318 \times 10^{-9}$  ila  $1.073 \times 10^{-8} \text{ m}^2/\text{s}$  olduğu ve aktivasyon enerjisinin 4.111 W/g olduğunu bulmuşlardır. Tohumların  $L^*$  ve  $b^*$  değerleri kuruma süresi ile azalmıştır. Ancak kuruma süresi uzadıkça  $a^*$  değeri önce azalmış sonra artmıştır. Nem oranını ve renk parametrelerini ( $L^*$ ,  $a^*$  ve  $b^*$ ) tahmin etmek için yapay sinir ağı (YSA) modellemesini kullanmışlardır. YSA modelini, eğitim fonksiyonu olarak Levenberg-Marquardt algoritması ve ağ aktarım fonksiyonu olarak tansig-purelin ile sonlu iterasyon hesaplaması için eğitmişlerdir. Sonuçları irdelediklerinde, YSA yönteminin, yüksek korelasyon katsayısı (0,9056-0,9834) ve düşük ortalama kare hatası (0,0014-2,2044) ile deney verilerini kesin olarak tahmin edebileceğini belirlemişlerdir. Ek olarak, kurulan YSA modelleri ile mikrodalga kurutma işlemi sırasında ginkgo biloba tohumlarının nem içeriğinin ve renk değişikliklerinin çevrimiçi tahmini için kullanılabileceğini belirtmişlerdir.

Khaldi ve ark. (2018) yaptıkları çalışmada susam tohumlarından (*Sesamum indicum* L.) elde edilen bir ürün olan susam kaplamalarının farklı mikrodalga kurutma seviyelerinde (100, 180, 450, 700 ve 850 W) kurutma kinetiklerini incelemişler ve bunun fizikokimyasal ve fonksiyonel özellikler üzerindeki etkisini araştırmışlardır. Sonuçları incelediklerinde kurutma süresinin mikrodalga güç seviyesinden önemli ölçüde etkilendiğini gözlemlemişlerdir. Kurutma süresinin 100 W'da 14 dakika sürdüğünü 850 W'da ise 2 dakikaya kadar düştüğünü belirlemişlerdir. Ham susam kaplama, yüksek su aktivitesi değeri (0,98) ve lif içeriği ( $47,91 \pm 3,60 \text{ g } 100 \text{ g}^{-1}$  kuru baz) olduğunu ve mikrodalga kurutma ile su aktivitesinin önemli ölçüde yaklaşık 0,5'e kadar düşürdüğünü belirtmişlerdir ( $p < 0.05$ ). ANOVA testi ile artan mikrodalga gücü seviyesinin hem toplam fenol içeriği hem de kahverengileşme indeksi üzerinde önemli bir etkiye sahip olmadığını gözlemlemişlerdir ( $p > 0.05$ ). Bununla birlikte, fonksiyonel özellikleri (su ve yağ tutma kapasiteleri) geliştiğinin sonucuna varmışlardır.

Yoğurtçu (2019) yaptığı çalışmada elma dilimlerinin mikrodalga ile kurutulması üzerine mikrodalga çıkış gücü ve dilim kalınlığının etkileri yanıt yüzey metodu (YYM)



kullanılarak modifiye edilmiş ev tipi bir mikrodalga fırında incelemiştir. Deneysel tasarım için dönebilen merkezi kompozit deney tasarım (CCRD) yaklaşımı kullanmıştır. Tasarım koşullarında gerçekleştirilen deneylerden etkin difüzyon katsayısı, renk değişimi, kuruma hız sabiti, toplam kuruma süresi, Hue açısı ve enerji tüketimi yanıt değişkenlerinin değerlerini belirlemiştir. Elde edilen ikinci derece polinom denklemlerinin yanıt değişkenlerini temsil etmede başarılı oldukları gözlemiştir. Varyans analizi (ANOVA) sonuçları ve yanıt yüzey eğrilerinden yanıt değişkenleri üzerinde mikrodalga çıkış gücü ve dilim kalınlığının önemli düzeyde etkili olduklarını tespit etmiştir. Bağımsız değişkenlerin yanıtlar üzerindeki etkileri ve anlamlılık düzeyleri istatistiki olarak değerlendirilerek ve en az renk değişimi, en kısa kuruma süresi, en az enerji tüketimi ve en yüksek Hue açısı için optimum çalışma şartları belirlemiştir. Mikrodalga ile elma kurutmada yanıt yüzey metodunun başarılı bir şekilde uygulanabildiği tespit etmiştir.

Yüksel ve ark. (2018) yaptıkları çalışmada, iki farklı bileşime (A ve B) sahip zenginleştirilmiş kuskusun kurutma kinetiğinin belirlenmesi ve modellenmesini dolgulu yataklı (60 ve 80 °C) ve mikrodalga (180 ve 360 W) kurutma yöntemlerini kullanılarak gerçekleştirmişlerdir. Deneysel verilerin uygunluğunun tespit edilmesi için yedi kurutma modeli kullanılmışlardır. Ayrıca, kurutma yöntemlerinin ve parametrelerinin zenginleştirilmiş kuskusun renk, verim ve duyu özellikleri üzerindeki etkilerini değerlendirmişlerdir. Dolgulu yataklı kurutmada kurutma havası sıcaklığının artışının aksine, mikrodalga yoğunluğundaki artışın kurutma hızı ve kurutma süresi üzerinde daha etkili olduğunu bulmuşlardır. Zenginleştirilmiş kuskusun serbest nem içeriği zamanla azaldığını ve bileşim A ve B ile üretilen zenginleştirilmiş kuskusun etkin nem değerlerinin sırasıyla  $0,93 \times 10^{-8}$  ila  $1,68 \times 10^{-8}$  ve  $0,86 \times 10^{-8}$  ila  $1,42 \times 10^{-8}$  m<sup>2</sup>/s arasında olduğunu tespit etmişlerdir. Dolgulu yatak ve mikrodalga kurutma yöntemleri için Midilli ve ark. modelinin,  $R^2$ 'nin en yüksek değerleri ve  $RMSE$ ,  $\chi^2$  ve  $RSS$ 'nin en düşük değerleri ile deneysel veriler için en uygun model olduğunu gözlemiştir.

Zhang ve ark. (2019) yaptıkları çalışmada iki farklı pekan cevizinin dielektrik özelliklerini belirlemiştir. Ayrıca mikrodalga güç yoğunluğunun (0,8-2,6 W g<sup>-1</sup>) ve maruz kalma süresinin (30-300 s) pekan cevizinin nem içeriği üzerindeki etkisini tespit

etmişlerdir. Mikrodalganın 2,455 MHz'de ürüne penetrasyon derinliklerinin farklı nem içeriği ve sıcaklık bağı olarak 4,05-10,45 cm aralığında değiştiğini belirlemişlerdir. Mikrodalga kurutmanın birincil aşaması sırasında çıkış gücü yoğunluğu ( $1,7 \text{ W g}^{-1}$ ) optimize edilmiş bir parametre olarak belirtmişlerdir. Sonuçlar incelendiğinde, mikrodalga destekli hava kurutmanın etkili olduğunu, ana bileşimlerini ve duyuşal özelliklerini etkilemeden pekan cevzinde %19 ve %16 su kaybına yol açtığını bulmuşlardır. Ayrıca cevizlerin muhafazası sırasında, mikrodalga destekli hava ile kurutulmuş örneklerin oksidasyon derecesinin 90 günlük depolamadan sonra kontrol örneklerinden daha düşük olduğunu belirlemişlerdir.



### 3. MATERYAL ve YÖNTEM

#### 3.1. Materyal

Taze mantarlar yerel bir marketten alınmıştır. Örnekler çalışmalar bitene kadar  $4\pm 0,5$  °C koşullarında saklanmıştır (Soysal 2004).

Kurutma deneyleri mikrodalga fırında gerçekleştirilmiştir. Mikrodalga fırının görünüşü Şekil 3.1’de verilmiştir.



**Şekil 3.1.** Kurutmada kullanılan mikrodalga fırının genel görünüşü

Taze ve kurutulmuş mantar çeşitleri örneklerinin renk değişimleri genel görünüşü Şekil 3.2’de gösterilen renk ölçer (HunterLab, ABD) cihazı kullanılarak belirlenmiştir.



**Şekil 3.2.** Renk ölçer cihazının genel görünüşü

### **3.2.Yöntem**

#### **3.2.1. Kurutma yöntemi**

Kurutma işlemi için seçilen mantar örnekleri özel bir dilimleyici (Börner, Almanya) yardımıyla küp haline getirilmiştir. İstiridye, kültür, kestane ve shiitake mantar örneklerinin başlangıçtaki nem seviyeleri kuru bazda (k.b.) sırasıyla 10,96 (g su.g kuru madde<sup>-1</sup>), 13,93 (g su.g kuru madde<sup>-1</sup>), 12,74 (g su.g kuru madde<sup>-1</sup>) ve 94 (g su.g kuru madde<sup>-1</sup>) olduğu etüvde 24 saat süre ile 105 °C’de kurutularak belirlenmiştir.

#### **3.2.2. Nem içeriğinin hesaplanması**

Aşağıda verilen Eşitlik 3.1 ile deneysel sonuçların herhangi bir t anındaki nem içeriği değerleri hesaplanmıştır.

$$M_t = \frac{m - KM}{KM} \quad (3.1)$$

$M_t$ : Herhangi bir t anındaki nem içeriği (g su.g kuru madde<sup>-1</sup>)

m: Numunenin ağırlığı (g)

KM: Numunenin içerdiği kuru madde miktarı (g)

olarak tanımlanmıştır.

### 3.2.3. Nem oranının hesaplanması

Modellemede kullanılan boyutsuz nem oranı ( $MR$ ) Eşitlik 3.2 kullanılarak belirlenmiştir (Kipcak 2017).

$$MR = \frac{M_t - M_e}{M_o - M_e} \quad (3.2)$$

$M_e$  : Denge anındaki nem içeriği (g su. g kuru madde<sup>-1</sup>)

$M_o$  : Başlangıçtaki nem içeriği (g su. g kuru madde<sup>-1</sup>)

olarak tanımlanmıştır.

### 3.2.4. Kuruma hızının hesaplanması

Kuruma hızı ( $KH$ ), aşağıdaki Eşitlik 3.3 kullanılarak bulunmuştur (Kipcak 2017).

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

$dt$  : Kuruma zamanı (dakika)

$M_{t+dt}$  :  $t+dt$  anındaki nem içeriği (g su.g kuru madde<sup>-1</sup>)

olarak tanımlanmıştır.

### 3.2.5. Kuruma eğrilerinin matematiksel modellenmesi

Çizelge 3.1’de mantar örneklerini kurutulmasında modelleme için kullanılan 10 adet ince tabaka kurutma modeli verilmiştir.

**Çizelge 3.1.** Modelleme için kullanılan ince tabaka kurutma modelleri

No	Model adı	Model	Kaynaklar
1	Henderson ve Pabis	$MR = a \exp(-kt)$	Demiray ve Tulek (2014)
2	Newton	$MR = \exp(-kt)$	Saxena ve Dash (2015)
3	Page	$MR = \exp(-kt^n)$	Murthy ve Manohar (2014)
4	Logaritmik	$MR = a \exp(-kt) + c$	Mota ve ark. (2010)
5	İki Terimli	$MR = a \exp(-k_0t) + b \exp(-k_1t)$	Bhattacharya ve ark. (2015)
6	İki Terimli Ekspansiyel	$MR = a \exp(-kt) + (1 - a) \exp(-kat)$	Evin (2011)
7	Wang ve Singh	$MR = 1 + at + bt^2$	Arumuganathan ve ark. (2009)
8	Difüzyon Yaklaşım	$MR = a \exp(-kt) + (1 - a) \exp(-kbt)$	Taşkın ve ark. (2017)
9	Verma ve ark.	$MR = a \exp(-kt) + (1 - a) \exp(-gt)$	Faal ve ark. (2015)
10	Midilli ve ark.	$MR = a \exp(-kt^n) + bt$	Midilli ve ark. (2002)

### 3.2.6. Rehidrasyon oranının belirlenmesi

Kurutulmuş ürünün tekrar nemlendirildiğinde göstermiş olduğu su tutma kapasitesi rehidrasyon olarak tanımlanır. Rehidrasyon değerlerinin belirlenebilmesi için kurutulmuş mantar örnekleri ( $10 \pm 0.1$  g), 14 saat boyunca  $20$  °C'de damıtılmış su içine, 1:50 katı/sıvı oranında olacak şekilde yerleştirilmiştir (Vega-Gálvez ve ark. 2009). Ardından mantar örnekleri çıkarılarak bir elektronik dijital terazi (Shimadzu, Japonya) kullanılarak tartılmıştır. Her uygulama için bu işlem üç tekrür halinde tekrar edilmiştir. Sonunda, rehidrasyon oranı ( $R$ ) aşağıdaki eşitlik kullanılarak hesaplanmıştır (Sunjka ve ark. 2008). Burada  $M_1$  ve  $M_2$  sırasıyla rehidrasyondan önce ve sonra numune ağırlıkları olarak gösterilmiştir.

$$R = \frac{M_2 - M_1}{M_1} \quad (3.4)$$

### 3.2.7. Renk değerlerinin belirlenmesi ve hesaplanması

Mantar örneklerinin rengi, tüm deneyler için örneklerdeki dört farklı noktada bir renk ölçer cihazı (Hunter Lab, ABD) kullanılarak ölçülmüştür.  $L^*$ ,  $a^*$  ve  $b^*$  'nin sırasıyla parlaklık, yeşil / kırmızı ve mavi / sarı kromatik bileşenleri temsil ettiği bir renk sistemi kullanılmıştır. Taze mantar örnekleri için renk parametreleri  $L_0^*$ ,  $a_0^*$  ve  $b_0^*$  olarak not edilmiştir. Deneyler yapılırken, renk ölçümlerinin her birinden önce, standart bir beyaz ve siyah plaka vasıtasıyla kolorimetre kalibre edilmiştir. Her kullanımdan önce, ışık kaynağı üzerine, kolorimetrenin burun konisine yakın bir miktar örnek taşıyan bir cam hücre yerleştirilmiş ve daha sonra  $L_0^*$ ,  $a_0^*$ ,  $b_0^*$ ,  $L^*$ ,  $a^*$  ve  $b^*$  değerleri not edilmiştir. Ek olarak, elde edilen renk parametreleri toplam renk farklılıkları ( $\Delta E$ ), Chroma değeri ( $C$ ) ve hue açısı ( $\alpha$ ) değerleri aşağıdaki eşitlikler kullanılarak hesaplanmıştır (Tian ve ark. 2016, Zhao ve ark. 2017).

$$C = \sqrt{(a^2 + b^2)} \quad (3.5)$$

$$\alpha = \tan^{-1}\left(\frac{b}{a}\right) \quad (3.6)$$

$$\Delta E = \sqrt{(L_0^* - L^*)^2 + (a_0^* - a^*)^2 + (b_0^* - b^*)^2} \quad (3.7)$$

### 3.2.8. İstatiksel değerlendirme

Yapılan tez çalışmasının modelleme uygulamaları için MATLAB (MathWorks Inc., Natick, MA) paket programı kullanılmıştır. Ayrıca elde edilen verilerin istatistiksel olarak değerlendirilmesinde JMP (Versiyon 7, ABD) paket programı kullanılarak varyans analizi ile karşılaştırma testi yapılmıştır. Veriler %5 önem seviyesinde analiz edilmiştir. En iyi modelin belirlenmesinde belirtme katsayısı ( $R^2$ ), hataların karelerinin karekök ortalaması ( $RMSE$ , Eşitlik 3.8) ve ki-kare ( $\chi^2$ , Eşitlik 3.9) istatistiksel kriterleri uygulanmıştır.

$$RMSE = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (MR_{pre,i} - MR_{exp,i})^2}{N}} \quad (3.8)$$

$$\chi^2 = \frac{\sum_{I=1}^N (MR_{\text{exp},i} - MR_{\text{pre},i})^2}{N - z} \quad (3.9)$$

$MR_{\text{pre},i}$ ,  $i$ . tahmin edilen nem oranı,  $MR_{\text{exp},i}$ ,  $i$ . deneysel nem oranı,  $N$  gözlemlenen deneysel veri adedi ve  $z$  modelde yer alan bağımsız değişken sayısı olarak kullanılmıştır.

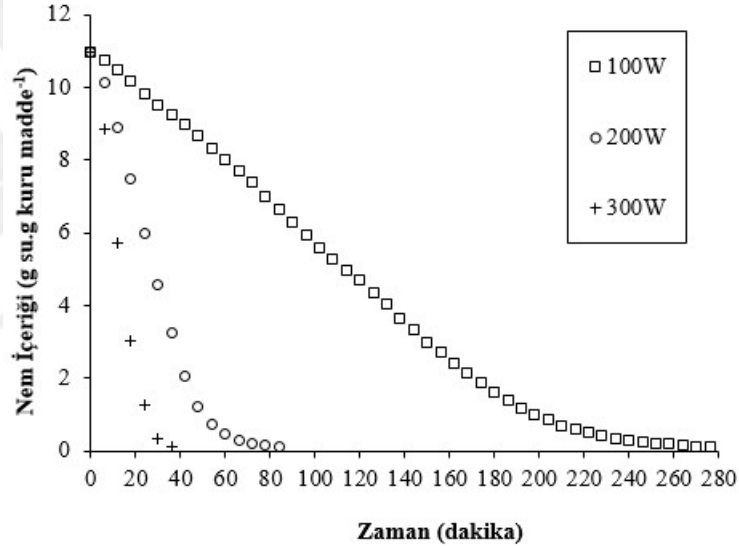




## 4. BULGULAR ve TARTIŞMA

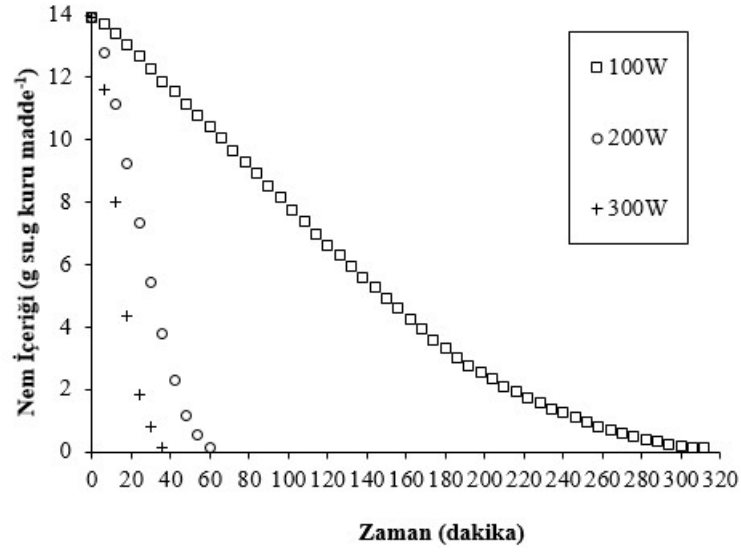
### 4.1. Mantar çeşitlerinin nem içerikleri değişimleri

Farklı mikrodalga kurutma koşullarında kurutulan istiridye mantarı örneklerinin nem içeriklerinin zamanla değişimi Şekil 4.1’de sunulmuştur. İstiridye mantarlarının 100, 200 ve 300W mikrodalga güçlerinde kuruma süreleri sırasıyla 276, 84 ve 36 dakika olarak belirlenmiştir. Tüm sonuçlar toplam kuruma süreleri bakımından ele alındığında beklenildiği gibi en kısa kuruma süresi 300 W mikrodalga gücünde kurutulan istiridye mantar örneklerinden elde edilirken, en uzun kuruma süresi ise 100W mikrodalga gücünde kurutulan mantar örneklerinden elde edilmiştir.



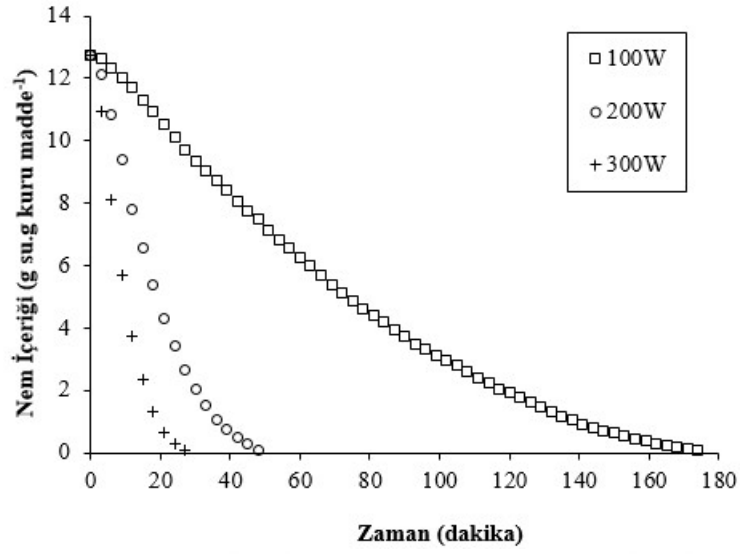
**Şekil 4.1.** Farklı mikrodalga kurutma koşullarında kurutulan istiridye mantarı örneklerinin nem içeriklerinin zamanla değişimi

Şekil 4.2’de farklı mikrodalga kurutma koşullarında kurutulan kültür mantarı örneklerinin nem içeriklerinin zamanla değişimi sunulmuştur. Kültür mantarlarının 100, 200 ve 300W mikrodalga güçlerinde kuruma süreleri sırasıyla 312, 60 ve 36 dakika olarak bulunmuştur. Tüm sonuçlar toplam kuruma süreleri bakımından ele alındığında beklenildiği gibi en kısa kuruma süresi 300 W mikrodalga gücünde kurutulan kültür mantarları örneklerinden elde edilirken, en uzun kuruma süresi ise 100 W mikrodalga gücünde kurutulan kültür mantarı örneklerinden elde edilmiştir.



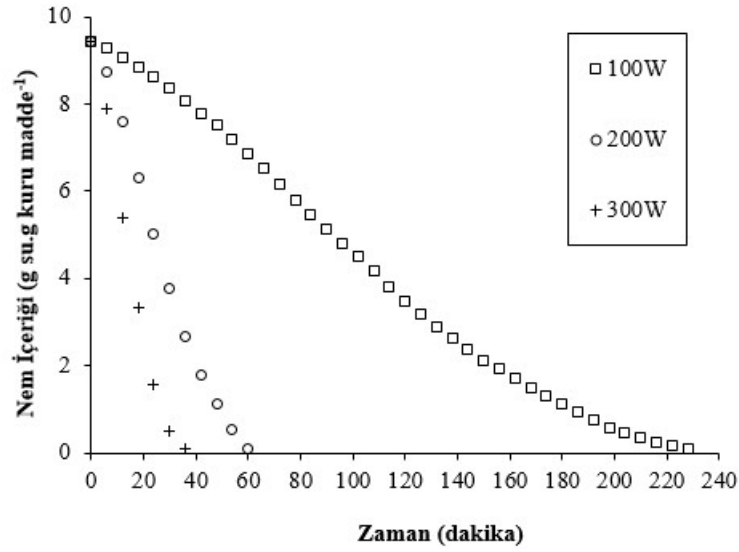
**Şekil 4.2.** Farklı mikrodalga kurutma koşullarında kurutulan kültür mantarı örneklerinin nem içeriklerinin zamanla değişimi

Farklı mikrodalga kurutma koşullarında kurutulan kestane mantarı örneklerinin nem içeriklerinin zamanla değişimi Şekil 4.3’de sunulmuştur. Kestane mantarlarının 100, 200 ve 300W mikrodalga güçlerinde sırasıyla kuruma süreleri 174, 48 ve 27 dakika olarak saptanmıştır. Tüm sonuçlar toplam kuruma süreleri bakımından ele alındığında beklenildiği gibi en kısa kuruma süresi 300 W mikrodalga gücünde kurutulan kestane mantarı örneklerinden elde edilirken, en uzun kuruma süresi ise 100 W kurutulan kestane mantarı örneklerinden elde edilmiştir.



**Şekil 4.3.** Farklı mikrodalga kurutma koşullarında kurutulan kestane mantarı örneklerinin nem içeriklerinin zamanla değişimi

Şekil 4.4’de farklı mikrodalga kurutma koşullarında kurutulan shiitake mantarı örneklerinin nem içeriklerinin zamanla değişimi sunulmuştur. Shiitake mantarlarının 100, 200 ve 300W mikrodalga güçlerinde kuruma süreleri sırasıyla 228, 60 ve 36 dakika olarak belirlenmiştir. Tüm sonuçlar toplam kuruma süreleri bakımından ele alındığında beklenildiği gibi en kısa kuruma süresi 300 W mikrodalga gücünde kurutulan shiitake mantarı örneklerinden elde edilirken, en uzun kuruma süresi ise 100 W kurutulan shiitake mantarı örneklerinden elde edilmiştir.



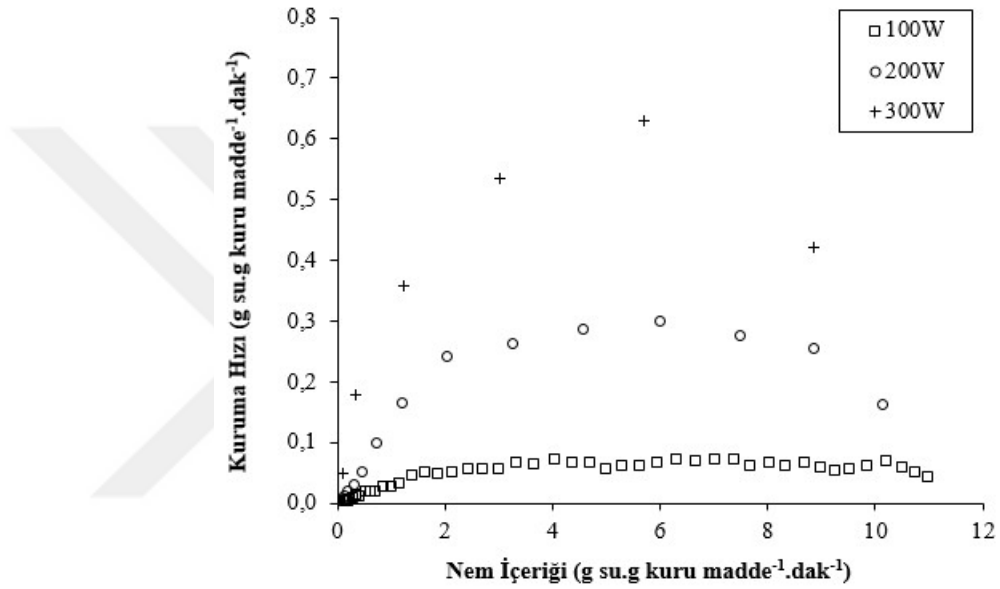
**Şekil 4.4.** Farklı mikrodalga kurutma koşullarında kurutulan shiitake mantarı örneklerinin nem içeriklerinin zamanla değişimi

Kurutulan mantar çeşitlerinde Şekil 4.1-4.4'de görüldüğü üzere ürüne uygulanan mikrodalga gücü arttıkça ürünlerin kuruma süresinin azaldığı yapılan çeşitli gıdaların kurutulması çalışmaları ile benzer özellikler göstermiştir. Karaaslan (2014) mikrodalga kullanarak Trabzon hurması kurutulması çalışmasında aldığı sonuçlarda mikrodalga güç seviyelerinin kuruma sürelerinde önemli bir etkisi olduğunu ve mikrodalga güçleri arttıkça kuruma sürelerinin azaldığını tespit etmiştir.

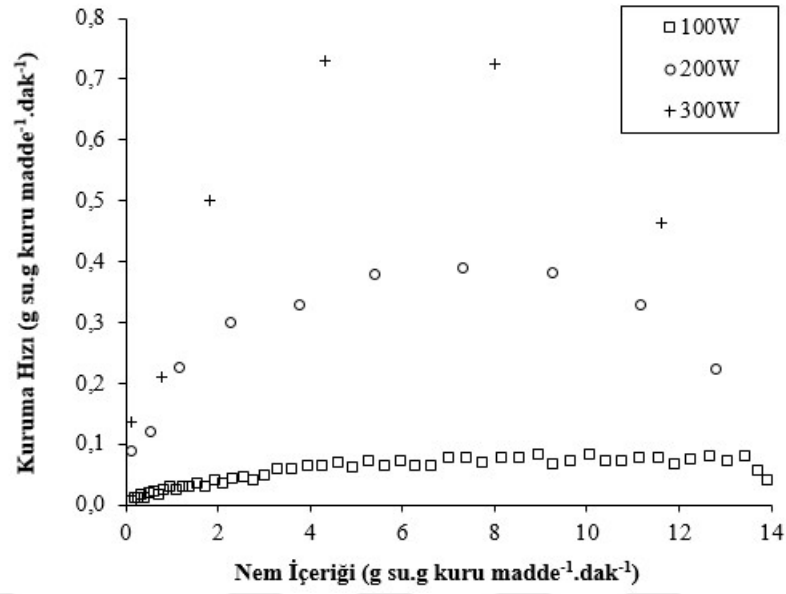
#### 4.2. Mantar çeşitlerinin kuruma hızı değişimleri

Farklı mikrodalga kurutma koşullarında kurutulan istiridye, kültür, shiitake ve kestane mantarı örneklerinin kuruma hızlarının zamanla değişimi Şekil 4.5-4.8' de verilmiştir. Sonuçlar incelendiğinde mantar örneklerinin kurutma hızlarının nem içerikleriyle değişimi mikrodalga güçlerine bağlı olarak değiştiği görülmektedir. Bu sonuçların yapılan başka çalışmalarda da gözlemlendiği görülmektedir. Bunun sebebi mikrodalga çıkış gücündeki artma ile su molekülleri aynı frekanslı daha fazla sayıda elektromanyetik dalgalara maruz kalmalarındadır. Nem içeriğinin yüksek olduğu başlangıç kuruma bölgesinde kuruma hızı yüksek iken zamanla nem içeriğinin azalmasına bağlı olarak kuruma hızı da düşmektedir (Yoğurtçu 2014). Mikrodalga yöntemiyle gerçekleşen kurutma uygulamalarında karakteristik kuruma hızı eğrileri değerlendirildiğinde 300 W

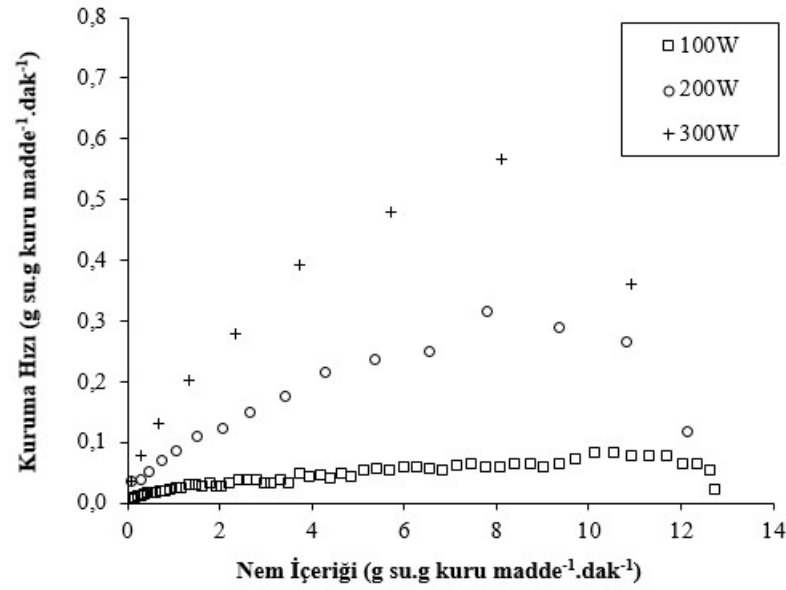
mikrodalga gücünde en kısa sürede kuruma hızı en yüksek değere çıkmıştır. Bu çalışmada kurutulan mantar çeşitleri ve mikrodalga uygulamaları arasında en kısa kuruma süresi 300W mikrodalga gücünde kurutulan kestane mantarı örneklerinde tespit edilmiştir. En uzun kuruma süresi ise 100 W mikrodalga uygulamasıyla kültür mantarı örneklerinden elde edilmiştir. Kutlu ve İşçi (2016) farklı mikrodalga güç seviyesi (160-800W) kullanarak kuruttukları kiraz domatesinden elde ettikleri kuruma hızı verilerine göre mikrodalga gücü arttıkça kuruma hızının da arttığını gözlemlemişlerdir.



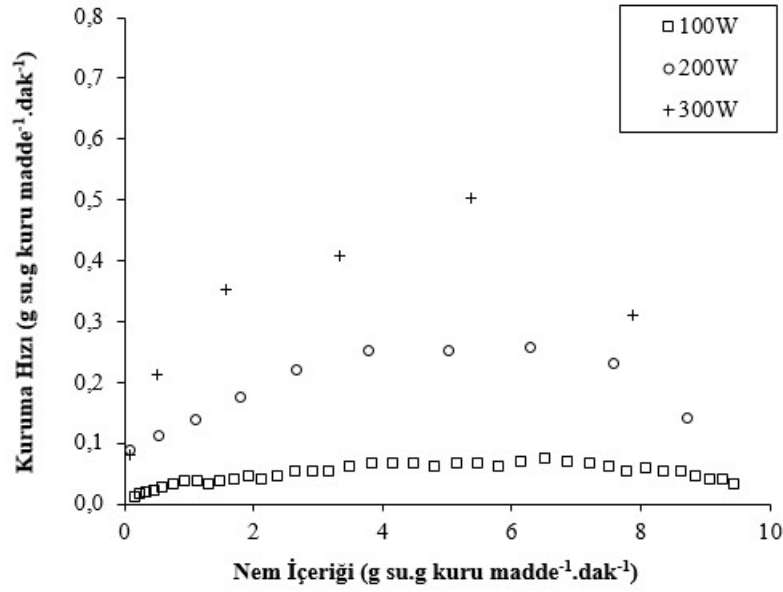
**Şekil 4.5.** Farklı mikrodalga kurutma koşullarında kurutulan istiridye mantarı örneklerinin kuruma hızlarının nem içerikleriyle değişimi



**Şekil 4.6.** Farklı mikrodalga kurutma koşullarında kurutulan kültür mantarı örneklerinin kuruma hızlarının nem içerikleriyle değişimi



**Şekil 4.7.** Farklı mikrodalga kurutma koşullarında kurutulan kestane mantarı örneklerinin kuruma hızlarının nem içerikleriyle değişimi



**Şekil 4.8.** Farklı mikrodalga kurutma koşullarında kurutulan shiitake mantarı örneklerinin kuruma hızlarının nem içerikleriyle değişimi

#### 4.3. Mantar çeşitlerinin kuruma eğrilerinin modellenmesi

Mantar örneklerinin kurutulmasında nem oranı değerlerinin tahmin edilmesi için kullanılan 10 farklı ince tabaka kurutma modeli Çizelge 3.1’de numaralandırılarak verilmiştir.

Bu bölümde mantar çeşitlerinin mikrodalga kurutma yöntemiyle kurutulmasında belirlenen nem oranı verilerinin kuruma zamanları ile değişimi modellenmiş ve bu modellere ait kurutma katsayıları,  $R^2$ ,  $RMSE$  ve  $\chi^2$  istatistiksel parametrelerinin sonuçları çizelgeler halinde sunulmuştur (Çizelge 4.1-4.4). En düşük  $RMSE$  ve  $\chi^2$  değerleri ile en yüksek  $R^2$  değerine sahip olan eşitlik veri serilerini temsil eden değerler uygun model olarak değerlendirilmiştir.

Çizelge 4.1 incelendiğinde, istiridye mantarı örneklerinin farklı mikrodalga kurutma koşullarında belirlenen nem oranı verilerinin zamanla değişimini istatistiksel parametrelere göre en iyi tanımlayan modelin 10 numaralı Midilli ve ark. modeli olduğu tespit edilmiştir. Sonuçlar detaylı olarak incelendiğinde, istiridye mantarı örneklerinin 100, 200 ve 300 W mikrodalga güçlerinde elde edilen verilerin 10 numaralı Midilli ve ark. modeli ile modellenmesinde sırasıyla  $R^2=0.9981$ ,  $RMSE=0.0143$  ve  $\chi^2=2.1625 \times 10^{-4}$ ;  $R^2=0.9989$ ,

$RMSE=0.0120$  ve  $\chi^2=1.4055 \times 10^{-4}$  ve  $R^2=0.9995$ ,  $RMSE=0.0090$  ve  $\chi^2=0.5279 \times 10^{-4}$  istatistiksel değerleri elde edilmiştir.

Çizelge 4.2 incelendiğinde ise kültür mantarı örneklerinin farklı mikrodalga kurutma koşullarında belirlenen nem oranı verilerinin zamanla değişimini istatistiksel parametrelere göre en iyi tanımlayan modellerin 100 ve 200W mikrodalga uygulamaları için 10 numaralı Midilli ve ark. modeli olduğu gibi tespit edilirken, 300W mikrodalga uygulaması için ise 3 numaralı Page modeli olarak bulunmuştur. Ayrıca, kültür mantarı örneklerinin 100 ve 200W mikrodalga güçlerinde elde edilen verilerin 10 numaralı Midilli ve ark. modeli ile modellenmesinde sırasıyla  $R^2=0.9994$ ,  $RMSE=0.0081$  ve  $\chi^2=0.6725 \times 10^{-4}$  ve  $R^2=0.9992$ ,  $RMSE=0.0104$  ve  $\chi^2=0.9021 \times 10^{-4}$  istatistiksel değerleri elde edilmiştir. 300 W mikrodalga uygulamasıyla elde edilen verilerin 3 numaralı Page modeli ile modellenmesinde  $R^2=0.9994$ ,  $RMSE=0.0098$  ve  $\chi^2=0.9695 \times 10^{-4}$  istatistiksel değerleri elde edilmiştir.

Kestane mantarı örneklerinin farklı mikrodalga kurutma koşullarında belirlenen nem oranı verilerinin zamanla değişimini istatistiksel parametrelere göre en iyi tanımlayan modelin 10 numaralı Midilli ve ark. modeli olduğu belirlenmiştir (Çizelge 4.3). Sonuçlar incelendiğinde, kestane mantarı örneklerinin 100, 200 ve 300W mikrodalga güçlerinde elde edilen verilerin 10 numaralı Midilli ve ark. modeli ile modellenmesinde sırasıyla  $R^2=0.9997$ ,  $RMSE=0.0054$  ve  $\chi^2=0.1635 \times 10^{-4}$ ;  $R^2=0.9997$ ,  $RMSE=0.0059$  ve  $\chi^2=0.2186 \times 10^{-4}$  ve  $R^2=0.9999$ ,  $RMSE=0.0039$  ve  $\chi^2=0.2794 \times 10^{-4}$  istatistiksel değerleri elde edilmiştir.

Çizelge 4.4 incelendiğinde, shiitake mantarı örneklerinin farklı mikrodalga kurutma koşullarında belirlenen nem oranı verilerinin zamanla değişimini istatistiksel parametrelere göre en iyi tanımlayan modelin 10 numaralı Midilli ve ark. modeli olduğu tespit edilmiştir. Ayrıca, shiitake mantarı örneklerinin 100, 200 ve 300W mikrodalga güçlerinde elde edilen verilerin 10 numaralı Midilli ve ark. modeli ile modellenmesinde sırasıyla  $R^2=0.9998$ ,  $RMSE=0.0049$  ve  $\chi^2=0.1928 \times 10^{-4}$ ;  $R^2=0.9993$ ,  $RMSE=0.0093$  ve  $\chi^2=0.5765 \times 10^{-4}$  ve  $R^2=0.9992$ ,  $RMSE=0.0110$  ve  $\chi^2=1.2925 \times 10^{-4}$  istatistiksel değerleri elde edilmiştir.



İzli (2016) kayısı, Aktas ve ark. (2015) zeytin pirinası ve Şimşek (2018) nane örneklerinin mikrodalga yöntemiyle kurutulması çalışmalarında uygulamış oldukları farklı deneyler arasında elde ettikleri sonuçlara en yakın değerlerin Midilli ve ark. modelinden sağlandığını tespit etmişlerdir.



**Çizelge 4.1.** Farklı mikrodalga kurutma koşullarında kurutulmuş istiridye mantarı örneklerinin kurutulmasında kullanılan modellerin istatistiksel analiz sonuçları

No	Model Katsayıları	100W			Model Katsayıları	200W			Model Katsayıları	300W		
		R <sup>2</sup>	RMSE	$\chi^2(10^{-4})$		R <sup>2</sup>	RMSE	$\chi^2(10^{-4})$		R <sup>2</sup>	RMSE	$\chi^2(10^{-4})$
1	a=1.151 k=0.009521	0.9501	0.0744	48.5355	a=1.128 k=0.03724	0.9532	0.0782	48.9847	a=1.076 k=0.07329	0.9445	0.0928	72.7794
2	k=0.0083	0.9273	0.0898	81.9814	k=0.03347	0.9398	0.0886	78.7869	k=0.06881	0.9458	0.0916	82.2774
3	k=0.0002937 n=1.684	0.9951	0.0232	5.7384	k=0.002571 n=1.726	0.9988	0.0129	1.4862	k=0.009247 n=1.716	0.9995	0.0091	0.6614
4	a=1.613 k=0.004318 c=-0.549 a=4.423	0.9899	0.0334	10.2852	a=1.302 k=0.0246 c=-0.2186 a=1.311	0.9767	0.0551	25.1840	k=0.0406 c=-0.3677 a=71.29	0.9768	0.0600	30.5845
5	ko=0.002923 b=-3.372 k1=0.001841	0.9901	0.0332	11.8010	ko=0.04269 b=-0.3111 k1=3.363	0.9718	0.0606	35.6943	ko=0.148 b=-70.29 k1=0.1503	0.9929	0.0333	10.2925
6	a=-2.382 k=0.001022	0.9865	0.0387	15.2021	a=-1.722 k=0.00877	0.9731	0.0592	35.3908	a=-1.903 k=0.01413	0.9797	0.0561	30.4132
7	a=-0.005712 b=0.000068	0.9887	0.0354	12.7749	a=-0.02432 b=0.0001459	0.9831	0.0469	22.0968	a=-0.04912 b=0.0005769	0.9854	0.0476	21.7767
8	a=-31.83 k=0.01536 b=0.9769	0.9758	0.0518	27.1518	a=-25.44 k=0.07539 b=0.9571	0.9941	0.0277	7.3969	a=-13.18 k=0.1622 b=0.9174	0.9953	0.0269	5.4406
9	a=-8.722 k=0.001553 g=0.001991 a=0.9959	0.9863	0.0389	15.4523	a=-6.39 k=0.01074 g=0.01276 a=0.9856	0.9710	0.0615	38.2072	a=-8.508 k=0.01927 g=0.02262 a=0.9978	0.9748	0.0625	37.7498
10	k=0.0002555 n=1.686 b=-0.0001709	0.9981	0.0143	2.1625	k=0.002155 n=1.771 b=-0.000125	0.9989	0.0120	1.4055	k=0.009779 n=1.685 b=-0.0003794	0.9995	0.0090	0.5279

**Çizelge 4.2.** Farklı mikrodalga kurutma koşullarında kurutulmuş kültür mantarı örneklerinin kurutulmasında kullanılan modellerin istatistiksel analiz sonuçları

No	Model Katsayıları	100W			Model Katsayıları	200W			Model Katsayıları	300W		
		R <sup>2</sup>	RMSE	$\chi^2(10^{-4})$		R <sup>2</sup>	RMSE	$\chi^2(10^{-4})$		R <sup>2</sup>	RMSE	$\chi^2(10^{-4})$
1	a=1.134 k=0.00831	0.9632	0.0616	32.1858	a=1.117 k=0.03815	0.9367	0.0912	69.2932	a=1.082 k=0.06854	0.9381	0.0975	85.9016
2	k=0.007334	0.9440	0.0760	58.0580	k=0.03423	0.9247	0.0994	100.376	k=0.06387	0.9389	0.0969	98.2756
3	k=0.000465 n=1.551	0.9966	0.0188	3.4663	k=0.00246 n=1.766	0.9972	0.0192	3.7424	k=0.007274 n=1.762	0.9994	0.0098	0.9695
4	a=1.51 k=0.004113 c=-0.457	0.9950	0.0227	4.4422	a=1.991 k=0.0132 c=-0.9414	0.9885	0.0389	11.8305	a=1.531 k=0.03379 c=-0.4878	0.9755	0.0613	33.7934
5	a=17.69 k <sub>0</sub> =0.01318 b=-16.6 k <sub>1</sub> =0.01374	0.9843	0.0402	13.6155	a=1.305 k <sub>0</sub> =0.04435 b=-0.3047 k <sub>1</sub> =3.345	0.9564	0.0757	59.0152	a=75.51 k <sub>0</sub> =0.1449 b=-74.47 k <sub>1</sub> =0.1471	0.9883	0.0423	13.9774
6	a=1.051 k=0.005147	0.9878	0.0355	12.7918	a=-3.077 k=0.002397	0.9865	0.0421	17.4049	a=-2.109 k=0.01034	0.9781	0.0580	34.5910
7	a=-0.005157 b=0.000059	0.9947	0.0234	5.6182	a=-0.02264 b=0.00008	0.9875	0.0406	16.2764	a=-0.04496 b=0.0004616	0.9819	0.0527	28.9752
8	a=-15.38 k=0.01326 b=0.9587 a=-6.877	0.9812	0.0441	19.1925	a=-32.8 k=0.07922 b=0.9663 a=-8.717	0.9885	0.0389	13.9546	a=-18.61 k=0.1511 b=0.9393 a=-8.547	0.9942	0.0297	7.7674
9	k=0.001586 g=0.002057 a=0.9802	0.9925	0.0278	7.8278	k=0.004234 g=0.00615 a=0.9921	0.9849	0.0446	19.5864	k=0.0142 g=0.01748 a=0.9963	0.9727	0.0647	42.9178
10	k=0.0005729 n=1.481 b=-0.0002035	0.9994	0.0081	0.6725	k=0.003119 n=1.659 b=-0.00104	0.9992	0.0104	0.9021	k=0.007418 n=1.747 b=-0.0002594	0.9992	0.0114	1.1671

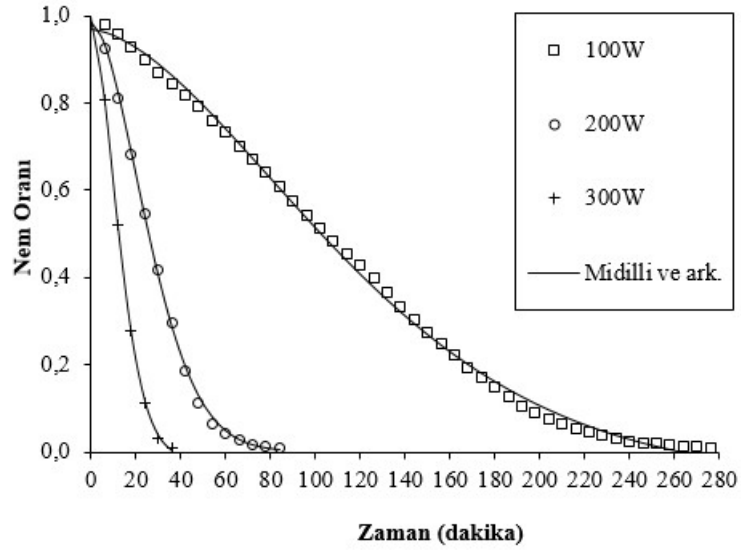
**Çizelge 4.3.** Farklı mikrodalga kurutma koşullarında kurutulan kestane mantarı örneklerinin kurutulmasında kullanılan modellerin istatistiksel analiz sonuçları

No	100W			200W			300W					
	Model Katsayıları	R <sup>2</sup>	RMSE	$\chi^2(10^{-4})$	Model Katsayıları	R <sup>2</sup>	RMSE	$\chi^2(10^{-4})$	Model Katsayıları	R <sup>2</sup>	RMSE	$\chi^2(10^{-4})$
1	a=1.115 k=0.01533	0.9778	0.0462	17.6774	a=1.117 k=0.05834	0.9714	0.0578	24.3205	a=1.083 k=0.1087	0.9678	0.0652	31.2213
2	k=0.01374	0.9632	0.0595	35.1848	k=0.05251	0.9575	0.0703	49.8519	k=0.1011	0.9628	0.0700	46.1254
3	k=0.002394 n=1.398	0.9969	0.0173	2.8865	k=0.01123 n=1.504	0.9995	0.0076	0.5469	k=0.02881 n=1.516	0.9998	0.0051	0.4316
4	a=1.344 k=0.009042 c=-0.2967	0.9985	0.0119	0.8179	a=1.309 k=0.03743 c=-0.2417	0.9915	0.0314	6.5075	a=1.254 k=0.0732 c=-0.2051	0.9871	0.0412	11.6795
5	a=-16.7 k <sub>o</sub> =0.02641 b=17.75 k <sub>1</sub> =0.02529	0.9935	0.0251	5.5050	a=-15.29 k <sub>o</sub> =0.03346 b=16.46 k <sub>1</sub> =0.03494	0.9773	0.0514	3.3333	a=3.765 k <sub>o</sub> =0.1071 b=-2.689 k <sub>1</sub> =0.1068	0.9569	0.0753	43.7145
6	a=-1.852 k=0.00307	0.9968	0.0177	2.9624	a=-1.776 k=0.01289	0.9879	0.0376	14.0750	a=-1.654 k=0.02935	0.9869	0.0415	15.2676
7	a=-0.009948 b=0.000024	0.9984	0.0125	1.4187	a=-0.03825 b=0.0003614	0.9922	0.0301	9.0796	a=-0.07363 b=0.001355	0.9933	0.0297	7.6572
8	a=-80.72 k=0.02625 b=0.99	0.9953	0.0212	4.2715	a=-11.15 k=0.1149 b=0.9181	0.9987	0.0124	1.4294	a=-9.45 k=0.2221 b=0.9037	0.9987	0.0129	1.4495
9	a=-12.29 k=0.004281 g=0.004754	0.9967	0.0177	2.9815	a=-4.6 k=0.01592 g=0.02032	0.9871	0.0388	14.9772	a=-3.94 k=0.03463 g=0.04382	0.9852	0.0442	17.3220
10	a=1.006 k=0.004285 n=1.232 b=-0.0005096	0.9997	0.0054	0.1635	a=1.008 k=0.01311 n=1.445 b=-0.0003921	0.9997	0.0059	0.2186	a=1.001 k=0.0303 n=1.488 b=-0.0003826	0.9999	0.0039	0.2794

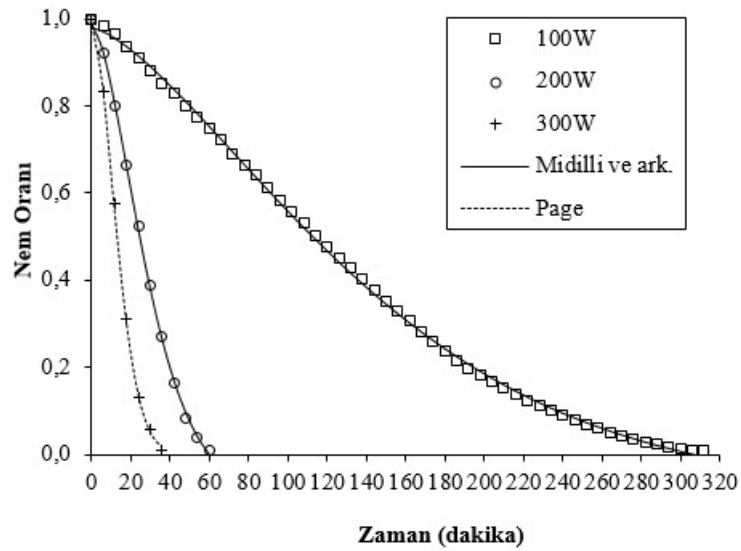
**Çizelge 4.4.** Farklı mikrodalga kurutma koşullarında kurutulan shiitake mantarı örneklerinin kurutulmasında kullanılan modellerin istatistiksel analiz sonuçları

No	100W			200W			300W					
	Model Katsayıları	R <sup>2</sup>	RMSE	$\chi^2(10^{-4})$	Model Katsayıları	R <sup>2</sup>	RMSE	$\chi^2(10^{-4})$	Model Katsayıları	R <sup>2</sup>	RMSE	$\chi^2(10^{-4})$
1	a=1.156 k=0.009944	0.9463	0.0763	48.5708	a=1.111 k=0.03664	0.9430	0.0845	58.9282	a=1.083 k=0.0659	0.9381	0.0967	77.2891
2	k=0.008549	0.9183	0.0941	89.6033	k=0.03295	0.9312	0.0929	88.2377	k=0.0613	0.9384	0.0965	90.3812
3	k=0.0002535 n=1.736	0.9973	0.0173	3.1097	k=0.002917 n=1.702	0.9977	0.0169	2.8166	k=0.007465 n=1.728	0.9985	0.0151	2.4208
4	a=2.168 k=0.003096 c=-1.107	0.9936	0.0264	5.4600	a=2.044 k=0.01228 c=-1	0.9918	0.0321	7.9823	a=1.666 k=0.02868 c=-0.6267	0.9826	0.0512	21.1694
5	a=1.199 k <sub>o</sub> =0.01032 b=-0.1992 k <sub>l</sub> =3.384	0.9514	0.0726	45.0392	a=19.64 k <sub>o</sub> =0.07257 b=-18.63 k <sub>l</sub> =0.07689	0.9894	0.0364	13.2058	a=57.48 k <sub>o</sub> =0.1343 b=-56.42 k <sub>l</sub> =0.1368	0.9811	0.0534	16.3562
6	a=1.165 k=0.004239	0.9868	0.0378	14.1142	a=2.099 k=0.0549	0.9893	0.0367	13.5303	a=2.163 k=0.1032	0.9921	0.0347	12.2338
7	a=-0.00555 b=0.000042 a=-69.61	0.9901	0.0328	10.6354	a=-0.02185 b=0.00008 a=-41.9	0.9907	0.0342	12.0517	a=-0.04216 b=0.0003804 a=-21.01	0.9864	0.0454	19.2709
8	k=0.01924 b=0.9845 a=-19.77	0.9897	0.0335	11.3341	k=0.07506 b=0.9744 a=-3.487	0.9911	0.0334	9.9824	k=0.1433 b=0.947 a=-4.821	0.9929	0.0327	8.7832
9	k=0.001293 g=0.001517 a=0.9862	0.9879	0.0362	13.0788	k=0.002542 g=0.006889 a=0.997	0.9888	0.0375	14.5044	k=0.009493 g=0.01506 a=1	0.9799	0.0551	28.8052
10	k=0.0003359 n=1.643 b=-0.0003324	0.9998	0.0049	0.1928	k=0.002026 n=1.291 b=-0.0002912	0.9993	0.0093	0.5765	k=0.008996 n=1.638 b=-0.001062	0.9992	0.0110	1.2925

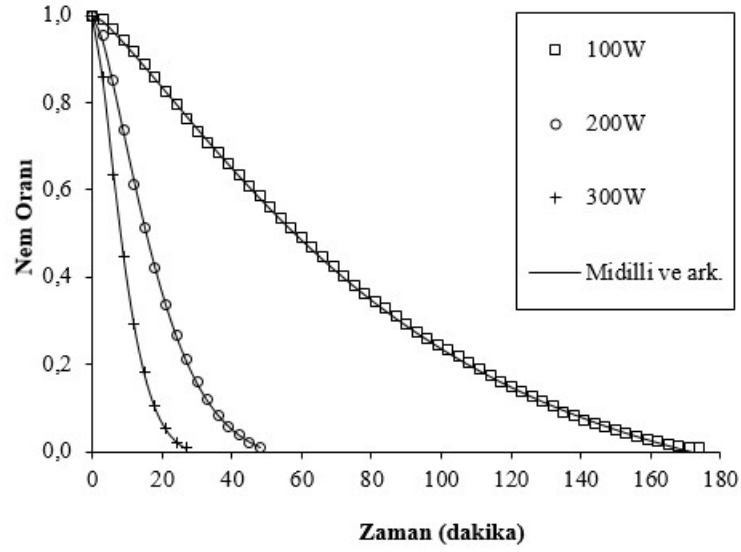
Farklı mikrodalga kurutma şartlarından deneysel olarak belirlenen nem oranı değerleri ile bu değerleri 10 farklı ince tabaka kurutma modeli arasında en iyi açıklayan modellerden sağlanan tahmini nem oranı verilerinin zamanla değişimi Şekil 4.9-12’de görülmektedir.



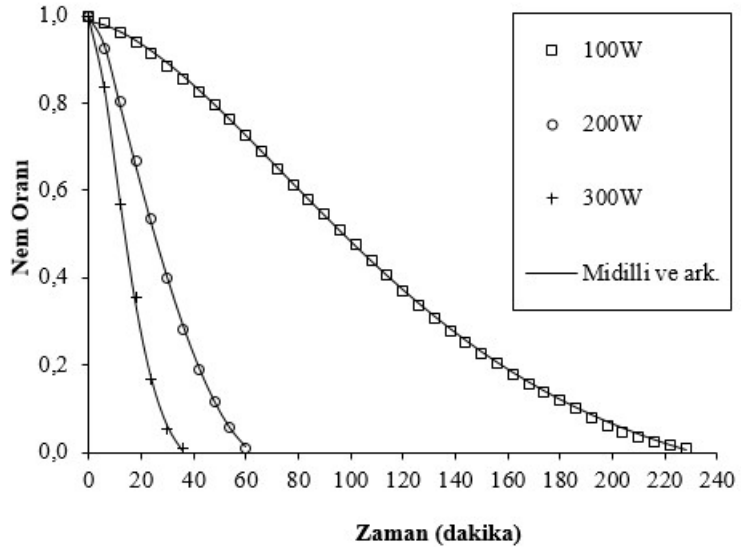
**Şekil 4.9.** Farklı mikrodalga kurutma koşullarında kurutulmuş istiridye mantarı örneklerinin deneysel nem oranı sonuçları ile en uygun modelin nem oranı sonuçlarının karşılaştırılması



**Şekil 4.10.** Farklı mikrodalga kurutma koşullarında kurutulmuş kültür mantarı örneklerinin deneysel nem oranı sonuçları ile en uygun modellerin nem oranı sonuçlarının karşılaştırılması



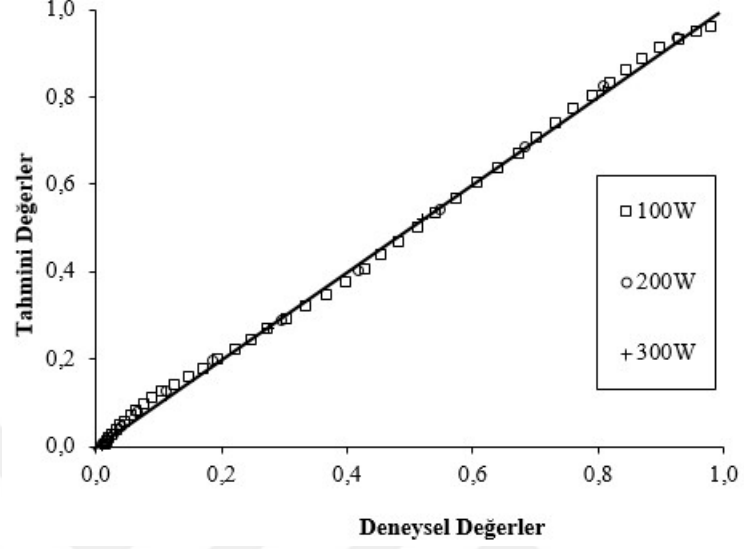
**Şekil 4.11.** Farklı mikrodalga kurutma koşullarında kurutulmuş kestane mantarı örneklerinin deneysel nem oranı sonuçları ile en uygun modelin nem oranı sonuçlarının karşılaştırılması



**Şekil 4.12.** Farklı mikrodalga kurutma koşullarında kurutulmuş shiitake mantarı örneklerinin deneysel nem oranı sonuçları ile en uygun modelin nem oranı sonuçlarının karşılaştırılması

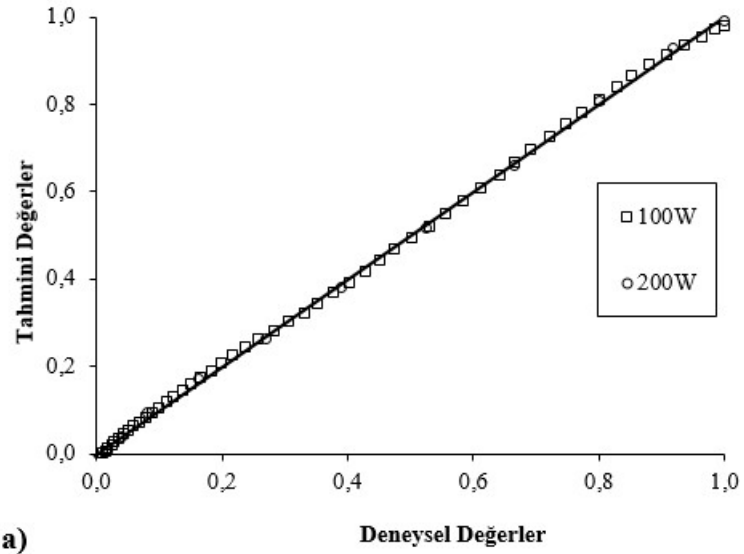
Farklı mikrodalga kurutma koşullarında mantar çeşitlerinin kurutulmasında uygulanan tüm kurutma şartları için en uygun modellerden sağlanan tahmini nem oranı verileri ile deneysel olarak belirlenen nem oranı verilerinin karşılaştırılması Şekiller 4.13-16'da gösterilmiştir. Sonuçlar incelendiğinde, deneysel değerlerle bu değerleri tanımlayan en

iyi modellerden elde edilen değerlerin birbirlerine oldukça yakın oldukları ve 45° açıyla çizilmiş olan bir çizginin etrafında verilerin toplandığı saptanmıştır.

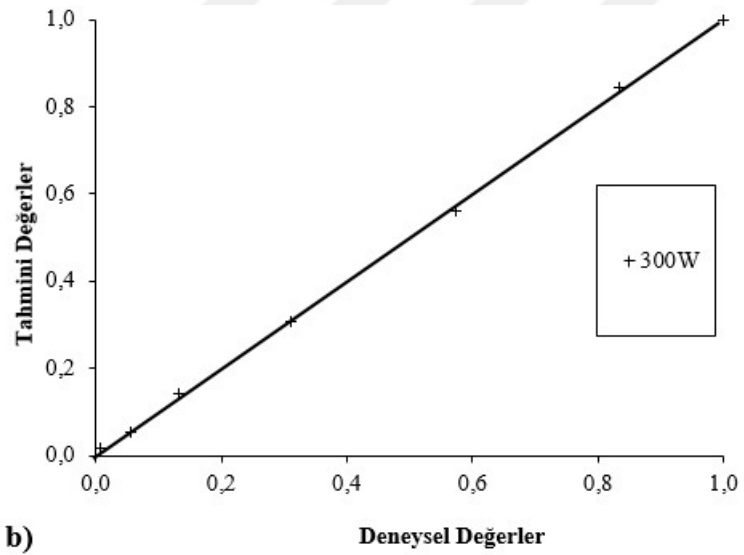


**şekil 4.13.** Farklı mikrodalga kurutma koşullarında kurutulan istiridye mantarı örneklerinin deneysel nem oranı sonuçları ile en uygun modelin nem oranı sonuçlarının karşılaştırılması



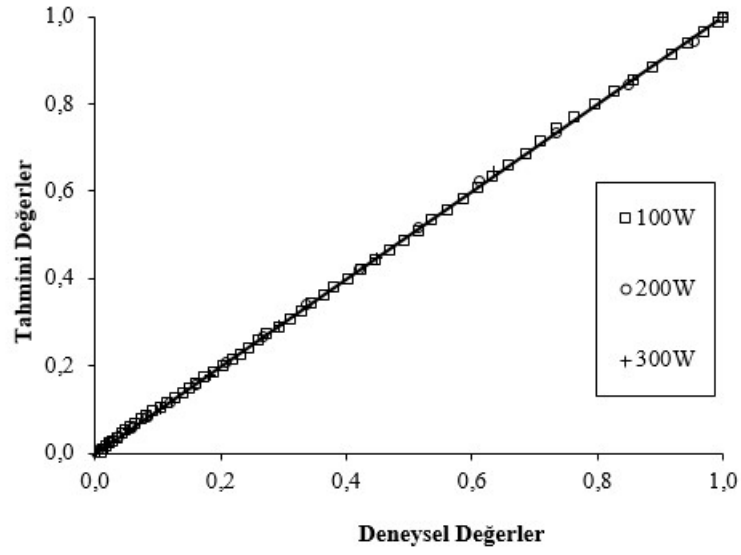


a)

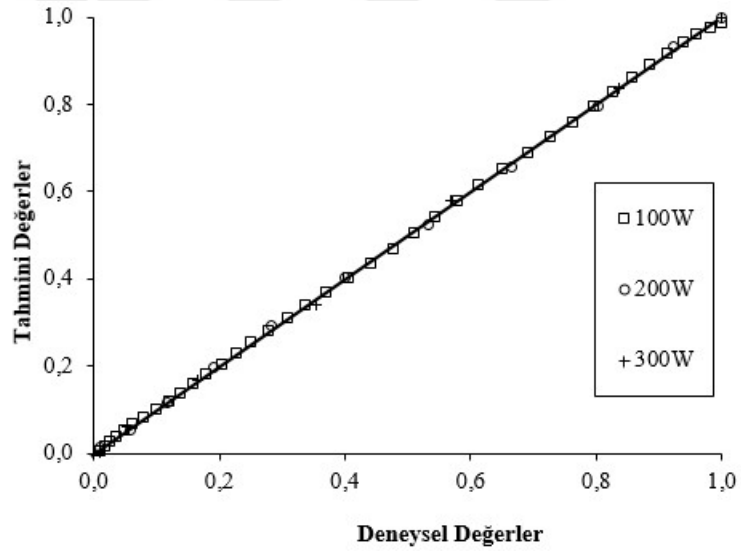


b)

**Şekil 4.14.** Farklı mikrodalga kurutma koşullarında kurutulan kültür mantarı örneklerinin deneysel nem oranı sonuçları ile en uygun modellerin ( a) Midilli ve ark. ve b) Page) nem oranı sonuçlarının karşılaştırılması



**Şekil 4.15.** Farklı mikrodalga kurutma koşullarında kurutulmuş kestane mantarı örneklerinin deneysel nem oranı sonuçları ile en uygun modelin nem oranı sonuçlarının karşılaştırılması

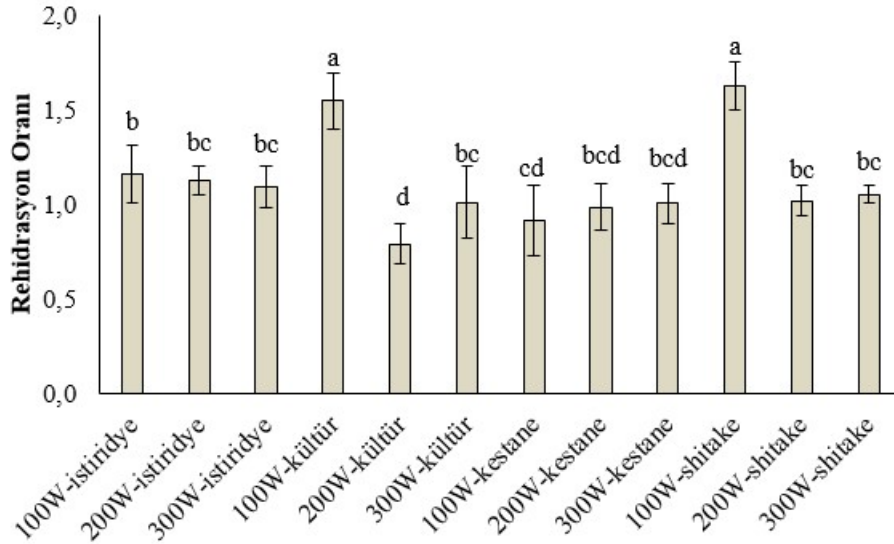


**Şekil 4.16.** Farklı mikrodalga kurutma koşullarında kurutulmuş shiitake mantarı örneklerinin deneysel nem oranı sonuçları ile en uygun modelin nem oranı sonuçlarının karşılaştırılması

#### 4.4. Mantar çeşitlerinin rehidrasyon oranının değişimi

Şekil 4.17’de farklı mikrodalga kurutma koşullarında kurutulmuş mantar çeşitlerinin rehidrasyon oranı sonuçları verilmiştir. Sonuçlar incelendiğinde 100, 200 ve 300 W mikrodalga uygulamalarıyla kurutulmuş istiridye mantarı örneklerinden sırasıyla 1,16, 1,13 ve 1,09 değerleri, kültür mantarı örneklerinden 1,55, 0,79 ve 1,01 değerleri, kestane mantarı örneklerinden 0,92, 0,99 ve 1,01 ve shiitake mantarı örneklerinden 1,53, 1,02 ve

1,05 rehidrasyon oranı değerleri elde edilmiştir. En yüksek rehidrasyon oranı değerlerinin 100 W mikrodalga gücünde kurutulmuş shiitake ve kültür mantarından elde edildiği Şekil 4.17’de görülmektedir. Bu orana daha yakın değerler 100, 200 ve 300W’da kurutulmuş istiridye mantarın da, 300W’da kurutulmuş kültür mantarın da, 200 ve 300W’da kurutulmuş shiitake mantarın da gözlemlenmiştir.

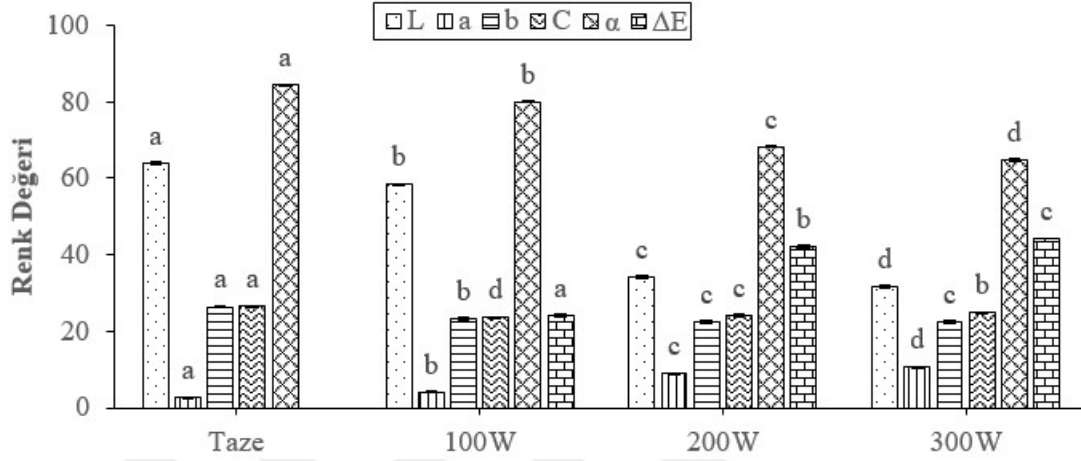


**Şekil 4.17.** Farklı kurutma koşullarında kurutulmuş mantar örneklerinin rehidrasyon oranı sonuçları

#### 4.5. Mantar çeşitlerinin renk analizi sonuçları

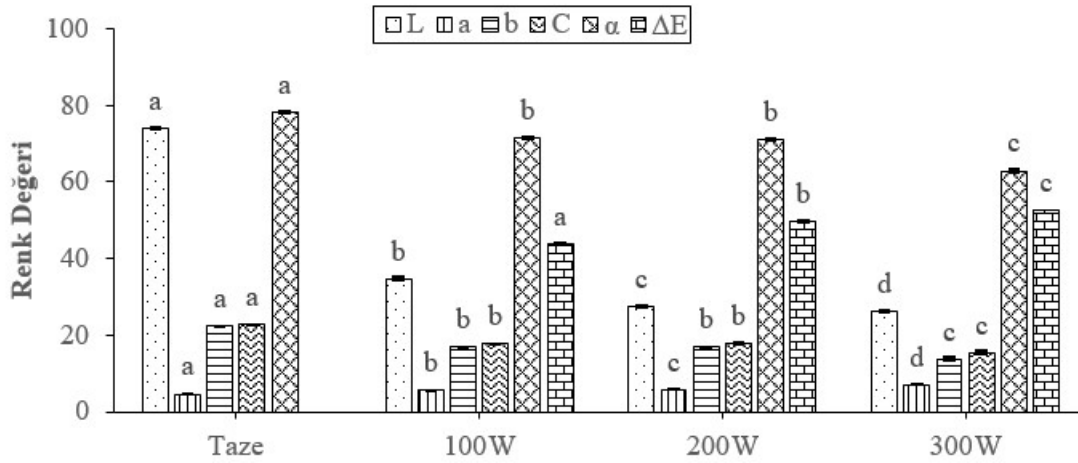
Taze ve farklı kurutma koşullarında kurutulmuş mantar çeşitlerinin renk parametreleri ( $L^*$ ,  $a^*$ ,  $b^*$ ,  $C$ ,  $\alpha^\circ$  ve  $\Delta E$ ) Şekiller 4.18-21’de verilmiştir. Şekil 4.18’deki sonuçlar incelendiğinde taze ve 100, 200 ve 300W mikrodalga gücünde kurutulmuş istiridye mantarı örneklerinin  $L^*$  (parlaklık) değerinin 31,812 ile 64,106 arasında değiştiği gözlemlenmiştir. Beklendiği gibi taze istiridye mantarının  $L^*$  değerine en yakın değer 100W mikrodalga gücünde kurutulmuş istiridye mantar örnekleri (58,406) olmuştur.  $a^*$  (renğin yeşilliği (-) ya da kırmızılığı (+)) değerinin taze istiridye mantar örneklerinde 2,61 iken, 100W mikrodalga uygulamasıyla kurutulmuş örnekler için 4,092; 200W için 8,968 ve 300W için 10,626 olarak tespit edilmiştir.  $b^*$  (renğin maviliği (-) ya da sarılığı (+)) değerinin 22,476 ile 26,432 arasında değiştiği gözlemlenmiştir. 200 ve 300W mikrodalga gücünde kurutulmuş örneklerin  $b^*$  değerlerinde istatistiksel olarak fark görülmemiştir ( $p>0,05$ ).  $L^*$ ,  $a^*$  ve  $b^*$  değerlerinin sonuçları ile kroma ( $C$ ), hue açısı ( $\alpha^\circ$ ), toplam renk değişimi ( $\Delta E$ ) değerleri hesaplanmıştır.  $C$  değeri en yüksek taze örneklerde, en düşük ise

100W mikrodalga gücünde kurutulmuş mantar örneklerinde görülmüştür. Hue açısı ( $\alpha^\circ$ ) en yüksek taze örneklerde en düşük 300W'da kurutulmuş örneklerde tespit edilmiştir. Renk değişimi ( $\Delta E$ ) 24,221-44,372 arasında değişmiş, en yüksek  $\Delta E$  değerinin ise 300W mikrodalga gücünde kurutulmuş örneklerde görülmüştür.



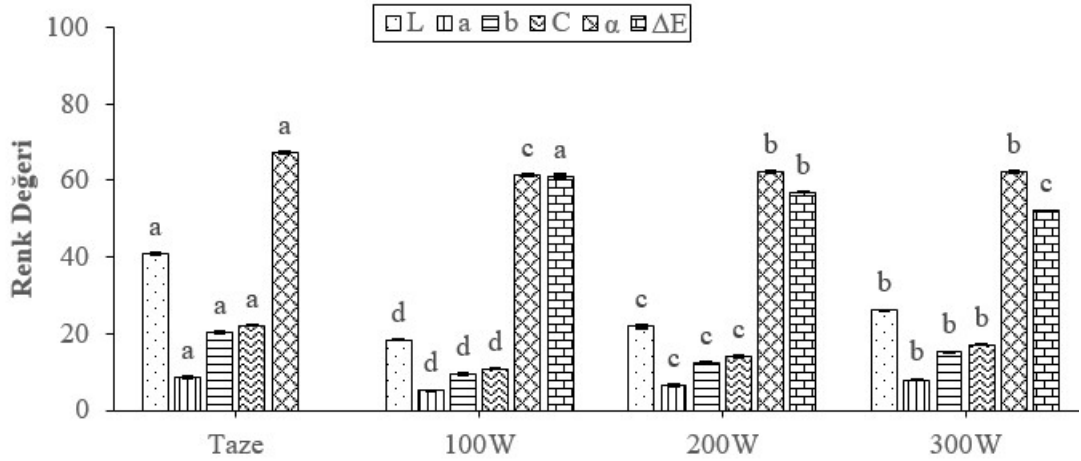
**Şekil 4.18.** Farklı kurutma koşullarında kurutulmuş istiridye mantarı örneklerinin renk değerleri sonuçları

Taze ve 100, 200 ve 300W mikrodalga gücünde kurutulmuş kültür mantarı örneklerinin renk değerleri sonuçları Şekil 4.19'da verilmiştir. Sonuçlar incelendiğinde  $L^*$  (parlaklık) değerinin taze üründe 73,990 iken, farklı mikrodalga güçlerine maruz kalmış mantar örneklerinde azalma gözlemlenmiştir. En düşük 300W'da kurutulmuş kültür mantarı örneklerinde 26,278 olduğu tespit edilmiştir.  $a^*$  değeri 4,616 ile 7,07 arasında değiştiği tespit edilmiştir.  $b^*$  değerinin 13,804 ile 22,254 arasında değiştiği görülse de 100 ve 200W'da kurutulmuş örneklerde istatistiksel olarak fark görülmemiştir ( $p>0,05$ ).  $L^*$ ,  $a^*$  ve  $b^*$  değerlerinin sonuçları ile  $C$  değeri hesaplanmış ve en yüksek (22,758) taze örneklerde, en düşük (15,510) ise 300W mikrodalga gücünde kurutulmuş mantar örneklerinde görülmüştür. 100 ve 200W'da kurutulmuş mantar örneklerinde istatistiksel fark olmadığı tespit edilmiştir ( $p>0,05$ ). Hue açısı ( $\alpha^\circ$ ) en yüksek taze örneklerde, en düşük 300W'da kurutulmuş örneklerde gözlemlense de 100 ve 200W'da kurutulmuş örneklerde istatistiksel fark görülmemiştir ( $p>0,05$ ). Renk değişimi ( $\Delta E$ ) en yüksek değişikliği 300W güç de kurutulmuş örneklerde göstermiştir. Sonuç olarak kültür mantarının taze örneklerinin renk parametrelerine en yakın değerler 100W mikrodalga gücünde kurutulmuş örneklerde gözlemlenmiştir.



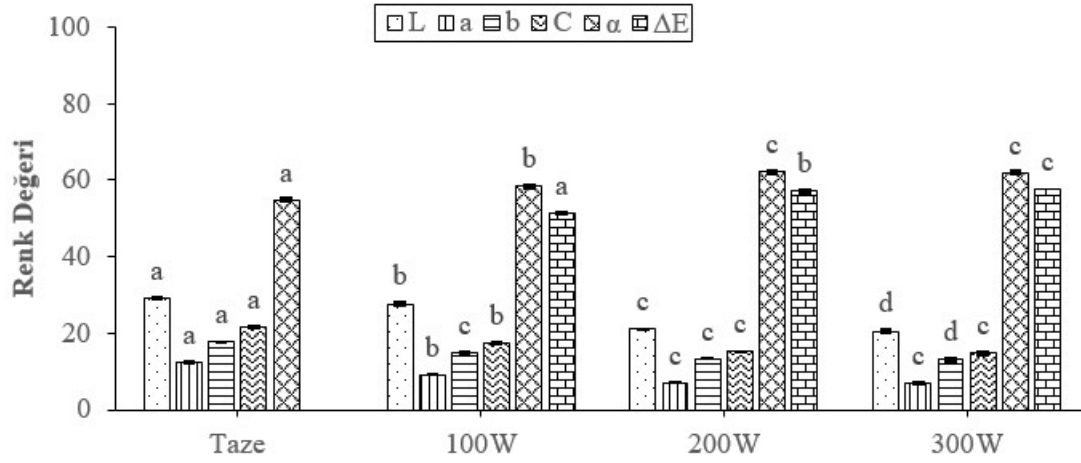
**Şekil 4.19.** Farklı kurutma koşullarında kurutulan kültür mantarı örneklerinin renk değerleri sonuçları

Farklı kurutma koşullarında kurutulan kestane mantarı örneklerinin renk değerleri sonuçları Şekil 4.20’de verilmiştir. Sonuçlarda görüldüğü üzere  $L^*$  (parlaklık) değerinin 18,370 ile 40,844 arasında değiştiği gözlemlenmiştir. En düşük  $L^*$  değeri 100W’da kurutulan kestane mantarı örneklerinde tespit edilmiştir.  $a^*$  değeri en yüksek olan taze örneğe en yakın 300W mikrodalga gücünde kurutulan kestane mantarında görülmüştür. En düşük  $a^*$  değeri 100W’da kurutulan örneklerde tespit edilmiştir. Farklı mikrodalga güçlerinde kurutulan kestane mantarı örneklerinin  $b^*$  değerinde de istatistiksel olarak fark görülmüştür ( $p < 0,05$ ). En yüksek  $b^*$  değeri (20,450) kestane mantarının taze örneklerinde, en düşük  $b^*$  değeri (9,466) ise kurutulan diğer mantar çeşitlerinden farklı olarak 100W mikrodalga güce maruz kalmış örneklerde gözlemlenmiştir. Bu değerlerinin sonuçları ile  $C$  değeri hesaplanmış ve bu değerlerin 22,198 ile 10,754 arasında değiştiği tespit edilmiştir. Taze ürünün  $C$  değerine en yakın değeri 300W mikrodalga gücünde kurutulan mantar örneklerinde görülmüştür.  $\alpha^\circ$  için en yüksek değer taze örneklerde en düşük 100W’da kurutulan örneklerde gözlemlense de 200 ve 300W’da kurutulan örneklerde istatistiksel fark görülmemiştir ( $p > 0,05$ ).  $\Delta E$  en yüksek değişikliği 100W güç de kurutulan örneklerde göstermiştir. Kestane mantarının taze örneklerine en yakın renk parametre değerleri 300W mikrodalga gücünde kurutulan örneklerde tespit edilmiştir. Yılmaz ve ark. (2015) yaptığı çalışmada farklı mikrodalga güçlerinde brokoli kurutmuştur. Yapılan kurutma sonrasında elde edilen  $L^*$ ,  $a^*$  ve  $b^*$  değerleri incelendiğinde 270 W mikrodalga gücü kullanılarak kurutulan örneklerin renk kalitelerinin daha iyi olduğu görülmüştür.



**Şekil 4.20.** Farklı kurutma koşullarında kurutulan kestane mantarı örneklerinin renk değerleri sonuçları

Şekil 4.21'deki farklı mikrodalga kurutma güçlerinde kurutulan shiitake mantarı örneklerinin renk değerleri incelendiğinde  $L^*$  (parlaklık) değeri en yüksek taze örneklerde, en düşük 300W'da kurutulan örneklerde bulunmuştur. Kurutulan shiitake mantar örneklerinin  $a^*$  değerlerinin taze örneklerin  $a^*$  değerlerine göre azaldığı gözlemlenmiştir. 200 ve 300W'da kurutulan ürünlerin  $a^*$  değerlerinde istatistiksel bir değişim olmadığı belirlenmiştir ( $p>0.05$ ).  $b^*$  değerleri 13,042 ile 17,690 arasında değişerek, en düşük 300W mikrodalga gücünde kurutulan mantar örneklerinde tespit edilmiştir.  $C$  değeri en yüksek taze örneklerde, en düşük ise 300W mikrodalga gücünde kurutulan mantar örneklerinde görülmüştür. Kurutulan shiitake mantar örneklerinin  $\alpha^\circ$  değerlerinde taze örneklerin  $\alpha^\circ$  değerlerine göre artış gözlemlenmiştir. 200 ve 300W'da kurutulan örneklerde istatistiksel fark görülmemiştir ( $p>0.05$ ). Renk değişimi ( $\Delta E$ ) 51,354 ile 57,663 arasında değişerek, en yüksek değer 300W güç de kurutulan örneklerde göstermiştir. Shiitake mantarının taze örneklerinin renk parametrelerine en yakın değerler 100W mikrodalga gücünde kurutulan örneklerde gözlemlenmiştir.



**Şekil 4.21.** Farklı kurutma koşullarında kurutulan shiitake mantarı örneklerinin renk değerleri sonuçları

Polatçı ve Taşova (2018) mikrodalga fırın ile yenidoğru meyvesini kurutmuş ve alınan sonuçlarda mikrodalga güç seviyesi arttıkça  $L^*$  değerlerinin azaldığını gözlemlemiştir. Bu sonuçlar yapılan tez çalışması sonuçları ile benzerlik göstermiştir. Çelen ve Kuş (2016) çalışmalarında ayva dilimlerini iki farklı mikrodalga gücünde (2000 ve 2800 W) kurutmuşlardır. Mikrodalga cihazında 0,175 m/dk bant hızında kurutulan ayva örneklerinin  $L^*$  ve  $b^*$  değerleri mikrodalga seviyesi arttıkça azaldığını tespit etmişlerdir. Bu sonuçlar yapılan çalışma ile paralellik göstermiştir.

## 5. SONUÇ

Bu çalışmada farklı mikrodalga güçleri ile kurutulan istiridye, kültür, kestane ve shiitake mantarlarının kurutma kinetikleri, renk değişimleri ve rehidrasyon oranı değerleri incelenmiştir. Buna ek olarak kurutma işlemlerinde en uygun ince tabaka modelini belirlemek için 10 farklı ince tabaka kurutma modeli deneysel verilere uygulanmıştır. Deneysel verilerde kullanılan tüm mantar çeşitleri için mikrodalga güç seviyesinin artması ile ürünlerin kuruma süresini azaldığı tespit edilmiştir. Farklı kurutma koşullarında kurutulan tüm mantar çeşitlerinin kuruma davranışlarını en iyi açıklayan modelin 300 W gücünde kurutulan kültür mantarı uygulanması dışında Midilli ve ark. Modeli olduğu belirlenmiştir. Kurutulan tüm mantar çeşitlerinin en yüksek  $\Delta E$  değerleri 100W mikrodalga gücüyle kurutulan örneklerden elde edilmiştir ( $p<0,05$ ). 100 W mikrodalga gücünden kurutulan kültür ve shiitake mantarlarının rehidrasyon oranı değerleri 200 ve 300 W gücünden kurutulan örneklerin rehidrasyon oranı değerleri ile istatistiksel bir fark gözlenmiştir ( $p<0,05$ ). Yapılan tez çalışmasında mikrodalga teknolojisinin renk korunumunun ve diğer kalite parametrelerinin önemli olduğu 4 farklı mantar çeşidinin kurutulması için uygulanabilecek bir kurutma yöntemi olabileceği görülmüştür.



## KAYNAKLAR

- Çat, A., Çomak, T., Çatal, M. 2018.** İstiridye mantarının (*Pleurotus ostreatus*) tohumluk misel üretimi üzerine bir ön çalışma. *Mediterranean Agricultural Sciences*, 31(1): 21-25.
- Aktas, T., Karabeyoglu, S. S., Akyildiz, A. 2015.** Zeytin Pirinasinin Mikrodalga Enerjisi Kullanılarak Kurutulması ve Uygun İnce Tabaka Modelinin Belirlenmesi/Drying of Prina Using Microwave Energy and Determination of Appropriate Thin Layer Drying Model. *Journal of Tekirdag Agricultural Faculty*, 12(2), 21.
- Albores, S., Pianzola, M. J., Soubes, M., Cerdeiras, M. P. 2006.** Biodegradation of agroindustrial wastes by *Pleurotus* spp for its use as ruminant feed. *Electronic Journal of Biotechnology*, 9(3): 0-0
- Arumuganathan, T., Manikantan, M. R., Rai, R. D., Anandakumar, S., Khare, V. 2009.** Mathematical modelling of drying kinetics of milky mushroom in a fluidized bed dryer. *International Agrophysics*, 23(1): 1-7.
- Bai, J. W., Xiao, H. W., Ma, H. L., Zhou, C. S. 2018.** Artificial neural network modeling of drying kinetics and color changes of ginkgo biloba seeds during microwave drying process. *Journal of Food Quality*, Special Issue:1-8.
- Bal, L. M., Naik, S. N., Satya, S., Kar, A. 2017.** Changes in tissue structure and physico-chemical quality characteristics of bamboo shoot slices during microwave drying process. *Journal of Food Measurement and Characterization*, 11(3): 1203-1209.
- Bengü, A. Ş., Yılmaz, H. Ç., Türkekul, İ., , Işık, H. 2019.** Doğadan toplanan ve kültürü yapılan *Pleurotus ostreatus* ve *Agaricus bisporus* mantarlarının toplam protein, vitamin ve yağ asidi içeriklerinin belirlenmesi. *Türk Tarım ve Doğa Bilimleri Dergisi*, 6(2): 222-229.
- Bhattacharya, M., Srivastav, P. P., Mishra, H. N. 2015.** Thin-layer modeling of convective and microwave-convective drying of oyster mushroom (*Pleurotus ostreatus*). *Journal of Food Science and Technology*, 52(4): 2013-2022.
- Birer, S. 1985.** Yemeklik mantarın beslenmemizdeki yeri ve değerlendirilmesi. *Beslenme ve Diyet Dergisi*, 14: 139-152.
- Bualuang, O., Onwude, D. I., Pracha, K. 2017.** Microwave drying of germinated corn and its effect on phytochemical properties. *Journal of the Science of Food and Agriculture*, 97(9): 2999-3004.
- Çelen, S., Kuş, S. 2016.** Mikrodalga enerjisinin ayva dilimlerinin kurutulmasına etkisi. *Ejovoc (Electronic Journal of Vocational Colleges)*, 6(3): 30-40.
- Dadalı, G. 2007.** Bamyaya ve ispanağın mikrodalga tekniği kullanılarak kurutulması, doku ve renk özelliklerinin incelenmesi ve modellenmesi. *Yüksek Lisans Tezi*, YTÜ Fen Bilimleri Enstitüsü, FBE Kimya Mühendisliği Anabilim Dalı, İstanbul
- Decareau, V.R. 1992.** Microwave science and technology. *Encyclopaedia of Food Science and Technology*, 3: 1772-1778.
- Demiray, E., Tulek, Y. 2014.** Drying characteristics of garlic (*Allium sativum* L.) slices in a convective hot air dryer. *Heat Mass Transfer*, 50(6): 779-786.
- Doğru, M. C. 2018.** High power magnetron design and electron emission characteristics. *Doktora tezi*, ODTÜ. Fen Bilimleri Enstitüsü, Elektrik ve Elektronik Anabilim Dalı, Ankara..
- Eliuz, E. A. E. 2019.** Cam kavanozda yetiştirilen shiitake (*Lentinula edodes*) mantarının bazı morfolojik özellikleri ve antibakteriyel performansı. *Mantar Dergisi*, 10(1): 1-7.

- Eren, E., Pekşen, A. 2016.** Status and future outlook of cultivated mushroom sector in Turkey. *Turkish Journal of Agriculture-Food Science and Technology*, 4(3): 189-196
- Evin, D. 2011.** Microwave drying and moisture diffusivity of white mulberry: Experimental and mathematical modeling. *Journal of Mechanical Science and Technology*, 25(10): 2711-2718
- Faal, S., Tavakoli, T., Ghobadian, B. 2015.** Mathematical modelling of thin layer hot air drying of apricot with combined heat and power dryer. *Journal of Food Science and Technology*, 52(5): 2950-2957
- Gölcü, M., Şen, F. 2014.** Mikrodalga ile ıslak viyolün kurutulabilirliğinin deneysel olarak belirlenmesi. *Pamukkale Üniversitesi Mühendislik Bilimleri Dergisi*, 20(4): 111-115.
- Gümüşderelioğlu, M., Kaynak, G. 2012.** Mikrodalgalar ve uygulamaları. *Bilim ve Teknik Dergisi*, 38-42.
- Güvenç, İ., Kaya, Y. 1996.** Erzurum'da sebze olarak değerlendirilen yöresel bazı bitkiler/Local wild plants used as vegetable in Erzurum. *Atatürk Üniversitesi Ziraat Fakültesi Dergisi*, 27(3): 369-374.
- Hazervazifeh, A., Moghaddam, P. A., Nikbakht, A. M. 2017.** Microwave dehydration of apple fruit: Investigation of drying efficiency and energy costs. *Journal of Food Process Engineering*, 40(3): 1.10.
- İzli, N. 2016.** Kayısının (*Prunus armeniaca* L.) konvektif, mikrodalga ve mikrodalga-konvektif yöntemleriyle kurutulması ve matematiksel modellenmesi. *Anadolu Tarım Bilimleri Dergisi*, 31(3): 375-384.
- Juhaimi, F. A., Özcan, M. M., Uslu, N. 2017.** The effect of microwave and conventional drying on antioxidant activity, phenolic compounds and mineral profile of date fruit (*Phoenix dactylifera* L.) flesh. *Journal of Food Measurement and Characterization*, 11(1): 58-63.
- Kalender, V. 2013.** Mikrodalga gücünün kurutma zamanı ve kurutma kalitesi üzerine etkisi, *Yüksek Lisans Tezi*, Pamukkale Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Makine Eğitimi Anabilim Dalı, Denizli.
- Karaaslan, S. 2008.** Sebze ve endüstri bitkilerinin mikrodalgayla kurutulması üzerine çalışmalar. *Doktora Tezi*, ÇÜ Fen Bilimleri Enstitüsü Tarım Makinaları Anabilim Dalı, Adana.
- Karaaslan, S. 2014.** Trabzon Hurmasının Mikrodalga ile Kurutulmasında Uygun Kuruma Modelinin Belirlenmesi. *SDÜ Ziraat Fakültesi Dergisi*, 9(1): 8-15.
- Karaaslan, S., Havuz, M. 2014.** Selection and Evaluation of Thin Layer Drying Models for Microwave Drying of Mushroom. *Türk Tarım ve Doğa Bilimleri Dergisi*, 1(Özel Sayı-2): 2057-2061.
- Karaaslan, S., Erdem, T., Sarı, M. 2016.** Microwave drying of quince slices. *SDU Journal of the Faculty of Agriculture/SDÜ Ziraat Fakültesi Dergisi*, 11(1): 27-33.
- Khaldi, Y., Tounsi, L., Balti, M. A., Kechaou, N. 2018.** Impact of microwave drying on sesame coats quality. *Journal of Food Process Engineering*, 41(7): 1-7.
- Kipcak, A. S. 2017.** Microwave drying kinetics of mussels (*Mytilus edulis*). *Research on Chemical Intermediates*, 43(3): 1429-1445.
- Kirk, P. 2011.** Index Fungorum. URL: <http://www.indexfungorum.org> (Erişim tarihi: 04 Ocak 2018).
- Konak, Ü. İ., Certel, M., Helhel, S. 2009.** Gıda sanayisinde mikrodalga uygulamaları. *Gıda Teknolojileri Elektronik Dergisi*, 4(3): 20-31.

- Kutlu, N., İŒci, A. 2016.** Kurutma yöntemlerinin kiraz domatesin kurutma karakteristikleri üzerine etkisi ve matematiksel modellemesi. *Gıda*, 41(4): 197-204.
- Metin, İ., Güngör, H., Çolak, Ö. F. 2013.** Ülkemizdeki bazı mantar ve mantar ürünlerinin dış ticareti üzerine bir araştırma ve küresel pazarlanmasına yönelik öneriler. *Mantar Dergisi*, 4(2): 1-9.
- Midilli A., Kucuk, H., Yapar, Z. 2002.** A new model for single layer drying. *Drying Technology*, 20(7): 1503-1513.
- Mortaş, H., Akbulut, G. (2016).** Mantar ve kanser: Olası adjuvan tedavi ajanı olarak mantar. *Beslenme ve Diyet Dergisi*, 44(3): 265-271.
- Mota, C. L., Luciano, C., Dias, A., Barroca, M. J., Guiné, R. P. F. 2010.** Convective drying of onion: Kinetics and nutritional evaluation. *Food and Bioprocesses Processing*, 88(2): 115-123.
- Mujaffar, S., Lee Loy, A. 2017.** The rehydration behavior of microwave-dried amaranth (*Amaranthus dubius*) leaves. *Food Science and Nutrition*, 5(3): 399-406.
- Murthy, T. P. K., Manohar, B. 2014.** Hot air drying characteristics of mango ginger: Prediction of drying kinetics by mathematical modelling and artificial neural network. *Journal of Food Science and Technology*, 51(12): 3712-3721.
- Nearing, M. M., Koch, I., Reimer, K. J. 2016.** Uptake and transformation of arsenic during the reproductive life stage of *Agaricus bisporus* and *Agaricus campestris*. *Journal of Environmental Sciences*, 49: 140-149
- Palamutçu, S., Dağ, N. 2009.** Fonksiyonel tekstiller I: elektromanyetik kalkanlama amaçlı tekstil yüzeyleri. *Tekstil Teknolojileri Elektronik Dergisi*, 3(1): 87-101
- Pekşen, A. (2013).** Kayın mantarı (*Pleurotus ostreatus*): Kütük yetiştiriciliği. *Samtim*, 41: 18-20.
- Polatçı, H., Taşova, M. 2018.** Mikrodalga fırın ile kurutulan yenidünya (*Eriobotrya japonica* L.) meyvesinin kuruma kinetiği ve kalitesinin belirlenmesi. *Anadolu Tarım Bilimleri Dergisi*, 33(2), 124-130.
- Saxena, J., Dash, K. K. 2015.** Drying kinetics and moisture diffusivity study of ripe Jackfruit. *International Food Research Journal*, 22(1): 414-420.
- Serdaroğlu, Ö. 2010.** Yenilebilir mantarların orman biyoçeşitliliğine katkısı ve sürdürülebilirlik, III. *Ulusal Karadeniz Ormancılık Kongresi*, 5:, 2037-2046.
- Soysal, Y. 2004.** Microwave drying characteristics of parsley. *Biosystems Engineering*, 89: 167-173.
- Sunjka, P. S., Orsat, V., Raghavan, G. S. V. 2008.** Microwave/vacuum drying of cranberries (*Vaccinium macrocarpon*). *American Journal of Food Technology*, 3(2): 100-108.
- Şimşek, M. 2018.** Bazı sebze ve meyvelerin mikrodalga kurutma davranışının deneysel araştırılması ve matematiksel modellenmesi. *Doktora Tezi*, Recep Tayyip Erdoğan Üniversitesi. Fen Bilimleri Enstitüsü, Makine Mühendisliği Anabilim Dalı, Rize.
- Taşkın, O., İzli, G., İzli, N. 2018.** Convective drying kinetics and quality parameters of european cranberrybush. *Tarım Bilimleri Dergisi – Journal of Agricultural Sciences*, 24(3): 349-358.
- Tian, Y., Zhao, Y., Huang, J., Zeng, H., Zheng, B. 2016.** Effects of different drying methods on the product quality and volatile compounds of whole shiitake mushrooms. *Food Chemistry*, 197: 714-722.
- Turp, G. Y., Boylu, M. 2018.** Tıbbi ve yenilebilir mantarlar ve et ürünlerinde kullanımı. *Yüzüncü Yıl Üniversitesi Tarım Bilimleri Dergisi*, 28(1): 144-153.

- Vega-Gálvez, A., Di Scala, K., Rodríguez, K., Lemus-Mondaca, R., Miranda, M., López, J., Perez-Won, M. 2009.** Effect of air-drying temperature on physico-chemical properties, antioxidant capacity, colour and total phenolic content of red pepper (*Capsicum annuum*, L. var. Hungarian). *Food Chemistry*, 117(4): 647-653.
- Yılmaz, F. M., Pınar, Ö. Z. E. R., Görgüç, A. 2018.** Mikrodalga teknolojisinin bitkisel dokulardan makro ve mikro bileşenlerin özütlenmesinde kullanımı. *Gıda*, 43(5): 765-775.
- Yılmaz, M. S. Y, Şakıyan Demirkol, Ö. T. D. 2015.** Brokolinin mikrodalga kurutma karakteristiklerinin belirlenmesi ve modellenmesi. *Doctora Tezi*, Ankara Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Gıda Mühendisliği Anabilim Dalı, Ankara.
- Yoğurtçu, H. 2014.** Mikrodalga fırında limon kurutma: kinetiği ve modellenmesi. *Fırat Üniversitesi Mühendislik Bilimleri Dergisi*, 26(1): 27-33
- Yoğurtçu, H. 2016.** Determination of drying kinetics of Tunceli garlic with microwave drying technique. *Tarım Bilimleri Dergisi — Journal of Agricultural Sciences*, 22: 237-248.
- Yoğurtçu, H. 2019.** Yanıt yüzey metodu kullanarak mikrodalga ile elma kurutmanın optimizasyonu. *Gazi Üniversitesi Mühendislik-Mimarlık Fakültesi Dergisi*, 34(3): 1365-1376.
- Yüksel, A. N., Oner, M. D., Bayram, M., Oner, M. E. 2018.** Mathematical modeling of packed bed and microwave drying of enriched couscous. *Journal of Food Measurement and Characterization*, 12(3): 1723-1733.
- Zhang, J., Li, M., Ding, Z., Cheng, J., Yang, S., Liu, X. 2019.** Microwave airflow drying of pecans at variable microwave power. *Journal of Food Process Engineering*, 42(1): 1-8.
- Zhang, M., Cui, S. W., Cheung, P. C. K., Wang, Q. 2007.** Antitumor polysaccharides from mushrooms: a review on their isolation process, structural characteristics and antitumor activity. *Trends in Food Science and Technology*, 18(1): 4-19.
- Zhao, Y., Wang, W., Xie, J., Zheng, B., Miao, S., Lo, Y. M., Zheng, Y., Zhuang, W., Tian, Y. 2017.** Microwave vacuum drying of lotus seeds: Effect of a single-stage tempering treatment on drying characteristics, moisture distribution, and product quality. *Drying Technology*, 35(13): 1561-1570.

## ÖZGEÇMİŞ

Adı Soyadı : Çinare HANMAMMADLI  
Doğum Yeri ve Tarihi : Azerbaycan, Sabirabad-15.12.1992  
Yabancı Dil : İngilizce

Eğitim Durumu  
Lise : N.Gencevi adına orta mektep  
Lisans : Azerbaycan Teknik Üniversitesi Elektronika  
Mühendisliği  
Yüksek Lisans :Bursa Uludağ Üniversitesi Ziraat Fakültesi Biyosistem  
Mühendisliği

İletişim (e-posta) : e.cinare@mail.ru

