

BAZI TARIMSAL ÜRÜNLERİN MİKRODALGA KONVEKTİF KURUTMA  
YÖNTEMİYLE İNCE TABAKA KURUTMA KURAMINA GÖRE  
KURUTULMASINDA KURUTMA PARAMETRELERİNİN BELİRLENMESİ

**Nazmi İZLİ**



T.C.  
ULUDAĞ ÜNİVERSİTESİ  
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

BAZI TARIMSAL ÜRÜNLERİN MİKRODALGA KONVEKTİF KURUTMA  
YÖNTEMİYLE İNCE TABAKA KURUTMA KURAMINA GÖRE  
KURUTULMASINDA KURUTMA PARAMETRELERİNİN BELİRLENMESİ

**Nazmi İZLİ**

Doç.Dr. Eşref IŞIK  
(Danışman)

DOKTORA TEZİ  
TARIM MAKİNALARI ANABİLİM DALI

BURSA-2012  
**Her Hakkı Saklıdır**

## TEZ ONAYI

Nazmi İzli tarafından hazırlanan “Bazı Tarımsal Ürünlerin Mikrodalga Konvektif Kurutma Yöntemiyle İnce Tabaka Kurutma Kuramına Göre Kurutulmasında Kurutma Parametrelerinin Belirlenmesi” adlı tez çalışması aşağıdaki jüri tarafından oybirliği/oy çokluğu ile Uludağ Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Tarım Makinaları Anabilim Dalı’nda **DOKTORA TEZİ** olarak kabul edilmiştir.

**Danışman:** Doç. Dr. Eşref IŞIK



**Başkan:** Doç. Dr. Eşref IŞIK  
Uludağ Üniversitesi Ziraat Fakültesi  
Tarım Makinaları Anabilim Dalı



**Üye:** Prof. Dr. Cengiz ÖZARSLAN  
Adnan Menderes Üniversitesi Ziraat Fakültesi  
Tarım Makinaları Anabilim Dalı



**Üye:** Prof. Dr. İlhan TURGUT  
Uludağ Üniversitesi Ziraat Fakültesi  
Tarla Bitkileri Anabilim Dalı



**Üye:** Doç. Dr. Ali VARDAR  
Uludağ Üniversitesi Ziraat Fakültesi  
Tarım Makinaları Anabilim Dalı



**Üye:** Doç. Dr. Halil ÜNAL  
Uludağ Üniversitesi Ziraat Fakültesi  
Tarım Makinaları Anabilim Dalı



**Yukarıdaki sonucu onaylarım**  
**Prof. Dr. Kadri ARSLAN**  
**Enstitü Müdürü**

.././....

**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.**

.././....  
Nazmi İZLİ

## ÖZET

Doktora Tezi

BAZI TARIMSAL ÜRÜNLERİN MİKRODALGA KONVEKTİF KURUTMA  
YÖNTEMİYLE İNCE TABAKA KURUTMA KURAMINA GÖRE  
KURUTULMASINDA KURUTMA PARAMETRELERİNİN BELİRLENMESİ

**Nazmi İZLİ**

Uludağ Üniversitesi  
Fen Bilimleri Enstitüsü  
Tarım Makinaları Anabilim Dalı

**Danışman:** Doç. Dr. Eşref IŞIK

Bu çalışmanın amacı barbunya, domates, mantar ve patateslerin kurutma karakteristiklerini belirlemek ve konvektif, mikrodalga ve mikrodalga-konvektif kurutma yöntemleri için en iyi ince tabaka kurutma modelini seçmektir. Bu amaç için, Henderson ve Pabis, Newton, Page, Geliştirilmiş Page, Logaritmik, İki Terimli, Wang ve Singh, Difüzyon Yaklaşımı, Midilli ve İki Terimli Ekspansiyel modelleri deney sonuçlarını analiz etmek için kullanılmıştır. Ayrıca farklı sıcaklıklar ve mikrodalga güçleriyle kurutulan deney örneklerinin modellenmesi için yeni bir ince tabaka kurutma modeli geliştirilmiştir. Yeni model Midilli ve Wang ve Singh modellerinin bir kombinasyonu şeklindedir. Bu modellerin performansları ki-kare ( $\chi^2$ ), hataların karelerinin karekök ortalaması (RMSE) ve belirtme katsayısı ( $R^2$ )'na göre karşılaştırılmıştır. İncelenen kurutma modelleri arasında, deneylerin çoğunda geliştirilen model barbunya, domates, mantar ve patateslerin kurutma davranışlarının tanımlanması için en iyi model olarak bulunmuştur. Sonuçlar göstermiştir ki, artan kurutma hava sıcaklığı ve mikrodalga güç seviyeleri daha kısa kurutma süresine neden olmuş ve kurutma işlemi azalan periyotta gerçekleşmiştir. Çoğu deneylerde bu sonuçlar kısa bir ısınma periyodundan sonra belirlenmiştir. Kullanılan kurutma yöntemleri arasında, mikrodalga-konvektif kurutma yöntemi önemli ölçüde daha yüksek kuruma hızı ve daha fazla nem uzaklaştırılması sağlamıştır. Mikrodalga-konvektif birleşimi kurutma hem konvektif hem de mikrodalga yöntemleriyle karşılaştırıldığında gereken kurutma süresini azaltmıştır. Ayrıca bu çalışmada, taze ve kurutulan ürünlerin renk ve yapısal değişiklikleri incelenmiştir. Tüm kurutma şartları için taze örneklerle en yakın sonuçlar 50°C sıcaklıkta kurutulan örneklerden elde edilmiştir. Tüm kurutma uygulamaları taze örneklerle karşılaştırıldıklarında ürünlerin mikroyapılarında farklı fiziksel değişikliklere neden olduğunu taramalı elektron mikroskobu görüntüleri ortaya çıkarmıştır. Daha yüksek sıcaklıklar ve mikrodalga güçleri örneklerin mikroyapılarına daha büyük zararlara sebebiyet vermiştir.

**Anahtar Kelimeler:** Mikrodalga kurutma, konvektif kurutma, ince tabaka, renk, mikroyapı

**2012, xiv + 160 sayfa.**

## ABSTRACT

PhD Thesis

### DETERMINATION OF THE DRYING PARAMETERS OF SOME AGRICULTURAL PRODUCTS USING THIN LAYER DRYING THEORY WITH MICROWAVE CONVECTIVE DRYING METHOD

**Nazmi IZLI**

Uludag University  
Graduate School of Natural and Applied Sciences  
Department of Agricultural Machinery

**Supervisor:** Assoc. Prof. Dr. Eşref IŞIK

The objectives of this study were to determine the drying characteristics of barbunya beans, tomatoes, mushrooms and potatoes and to select the best thin layer drying model for convective, microwave and combined microwave-convective drying methods. For this purpose, Henderson and Pabis, Newton, Page, Modified Page, Logarithmic, Two Term, Wang and Singh, Diffusion Approach, Midilli and Two Term Exponential models have been used to analyse the test results. Also, a new thin layer model for modeling the drying of test samples with different temperatures and microwave powers was developed. The new model was a combination of the Midilli and Wang and Singh drying model. The performances of these models have been compared according to three statistical parameters, i.e. reduced chi-square ( $\chi^2$ ), root mean square error (RMSE) and coefficient of determination ( $R^2$ ). Among the drying models investigated, the new model in most of the experiments was found to be the best model for describing the drying behavior of barbunya beans, tomatoes, mushrooms and potatoes. The results showed that increasing the drying air temperature and microwave power level caused shorter drying times and drying process occurred in falling period. In the most experiments, these results were determined after a very short warming-up. Among all the drying methods, microwave-convective drying method provided in a significantly higher drying rate and more moisture removal. Combined microwave-convective drying was decreased the drying time required when compared to drying with both convective and microwave methods. The drying time was decreased with increasing drying air temperatures and microwave levels. Additionally, in this study, color and structural changes of fresh and dried samples were investigated. At all drying conditions, the closest values to the colour of fresh samples was obtained from samples dried at 50°C temperature. Scanning electron microscope images revealed that the applications of all drying led to different physical changes in product microstructure, compared to fresh samples. A higher temperature and microwave power caused greater damage to the microstructure of samples.

**Keywords:** Microwave drying, convective drying, thin layer, color, microstructure

**2012, xiv + 160 pages.**

## TEŞEKKÜR

Bu tez çalışması sırasında, bilgi ve tecrübesiyle bana her zaman destek olan danışman hocam Doç. Dr. Eşref IŞIK'a, tez izleme komitemde bulunup değerli fikirleriyle katkıda bulunan Prof. Dr. İlhan TURGUT ve Doç. Dr. Ali VARDAR'a, tez çalışmama maddi destek sağlayan Uludağ Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projeleri birimine, tez çalışmalarımın bir kısmını yurt dışında tamamlamama olanak sağlayan Yüksek Öğretim Kurulu'na, Yurtdışında çalışmalarımda bana büyük destek sağlayan Prof. Dr. Sunduram Gunasekaran ve Kiran Mohan Desai'ye, deneylerimde bana yardımcı olan değerli arkadaşlarım Arş. Gör. Gökçen YILDIZ, Orhan Alp ATAY, Ahmet MADEN, Çağlar YILDIRIM, Hakan ALIOĞLU ve Özgün ÖZTÜRK'e en içten duygularıyla teşekkür ederim.

Nazmi İzli

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

## İÇİNDEKİLER

	Sayfa
ÖZET	i
ABSTRACT	ii
TEŞEKKÜR	iii
SİMGE ve KISALTMALAR DİZİNİ	vi
ŞEKİLLER DİZİNİ	viii
ÇİZELGELER DİZİNİ	xiii
1. GİRİŞ.....	1
2. KAYNAK ARAŞTIRMASI	4
2.1. Kurutmayla İlgili Teorik Bilgiler.....	4
2.1.1. Tanımlar.....	4
2.1.2. Kuruma sırasında meydana gelen değişimler.....	5
2.1.2.1. Kurumanın statığı.....	5
2.1.2.2. Kurumanın kinematığı .....	6
2.1.2.2.1. Isınma evresi.....	8
2.1.2.2.2. Sabit hızla kuruma evresi .....	8
2.1.2.2.3. Azalan hızla kuruma evresi.....	8
2.1.3. Kuruma sırasında ısı ve kütle iletimi .....	9
2.1.4. İnce tabaka kurutma kuramı .....	10
2.1.5. Kurutucuların sınıflandırılması.....	10
2.2. Mikrodalga Teknolojisi .....	12
2.2.1. Mikrodalga fırının geliştirilmesi.....	12
2.2.2. Mikrodalga kurutma yöntemi.....	13
2.2.3. Mikrodalga kullanım alanları.....	14
2.2.4. Mikrodalga kurutmanın avantajları.....	14
2.2.5. Mikrodalga kurutmanın dezavantajları.....	15
2.3. Deneylerde Kullanılan Ürünler .....	15
2.3.1. Barbunya.....	15
2.3.2. Domates.....	16
2.3.3. Mantar.....	18
2.3.4. Patates.....	19
2.4. Önceki Çalışmalar.....	20
3. MATERYAL ve YÖNTEM.....	35
3.1. Materyal.....	35
3.1.1. Renk ölçüm cihazı.....	36
3.1.2. Taramalı elektron mikroskobu.....	37
3.2. Yöntem.....	38
3.2.1. Nem içeriğinin hesaplanması .....	38



3.2.2. Nem oranının hesaplanması.....	38
3.2.3. Kuruma hızının hesaplanması.....	39
3.2.4. Kuruma eğrilerinin matematiksel modellenmesi.....	39
3.2.4.1. Yeni bir model geliştirme çalışması.....	42
3.2.5. İstatistiksel değerlendirmeler.....	42
4. BULGULAR ve TARTIŞMA.....	44
4.1. Barbunya Kurutma.....	44
4.1.1. Barbunya ürününün nem içeriği değişimi .....	44
4.1.2. Barbunya ürününün kuruma hızı değişimi.....	45
4.1.3. Barbunya ürününün kuruma eğrilerinin modellenmesi.....	47
4.1.4. Barbunya ürününün renk analiz sonuçları.....	56
4.1.5. Barbunya ürününün mikroyapı analiz sonuçları .....	58
4.2. Domates Kurutma.....	61
4.2.1. Domates ürününün nem içeriği değişimi .....	61
4.2.2. Domates ürününün kuruma hızı değişimi.....	64
4.2.3. Domates ürününün kuruma eğrilerinin modellenmesi.....	68
4.2.4. Domates ürününün renk analiz sonuçları.....	84
4.2.5. Domates ürününün mikroyapı analiz sonuçları .....	86
4.3. Mantar Kurutma.....	89
4.3.1. Mantar ürününün nem içeriği değişimi.....	89
4.3.2. Mantar ürününün kuruma hızı değişimi .....	93
4.3.3. Mantar ürününün kuruma eğrilerinin modellenmesi.....	96
4.3.4. Mantar ürününün renk analiz sonuçları.....	113
4.3.5. Mantar ürününün mikroyapı analiz sonuçları .....	115
4.4. Patates Kurutma.....	118
4.4.1. Patates ürününün nem içeriği değişimi .....	118
4.4.2. Patates ürününün kuruma hızı değişimi.....	122
4.4.3. Patates ürününün kuruma eğrilerinin modellenmesi.....	125
4.4.4. Patates ürününün renk analiz sonuçları.....	140
4.4.5. Patates ürününün mikroyapı analiz sonuçları .....	142
5. SONUÇ .....	145
KAYNAKLAR.....	150
ÖZGEÇMİŞ.....	159

## SİMGELER ve KISALTMALAR DİZİNİ

Simgeler	Açıklamalar
a, b, c ve n	Kuruma modelinin sabit sayıları
a*	Rengin kırmızılığı (+) ya da yeşilliği (-)
b*	Rengin sarılığı (+) ya da maviliği (-)
C	Renk kroma değeri
dt	Kuruma zamanı (dakika)
k <sub>0</sub>	Kinetik sabit (dak <sup>-1</sup> )
k <sub>1</sub>	Kinetik sabit (dak <sup>-1</sup> )
L*	Parlaklık
m	Numunenin ağırlığı (g)
M <sub>e</sub>	Denge anındaki nem içeriği (g su. g kuru madde <sup>-1</sup> )
M <sub>o</sub>	Başlangıçtaki nem içeriği (g su. g kuru madde <sup>-1</sup> )
M <sub>t</sub>	Herhangi bir t anındaki nem içeriği (g su. g kuru madde <sup>-1</sup> )
M <sub>t+dt</sub>	t + dt anındaki nem içeriği (g su. g kuru madde <sup>-1</sup> )
MR	Nem oranı (birimsiz)
MR <sub>exp,i</sub>	i . Deneysel nem oranı
MR <sub>pre,i</sub>	i . Tahmin edilen nem oranı
N	Gözlemlenen deneysel veri adedi
N <sub>d</sub>	Ürünün denge nemi (%)
N <sub>dk</sub>	Ürünün erişebileceği en küçük denge nemi (%)
N <sub>ds</sub>	Ürünün erişebileceği en yüksek denge nemi (%)
P <sub>b</sub>	Nemli havadaki su buharının kısmi basıncı (Pa, mmHg)
P' <sub>b</sub>	Havanın yağ termometre sıcaklığındaki su buharının kısmi buhar basıncı (Pa, mmHg)
P <sub>ü</sub>	Ürünün yüzeyinde bulunan suyun buhar basıncı (Pa, mmHg)
R <sup>2</sup>	Belirtme katsayısı
RMSE	Hataların karelerinin karekök ortalaması
t	Zaman (dakika)
T	Sıcaklık (°C)
α	Hue açısı (°)
χ <sup>2</sup>	Ki-kare
Ø	Bağıl nem (%)

**Kısaltmalar****Açıklamalar**

AHE	Azalan Hızla Kuruma Evresi
BKN	Birinci Kritik Nokta
DBN	Denge Bağlı Nemi
FAO	Gıda ve Tarım Organizasyonu
IE	Isınma Evresi
İKN	İkinci Kritik Nokta
<i>KM</i>	Numunenin İçerdiği Kuru Madde Miktarı (g)
SHE	Sabit Hızla Kuruma Evresi

## ŞEKİLLER DİZİNİ

	<b>Sayfa</b>
Şekil 2.1. Sorpsiyon eğrisinin kurutmanın statiji açısından anlamı.....	6
Şekil 2.2. Kurumanın kinetik eğrileri.....	7
Şekil 2.3. Yıllar bazında Türkiye ve Dünya mantar üretim değerleri.....	19
Şekil 3.1. Mikrodalga-konvektif kurutma fırınının genel görünüşü.....	35
Şekil 4.1. Farklı mikrodalga güçleri ve sıcak hava koşullarıyla kurutulan barbunya örneklerinin nem içeriğinin zaman ile değişimi.....	45
Şekil 4.2. Konvektif ( $\Delta 50^{\circ}\text{C}$ ve $-75^{\circ}\text{C}$ ), mikrodalga ( $\square 90\text{W}$ ve $\diamond 160\text{W}$ ) ve mikrodalga-konvektif kombinasyonu ( $\times 90\text{W}-50^{\circ}\text{C}$ , $+ 90\text{W}-75^{\circ}\text{C}$ , $* 160\text{W}-50^{\circ}\text{C}$ ve $\diamond 160\text{W}-75^{\circ}\text{C}$ ) yöntemleriyle kurutulan barbunya örneklerinin kuruma hızlarının nem içerikleri ile değişimi.....	46
Şekil 4.3. Farklı mikrodalga güçleri ve sıcak hava koşullarıyla kurutulan barbunya örneklerinin deneysel nem oranı değerleri ile Midilli modelinden elde edilen tahmini nem oranı değerlerinin zamanla değişimi.....	53
Şekil 4.4. Farklı mikrodalga güçleri ve sıcak hava koşullarıyla kurutulan barbunya örneklerinin deneysel nem oranı değerleri ile geliştirilen modelden elde edilen tahmini nem oranı değerlerinin zamanla değişimi.....	54
Şekil 4.5. Farklı mikrodalga güçleri ve sıcak hava koşullarıyla kurutulan barbunya örneklerinin deneysel nem oranı değerleri ile Midilli modelinden elde edilen tahmini nem oranı değerlerinin karşılaştırılması.....	55
Şekil 4.6. Farklı mikrodalga güçleri ve sıcak hava koşullarıyla kurutulan barbunya örneklerinin deneysel nem oranı değerleri ile geliştirilen modelden elde edilen tahmini nem oranı değerlerinin karşılaştırılması.....	56
Şekil 4.7. Taze barbunya örneğinin taramalı elektron mikroskobu görüntüleri.	59
Şekil 4.8. Konvektif ( $50^{\circ}\text{C}$ (a) ve $75^{\circ}\text{C}$ (b)) yöntemle kurutulmuş barbunya örneklerinin taramalı elektron mikroskobu görüntüleri.....	59
Şekil 4.9. Mikrodalga ( $90\text{W}$ (a) ve $160\text{W}$ (b)) yöntemiyle kurutulmuş barbunya örneklerinin taramalı elektron mikroskobu görüntüleri.....	59
Şekil 4.10. Mikrodalga-konvektif ( $90\text{W}-50^{\circ}\text{C}$ (a), $90\text{W}-75^{\circ}\text{C}$ (b), $160\text{W}-50^{\circ}\text{C}$ (c) ve $160\text{W}-75^{\circ}\text{C}$ (d)) kombinasyonu yöntemiyle kurutulmuş barbunya örneklerinin taramalı elektron mikroskobu görüntüleri.....	60
Şekil 4.11. Farklı sıcaklıklarla kurutulan domates örneklerinin nem içeriklerinin zamanla değişimi.....	61
Şekil 4.12. Farklı mikrodalga güçleriyle kurutulan domates örneklerinin nem içeriklerinin zamanla değişimi.....	62
Şekil 4.13. Farklı mikrodalga-konvektif kombinasyonlarıyla kurutulan domates örneklerinin nem içeriklerinin zamanla değişimi .....	63
Şekil 4.14. Konvektif ( $\Delta 50^{\circ}\text{C}$ ve $\diamond 75^{\circ}\text{C}$ ) kurutma yöntemiyle kurutulan domates örneklerinin kuruma hızlarının nem içerikleriyle değişimi..	65
Şekil 4.15. Mikrodalga ( $\diamond 90\text{W}$ , $\Delta 160\text{W}$ , $\square 350\text{W}$ ve $\diamond 500\text{W}$ ) yöntemiyle kurutulan domates örneklerinin kuruma hızlarının nem içerikleriyle değişimi.....	66

Şekil 4.16.	Mikrodalga-konvektif kombinasyonu ( $\diamond 90W-50^{\circ}C$ , $\triangle 90W-75^{\circ}C$ , $\square 160W-50^{\circ}C$ ve $\diamond 160W-75^{\circ}C$ ) yöntemiyle kurutulan domates örneklerinin kuruma hızlarının nem içerikleriyle değişimi.....	67
Şekil 4.17.	Farklı sıcak hava koşullarıyla kurutulan domates örneklerinin deneysel nem oranı değerleri ile Midilli modelinden elde edilen tahmini nem oranı değerlerinin zamanla değişimi.....	74
Şekil 4.18.	Farklı sıcak hava koşullarıyla kurutulan domates örneklerinin deneysel nem oranı değerleri ile geliştirilen modelden elde edilen tahmini nem oranı değerlerinin zamanla değişimi.....	75
Şekil 4.19.	Farklı mikrodalga güçleriyle kurutulan domates örneklerinin deneysel nem oranı değerleri ile Midilli modelinden elde edilen tahmini nem oranı değerlerinin zamanla değişimi.....	76
Şekil 4.20.	Farklı mikrodalga güçleriyle kurutulan domates örneklerinin deneysel nem oranı değerleri ile geliştirilen modelden elde edilen tahmini nem oranı değerlerinin zamanla değişimi.....	77
Şekil 4.21.	Mikrodalga-konvektif kombinasyonu kurutma yöntemiyle kurutulan domates örneklerinin deneysel nem oranı değerleri ile Wang ve Singh ve Midilli modellerinden elde edilen tahmini nem oranı değerlerinin zamanla değişimi.....	78
Şekil 4.22.	Mikrodalga-konvektif kombinasyonu kurutma yöntemiyle kurutulan domates örneklerinin deneysel nem oranı değerleri ile geliştirilen modelden elde edilen tahmini nem oranı değerlerinin zamanla değişimi.....	79
Şekil 4.23.	Farklı sıcak hava koşullarıyla kurutulan domates örneklerinin deneysel nem oranı değerleri ile Midilli modelinden elde edilen tahmini nem oranı değerlerinin karşılaştırılması.....	80
Şekil 4.24.	Farklı mikrodalga güçleriyle kurutulan domates örneklerinin deneysel nem oranı değerleri ile Midilli modelinden elde edilen tahmini nem oranı değerlerinin karşılaştırılması.....	81
Şekil 4.25.	Farklı mikrodalga-konvektif kombinasyonlarıyla kurutulan domates örneklerinin deneysel nem oranı değerleri ile Midilli modelinden elde edilen tahmini nem oranı değerlerinin karşılaştırılması.....	81
Şekil 4.26.	Mikrodalga-konvektif kombinasyonu kurutma yöntemiyle kurutulan domates örneklerinin deneysel nem oranı değerleri ile Wang ve Singh modelinden elde edilen tahmini nem oranı değerlerinin karşılaştırılması.....	82
Şekil 4.27.	Farklı sıcaklıklarla kurutulan domates örneklerinin deneysel nem oranı değerleri ile geliştirilen modelden elde edilen tahmini nem oranı değerlerinin zamanla karşılaştırılması.....	82
Şekil 4.28.	Farklı mikrodalga güçleriyle kurutulan domates örneklerinin deneysel nem oranı değerleri ile geliştirilen modelden elde edilen tahmini nem oranı değerlerinin karşılaştırılması.....	83
Şekil 4.29.	Farklı mikrodalga-konvektif kombinasyonlarıyla kurutulan domates örneklerinin deneysel nem oranı değerleri ile geliştirilen modelden elde edilen tahmini nem oranı değerlerinin karşılaştırılması.....	83

Şekil 4.30.	Konvektif (50°C (a) ve 75°C (b)) yöntemle kurutulmuş domates örneklerinin taramalı elektron mikroskobu görüntüleri.....	87
Şekil 4.31.	Mikrodalga (90W (a), 160W (b), 350W (c), 500W (d)) yöntemiyle kurutulmuş domates örneklerinin taramalı elektron mikroskobu görüntüleri.....	87
Şekil 4.32.	Mikrodalga-konvektif (90W-50°C (a), 90W-75°C (b), 160W-50°C (c) ve 160W-75°C (d)) kombinasyonu yöntemiyle kurutulmuş domates örneklerinin taramalı elektron mikroskobu görüntüleri.....	88
Şekil 4.33.	Farklı sıcaklıklarla kurutulan mantar örneklerinin nem içeriklerinin zamanla değişimi.....	90
Şekil 4.34.	Farklı mikrodalga güçleriyle kurutulan mantar örneklerinin nem içeriklerinin zamanla değişimi.....	91
Şekil 4.35.	Farklı mikrodalga-konvektif kombinasyonlarıyla kurutulan mantar örneklerinin nem içeriklerinin zamanla değişimi.....	92
Şekil 4.36.	Konvektif (Δ50°C ve ◊75°C) kurutma yöntemiyle kurutulan mantar örneklerinin kuruma hızlarının nem içerikleriyle değişimi.....	93
Şekil 4.37.	Mikrodalga (◊90W, Δ160W, □350W ve ◊500W) yöntemiyle kurutulan mantar örneklerinin kuruma hızlarının nem içerikleriyle değişimi.....	94
Şekil 4.38.	Mikrodalga-konvektif kombinasyonu (◊90W-50°C, Δ90W-75°C, □160W-50°C ve ◊160W-75°C) yöntemiyle kurutulan mantar örneklerinin kuruma hızlarının nem içerikleriyle değişimi.....	95
Şekil 4.39.	Farklı sıcaklıklarla kurutulan mantar örneklerinin deneysel nem oranı değerleri ile Difüzyon Yaklaşımı ve Logaritmik modellerinden elde edilen tahmini nem oranı değerlerinin zamanla değişimi.....	102
Şekil 4.40.	Farklı sıcaklıklarla kurutulan mantar örneklerinin deneysel nem oranı değerleri ile geliştirilen modelden elde edilen tahmini nem oranı değerlerinin zamanla değişimi.....	103
Şekil 4.41.	Farklı mikrodalga güçleriyle kurutulan mantar örneklerinin deneysel nem oranı değerleri ile Midilli modelinden elde edilen tahmini nem oranı değerlerinin zamanla değişimi.....	104
Şekil 4.42.	Farklı mikrodalga güçleriyle kurutulan mantar örneklerinin deneysel nem oranı değerleri ile geliştirilen modelden elde edilen tahmini nem oranı değerlerinin zamanla değişimi.....	105
Şekil 4.43.	Farklı mikrodalga-konvektif kombinasyonlarıyla kurutulan mantar örneklerinin deneysel nem oranı değerleri ile Logaritmik ve Midilli modellerinden elde edilen tahmini nem oranı değerlerinin zamanla değişimi.....	106
Şekil 4.44.	Farklı mikrodalga-konvektif kombinasyonlarıyla kurutulan mantar örneklerinin deneysel nem oranı değerleri ile geliştirilen modelden elde edilen tahmini nem oranı değerlerinin zamanla değişimi.....	107
Şekil 4.45.	Konvektif kurutma yöntemiyle kurutulan mantar örneklerinin deneysel nem oranı değerleri ile Difüzyon Yaklaşımı modelinden elde edilen tahmini nem oranı değerlerinin karşılaştırılması.....	108
Şekil 4.46.	Konvektif kurutma yöntemiyle kurutulan mantar örneklerinin deneysel nem oranı değerleri ile Logaritmik modelinden elde edilen tahmini nem oranı değerlerinin karşılaştırılması.....	109

Şekil 4.47.	Farklı mikrodalga güçleriyle kurutulan mantar örneklerinin deneysel nem oranı değerleri ile Midilli modelinden elde edilen tahmini nem oranı değerlerinin karşılaştırılması.....	109
Şekil 4.48.	Mikrodalga-konvektif kombinasyonu kurutma yöntemiyle kurutulan mantar örneklerinin deneysel nem oranı değerleri ile Logaritmik modelinden elde edilen tahmini nem oranı değerlerinin karşılaştırılması.....	110
Şekil 4.49.	Farklı mikrodalga-konvektif kombinasyonlarıyla kurutulan mantar örneklerinin deneysel nem oranı değerleri ile Midilli modelinden elde edilen tahmini nem oranı değerlerinin karşılaştırılması.....	110
Şekil 4.50.	Mikrodalga-konvektif kombinasyonu kurutma yöntemiyle kurutulan mantar örneklerinin deneysel nem oranı değerleri ile Wang ve Singh modelinden elde edilen tahmini nem oranı değerlerinin karşılaştırılması.....	111
Şekil 4.51.	Farklı sıcaklıklarla kurutulan mantar örneklerinin deneysel nem oranı değerleri ile geliştirilen modelden elde edilen tahmini nem oranı değerlerinin zamanla karşılaştırılması.....	112
Şekil 4.52.	Farklı mikrodalga güçleriyle kurutulan mantar örneklerinin deneysel nem oranı değerleri ile geliştirilen modelden elde edilen tahmini nem oranı değerlerinin karşılaştırılması.....	112
Şekil 4.53.	Farklı mikrodalga-konvektif kombinasyonlarıyla kurutulan mantar örneklerinin deneysel nem oranı değerleri ile geliştirilen modelden elde edilen tahmini nem oranı değerlerinin karşılaştırılması.....	113
Şekil 4.54.	Konvektif (50°C (a) ve 75°C (b)) yöntemle kurutulmuş mantar örneklerinin taramalı elektron mikroskobu görüntüleri.....	115
Şekil 4.55.	Mikrodalga (90W (a), 160W (b), 350W (c) ve 500W (d)) yöntemiyle kurutulmuş mantar örneklerinin taramalı elektron mikroskobu görüntüleri.....	116
Şekil 4.56.	Mikrodalga-konvektif (90W-50°C (a), 90W-75°C (b), 160W-50°C (c) ve 160W-75°C (d)) kombinasyonu yöntemiyle kurutulmuş mantar örneklerinin taramalı elektron mikroskobu görüntüleri.....	117
Şekil 4.57.	Farklı sıcaklıklarla kurutulan patates örneklerinin nem içeriklerinin zamanla değişimi.....	119
Şekil 4.58.	Farklı mikrodalga güçleriyle kurutulan patates örneklerinin nem içeriklerinin zamanla değişimi.....	120
Şekil 4.59.	Farklı mikrodalga-konvektif kombinasyonlarıyla kurutulan patates örneklerinin nem içeriklerinin zamanla değişimi.....	121
Şekil 4.60.	Konvektif ( $\Delta$ 50°C ve $\diamond$ 75°C) kurutma yöntemiyle kurutulan patates örneklerinin kuruma hızlarının nem içeriklerine değişimi.....	122
Şekil 4.61.	Mikrodalga ( $\Delta$ 160W, $\square$ 350W ve $\diamond$ 500W) yöntemiyle kurutulan patates örneklerinin kuruma hızlarının nem içerikleriyle değişimi...	123
Şekil 4.62.	Mikrodalga-konvektif kombinasyonu ( $\diamond$ 160W-50°C, $\Delta$ 160W-75°C, $\square$ 350W-50°C ve $\diamond$ 350W-75°C) yöntemiyle kurutulan patates örneklerinin kuruma hızlarının nem içerikleriyle değişimi.....	124
Şekil 4.63.	Farklı sıcaklıklarla kurutulan patates örneklerinin deneysel nem oranı değerleri ile Midilli modelinden elde edilen tahmini nem oranı değerlerinin zamanla değişimi.....	131

Şekil 4.64.	Farklı mikrodalga güçleriyle kurutulan patates örneklerinin deneysel nem oranı değerleri ile Midilli modelinden elde edilen tahmini nem oranı değerlerinin zamanla değişimi.....	132
Şekil 4.65.	Farklı sıcaklıklarla kurutulan patates örneklerinin deneysel nem oranı değerleri ile geliştirilen modelden elde edilen tahmini nem oranı değerlerinin zamanla değişimi.....	133
Şekil 4.66.	Farklı mikrodalga güçleriyle kurutulan patates örneklerinin deneysel nem oranı değerleri ile geliştirilen modelden elde edilen tahmini nem oranı değerlerinin zamanla değişimi.....	134
Şekil 4.67.	Farklı mikrodalga-konvektif kombinasyonlarıyla kurutulan patates örneklerinin deneysel nem oranı değerleri ile Midilli modelinden elde edilen tahmini nem oranı değerlerinin zamanla değişimi.....	135
Şekil 4.68.	Farklı mikrodalga-konvektif kombinasyonlarıyla kurutulan patates örneklerinin deneysel nem oranı değerleri ile geliştirilen modelden elde edilen tahmini nem oranı değerlerinin zamanla değişimi.....	136
Şekil 4.69.	Farklı sıcaklıklarla kurutulan patates örneklerinin deneysel nem oranı değerleri ile Midilli modelinden elde edilen tahmini nem oranı değerlerinin karşılaştırılması.....	137
Şekil 4.70.	Farklı mikrodalga güçleriyle kurutulan patates örneklerinin deneysel nem oranı değerleri ile Midilli modelinden elde edilen tahmini nem oranı değerlerinin karşılaştırılması.....	137
Şekil 4.71.	Farklı mikrodalga-konvektif kombinasyonlarıyla kurutulan patates örneklerinin deneysel nem oranı değerleri ile Midilli modelinden elde edilen tahmini nem oranı değerlerinin karşılaştırılması.....	138
Şekil 4.72.	Farklı sıcaklıklarla kurutulan patates örneklerinin deneysel nem oranı değerleri ile geliştirilen modelden elde edilen tahmini nem oranı değerlerinin karşılaştırılması.....	139
Şekil 4.73.	Farklı mikrodalga güçleriyle kurutulan patates örneklerinin deneysel nem oranı değerleri ile geliştirilen modelden elde edilen tahmini nem oranı değerlerinin karşılaştırılması.....	139
Şekil 4.74.	Farklı mikrodalga-konvektif kombinasyonlarıyla kurutulan patates örneklerinin deneysel nem oranı değerleri ile geliştirilen modelden elde edilen tahmini nem oranı değerlerinin karşılaştırılması.....	140
Şekil 4.75.	Taze patates örneğinin taramalı elektron mikroskobu görüntüleri.	142
Şekil 4.76.	Konvektif (50°C (a) ve 75°C (b)) yöntemle kurutulmuş patates örneklerinin taramalı elektron mikroskobu görüntüleri.....	143
Şekil 4.77.	Mikrodalga (160W (a), 350W (b), 500W (c)) yöntemiyle kurutulmuş patates örneklerinin taramalı elektron mikroskobu görüntüleri.....	143
Şekil 4.78.	Mikrodalga-konvektif (160W-50°C (a), 160W-75°C (b), 350W-50°C (c) ve 350W-75°C (d)) kombinasyonu yöntemiyle kurutulmuş patates örneklerinin taramalı elektron mikroskobu görüntüleri.....	144



## ÇİZELGELER DİZİNİ

	<b>Sayfa</b>
Çizelge 2.1. Yıllar bazında Türkiye ve Dünya barbunya ekim alanları, üretim ve verim değerleri.....	16
Çizelge 2.2. Yıllar bazında Türkiye ve Dünya domates ekim alanları, üretim ve verim değerleri.....	17
Çizelge 2.3. Yıllar bazında Türkiye ve Dünya patates ekim alanları, üretim ve verim değerleri .....	20
Çizelge 3.1. Mikrodalga-konvektif fırının teknik özellikleri.....	36
Çizelge 4.1. Barbunya örneklerinin farklı sıcaklıklarla kurutulmasında uygulanan modellerden elde edilen katsayı ve istatistiksel analiz sonuçları.....	48
Çizelge 4.2. Barbunya örneklerinin farklı mikrodalga güçleriyle kurutulmasında uygulanan modellerden elde edilen katsayı ve istatistiksel analiz sonuçları.....	50
Çizelge 4.3. Barbunya örneklerinin farklı mikrodalga-konvektif kombinasyonlarıyla kurutulmasında uygulanan modellerden elde edilen katsayı ve istatistiksel analiz sonuçları.....	52
Çizelge 4.4. Farklı kurutma yöntemleriyle kurutulan barbunya örneklerinin renk değerleri.....	57
Çizelge 4.5. Domates örneklerinin farklı sıcaklıklarla kurutulmasında uygulanan modellerden elde edilen katsayı ve istatistiksel analiz sonuçları.....	69
Çizelge 4.6. Domates örneklerinin mikrodalga güçleriyle kurutulmasında uygulanan modellerden elde edilen katsayı ve istatistiksel analiz sonuçları.....	71
Çizelge 4.7. Domates örneklerinin farklı mikrodalga-konvektif kombinasyonlarıyla kurutulmasında uygulanan modellerden elde edilen katsayı ve istatistiksel analiz sonuçları.....	72
Çizelge 4.8. Farklı kurutma yöntemleriyle kurutulan domates örneklerinin renk değerleri.....	85
Çizelge 4.9. Mantar örneklerinin farklı sıcaklıklarla kurutulmasında uygulanan modellerden elde edilen katsayı ve istatistiksel analiz sonuçları....	96
Çizelge 4.10. Mantar örneklerinin farklı mikrodalga güçleriyle kurutulmasında uygulanan modellerden elde edilen katsayı ve istatistiksel analiz sonuçları.....	99
Çizelge 4.11. Mantar örneklerinin farklı mikrodalga-konvektif kombinasyonlarıyla kurutulmasında uygulanan modellerden elde edilen katsayı ve istatistiksel analiz sonuçları.....	100
Çizelge 4.12. Farklı kurutma yöntemleriyle kurutulan mantar örneklerinin renk değerleri.....	114
Çizelge 4.13. Patates örneklerinin farklı sıcaklıklarla kurutulmasında uygulanan modellerden elde edilen katsayı ve istatistiksel analiz sonuçları....	125
Çizelge 4.14. Patates örneklerinin farklı mikrodalga güçleriyle kurutulmasında uygulanan modellerden elde edilen katsayı ve istatistiksel analiz sonuçları.....	128

Çizelge 4.15. Patates örneklerinin farklı mikrodalga-konvektif kombinasyonlarıyla kurutulmasında uygulanan modellerden elde edilen katsayı ve istatistiksel analiz sonuçları.....	130
Çizelge 4.16. Farklı kurutma yöntemleriyle kurutulan patates örneklerinin renk değerleri .....	141

## 1. GİRİŞ

Gıdaların kurutularak saklanması yöntemi, insanın doğadan deneme yanılma yoluyla öğrendiği ve binlerce yıldan beri uygulamakta olduğu en eski muhafaza yöntemlerinden biridir. Bu yöntem doğada çoğu zaman kendi kendine olmaktadır. Ancak doğada kurutma, güneş ısıyla olduğundan kurutmanın her yerde ve her zaman bu yolla gerçekleşmesi olanaksızdır (Cemeroğlu ve Özkan 2004). Ayrıca açıkta kurutulan ürünler toz, toprak, kuş ve diğer hayvanların etkisi altında bulunmaktadır. Bu yüzden son yıllarda yapılan bilimsel çalışmalar ile değişik kurutma yöntemleri geliştirilmiştir. Genel bir ifadeyle kurutma, ürünlerdeki suyun ürün kalitesine zarar vermeden uygun teknikler kullanılarak en kısa sürede uzaklaştırılması işlemidir (Doymaz ve Pala 2001). Ürünlerin kurutulmasındaki amaç depolanma süreleri içerisinde mikrobiyel bozulmalarını ve istenilmeyen kimyasal reaksiyonlara girmelerini en aza indirmektir (Doymaz ve Pala 2003, Zhang ve ark. 2006, Ruiz-López ve ark. 2008, Tello-Ireland ve ark. 2011). Ürün nemi, ortam sıcaklığı, ortamdaki oksijen miktarı ve zararlı mikroorganizmalar ürünlerin bozulmasına neden olan başlıca etmenlerdir (Karaaslan ve Erdem 2009).

Kısaca, ürünlerin bünyesinden nemin uzaklaştırılması işlemi olarak tanımlanabilen kurutma, giderek önemini artırmaktadır. Kurutma yardımıyla sağlanabilecek yararlar aşağıdaki şekilde sıralanabilir (Işık ve Alibaş 2000);

- 1) Ürünlerin erken hasat edilmelerine olanak sağlar. Böylece yüksek nemde yapılan hasatta ürün dökülmeleri önlenir ve hasat kayıpları azalır. Ayrıca erken hasat ikinci ürün için uygun yetiştirme periyodu sağlar.
- 2) Ürünün mikrobiyolojik ve enzimsel değişimlerini önleyerek bozulmadan uzun süre korunmasını sağlar.
- 3) Tohumların çimlenme kabiliyeti daha uzun süre korunabilir.
- 4) Kuru meyve ve kuru sebze gibi ekonomik değeri olan çeşitli ürünlerin üretimine olanak vererek, hazır çorba ve sos karışımları ile yemek sanayinde geniş çapta kullanıma olanak verir.

5) Tarımsal üretim artıklarının yeniden değerlendirilmesine olanak sağlar (küspe, kabuk, posa vb).

6) Ürünün nem miktarının düşmesi ile aroma ve besin değeri gibi kalite özelliklerinin muhafaza edilmesini sağlar.

7) Ürünün hacminin azalmasıyla kolay paketlenme, düşük maliyetle taşınma ve depolanmadaki verimin artmasına olanak verir.

8) Çay gibi bazı ürünlerin işlenmesine imkan tanır.

Ürünlerin kurutulmasında çeşitli kurutma yöntemleri kullanılmaktadır. Konvektif kurutma gıdalarda nemin uzaklaştırılmasında kullanılan en yaygın yöntemdir (Mundada ve ark. 2010). Bu yöntem, düşük yatırım ve işletim maliyeti gerektirmesi, ayrıca kolay işlem kontrolü sağlaması nedeniyle büyük avantajlar sağlamaktadır (Leonid ve ark. 2006, Bondaruk ve ark. 2007, Orikasa ve ark. 2008, Hiranvarachat ve ark. 2011). Ancak kullanılan bu yöntemin uzun kurutma süresi gerektirmesi, yüksek sıcaklık ve hava hızı uygulamaları sonucu ürünlerin lezzet ve biyolojik bileşenlerinin zarar görmesiyle ürünlerin kalite özelliklerini olumsuz yönde etkilemektedir (Funebo ve Ohlsson 1998, Zhang ve ark. 2006).

Mikrodalga kurutma yöntemi kurutulan materyalin iç kısımlarına yüksek ısı iletimi sağlaması, temizlik, enerji kazanımı, kolay işlem kontrolü, kurutma işleminin hızlı başlatılması ve sonlandırılması gibi avantajlar sağlayan alternatif bir kurutma yöntemidir (Maskan 2000). Ancak mikrodalga kurutma yöntemi tek başına kullanıldığında ürünler üzerinde düzensiz ısı dağılımı sağlaması, tekstürel zararlar meydana getirmesi, yüksek yatırım maliyeti gerektirmesi ve mikrodalga ışınlarının ürünler üzerinde etkisinin sınırlı olması gibi olumsuz etkiler ortaya çıkmaktadır (Zhang ve ark. 2006). Bu problemlerin azaltılması, daha hızlı ve daha etkin kurutma işlemlerinin sağlanabilmesi için gıdaların kurutulmasında mikrodalgayla diğer kurutma yöntemlerinin beraber uygulanması düşünülebilir (Contreras ve ark. 2008). Son zamanlarda yapılan çalışmalarda mikrodalga kurutma yöntemi, konvektif kurutma (kabin, akışkan yataklı ve tünel tipi), sıcak hava püskürtmeli, vakum ve dondurarak kurutma gibi var olan kurutma yöntemlerine eklenerek denenmektedir (Prabhanjan ve

ark. 1995, Sharma ve ark. 2009). Mikrodalga-konvektif kurutma uygun enerji tüketimi, kalite özellikleri ve kısa sürede kurutma gibi avantajlar sağlayabilir (Piotrowski ve ark. 2004). Mikrodalga yardımcı konvektif kurutma, konvansiyonel kurutma yöntemlerine göre daha hızlı olduğundan ve gıda maddesinde bulunan dipolar su molekülleri ile etkileşebilmesinden dolayı etkin bir kurutma işlemine olanak sağlamaktadır (Bingöl ve Devres 2010). Gıdaların mikrodalga-konvektif kurutulması pek çok araştırmacı tarafından son yıllarda araştırılmaktadır.

Bu çalışmanın amacı barbunya, domates, mantar ve patates gibi önemli tarımsal ürünlerin konvektif, mikrodalga ve mikrodalga-konvektif kombinasyonu kurutma yöntemleriyle kurutulmasında kurutma kinetiklerinin belirlenmesi, kurutulan ürünlerden deneysel olarak elde edilen nem oranı değerleriyle, literatürde bulunan ve bu tez çalışmasında kullanılan 10 farklı ince tabaka kurutma modeliyle tahmini olarak elde edilen nem oranı değerlerinin karşılaştırılması ve kullanılan 10 farklı ince tabaka kurutma modeline alternatif olabilecek deneysel verileri en iyi açıklayan yeni bir modelin geliştirilmesidir. Ayrıca kurutulan ürünlerin renk ve mikroyapılarının incelenerek kalite parametrelerinin ortaya konulmasıdır.

## 2. KAYNAK ARAŞTIRMASI

### 2.1. Kurutmayla İlgili Teorik Bilgiler

#### 2.1.1. Tanımlar

Kurutma işlemi sırasında sık kullanılan bazı tanımlar şöyledir (Işık ve Alibaş 2000);

**Islak nemlilik:** Genel olarak bir üründeki su ağırlığının, ürünün toplam ağırlığına oranıdır.

**Kuru nemlilik:** Genel olarak bir üründeki su ağırlığının, ürünün katı madde ağırlığına oranıdır.

**Denge nemi:** Ortamın sıcaklık ve basınç değerine bağlı olarak materyalin kazanacağı veya kaybedeceği nem miktarıdır.

**Su aktivitesi:** Ürünün içerdiği suyun buhar basıncının, aynı sıcaklıktaki saf suyun buhar basıncına oranıdır.

**Yaş termometre sıcaklığı:** Eğer normal bir termometrenin haznesi sık bir tülbent kılıfla sarılır ve tülbentin bir ucu fitil görevi yapmak üzere içinde damıtık su bulunan küçük bir hazneye daldırılırsa ıslak termometre elde edilmiş olur (Cemeroğlu ve Özkan 2004). Doymamış durumdaki hava akımı, ıslak termometrenin haznesi üzerinden geçtiğinde, nemli fitilden su buharlaşır. Bunun sonucunda ıslak termometrenin sıcaklığı hava sıcaklığının altına düşer. Havadan nemli fitile ısı geçişi aralarında bir sıcaklık dengesi kuruluncaya kadar devam eder (Yağcıoğlu 1999). Bu dengenin sağlandığı sıcaklığa termodinamikte yaş termometre sıcaklığı denir.

**Kuru termometre sıcaklığı:** Evlerde oda sıcaklığını ölçmek için kullanılan ve termometre ile ölçülen sıcaklıktır.

**Mutlak nem:** Herhangi bir durumdaki havanın 1 m<sup>3</sup>'ünün içinde bulunan su buharı miktarının gram veya kilogram olarak ifadesidir.

**Bağıl nem:** Belirli herhangi bir sıcaklıktaki havanın içinde bulundurabileceği maksimum nem ile o anda havada bulunan nem miktarı arasındaki oranıdır.

## 2.1.2. Kuruma sırasında meydana gelen değişimler

Kuruma sırasında materyal neminde meydana gelen değişimler statik ve kinematik açıdan incelenebilir.

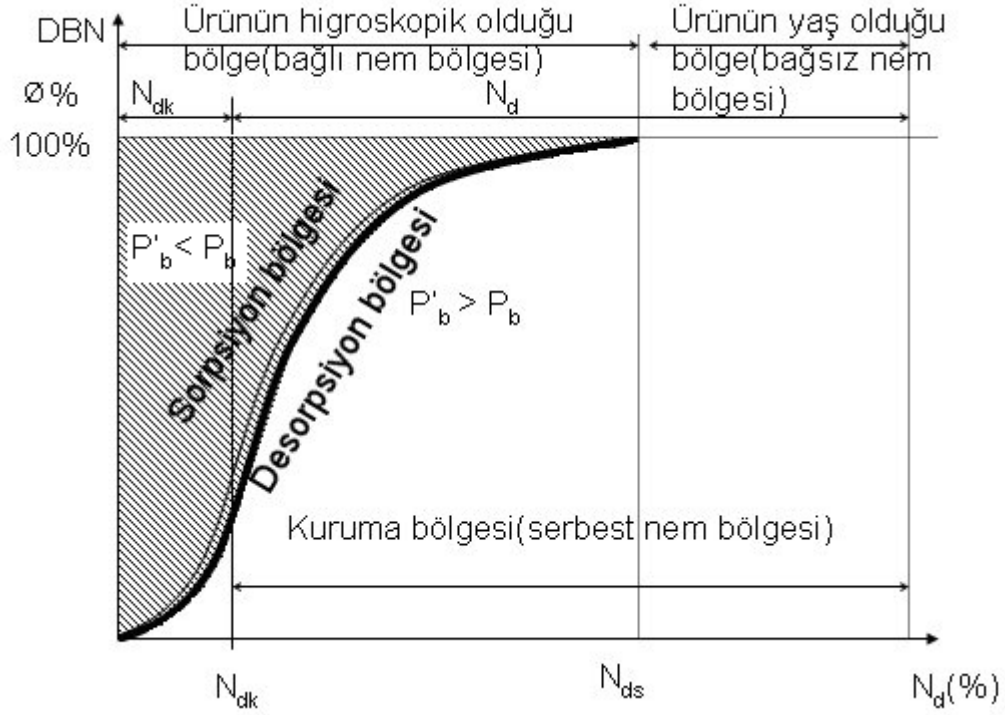
### 2.1.2.1. Kurumunun statığı

Statik açıdan kurumunun incelenmesi sırasında, hava ile materyal arasındaki nem dengesi, zaman dikkate alınmadan incelenir. Denge, materyalin çevre havasına nem vermesi (desorpsiyon) veya çevreden nem alması (sorpsiyon) sonucunda oluşur. Denge durumunda, havada bulunan su buharının kısmi basıncı ( $P_b$ ) ile ürünün yüzeyinde bulunan suyun buhar basıncı ( $P_u$ ) birbirine eşittir. Kuruyan materyalin yüzey sıcaklığı yaklaşık çevre havası yaşı termometre havası sıcaklığına eşit olduğundan ürünün yüzeyinde bulunan suyun buhar basıncı ile havanın yaşı termometre sıcaklığındaki su buharının kısmi buhar basıncı ( $P'_b$ ) eşit alınabilmektedir. Bu nedenle denge durumunda materyalin ulaştığı nem ( $N_d$ ), havanın kısmi buhar basıncına yani bağıl nemine ( $\emptyset$ ) bağlıdır (Yağcıoğlu 1999, Mengeş 2005).

Maddenin içinde bulunduğu havanın nem miktarının sabit sıcaklıkta değiştirilmesi ile maddenin içerdiği nem miktarındaki değişimi gösteren eğriler sorpsiyon izotermi olarak adlandırılırlar (Dadalı 2007). Herhangi bir materyalin sorpsiyon izoterm eğrisi kurutma açısından incelendiğinde sorpsiyon ve desorpsiyon bölgeleri Şekil 2.1'de gösterildiği gibidir. Şekilde görüldüğü gibi izotermin denge bağıl nemi (DBN) eksenine ile arasındaki bölge içindeki her noktada ürünün yüzeyinde bulunan suyun buhar basıncı havada bulunan suyun buhar basıncından daha küçük olduğundan bu bölge materyalin bünyesine nem aldığı şartları belirtmektedir ( $P'_b < P_b$ ). İzoterm eğrisinin denge nemi ( $N_d$ ) eksenine ile arasında kalan bölge içinde ise durum tam tersi olduğundan bu bölge materyalin çevreye nem verdiği şartları belirtmektedir ( $P'_b > P_b$ ) (Yağcıoğlu 1999, Kara 2008).

Tarım ürünlerinde bulunan suyun tümü, kurutma sırasında üründen tamamen alınmadan gerçek kuruma bölgesi şekilde görülen alandan daha küçüktür. Bu nedenle kuruma bölgesi ürünün ulaşabileceği en küçük denge nemi  $N_{dk}$  değerinden geçen bir eksenden başlatılarak gösterilmektedir. Kurumakta olan bir materyalin hava ile arasındaki nem

alışverişi sonucunda ulaşabileceği üst nem sınırı, o materyalin “Higroskopik Limiti” olarak tanımlanır. Bir başka tanımla, bağıl nemin %100 olduğu şartlarda bir materyalin ulaşabileceği en yüksek nem değeridir ( $N_{ds}$ ) (Yağcıoğlu 1999).



Şekil 2.1. Sorpsiyon eğrisinin kurutmanın statüğü açısından anlamı (Yağcıoğlu 1999)

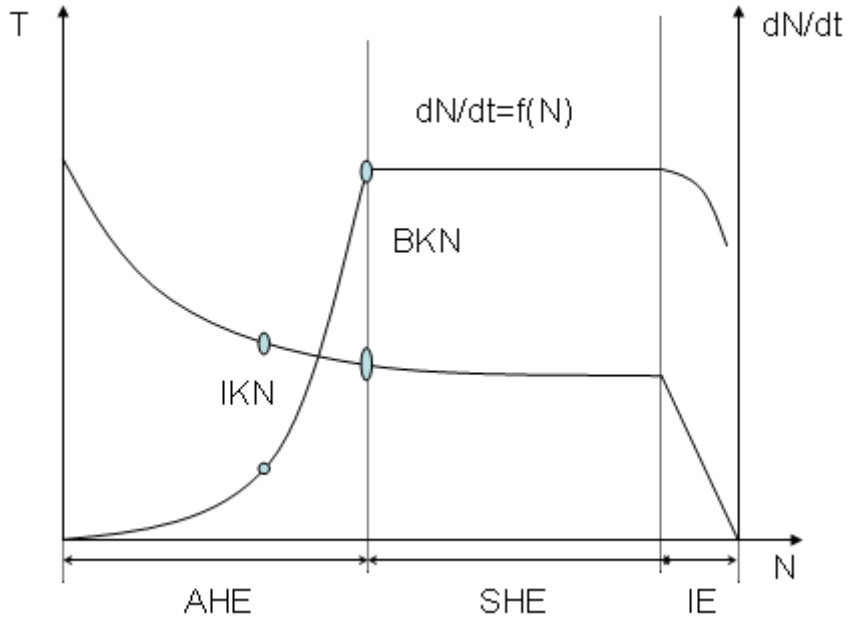
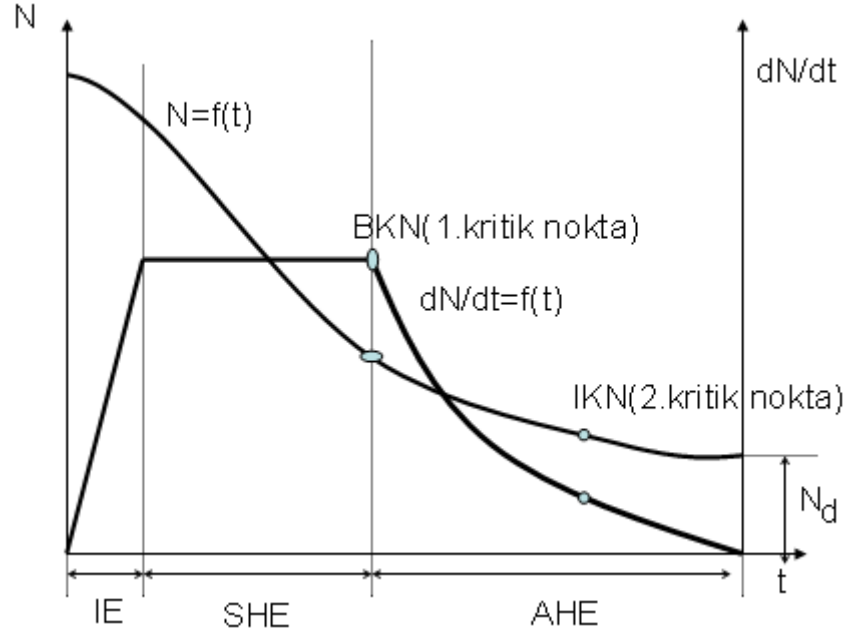
### 2.1.2.2. Kurumanın kinematüğü

Kurumanın kinetiğinde, materyal ile çevresindeki hava arasındaki nem alışverişi, kuruma sürecinde geçen zaman dikkate alınarak incelenir. Şekil 2.2’de tarım ürünlerinin kinetik kuruma eğrileri görülmektedir. Herhangi bir materyalin kuruması kinetik açıdan incelenirken,

- Materyalin nemi ile kuruma süresi ( $N=f(t)$ )
- Kuruma hızı ile materyal nemi ( $dN/dt=f(N)$ )
- Kuruma hızı ile kuruma süresi ( $dN/dt=f(t)$ )
- Materyal sıcaklığı ile nemi  $T=f(N)$

arasındaki ilişkiler dikkate alınır (Yağcıoğlu 1999).





**Şekil 2.2.** Kurumanın kinetik eğrileri

Kuruma süreci içerisinde üç karakteristik evreyle karşılaşılır.

- Materyalin ısınma evresi (IE)
- Sabit hızla kuruma evresi (SHE)
- Azalan hızla kuruma evresi (AHE)

#### **2.1.2.2.1. Isınma evresi**

Kuruma başlangıcında görülen ısınma evresi sırasında materyalin sıcaklığı hızla yükselir. Kuruma hızı giderek artar ve bu evrenin sonunda en yüksek değerine ulaşır. Kurutulacak ürünün sıcaklığı kurutma ortamının sıcaklığı ile dengeye gelinceye kadar devam etmektedir. Isınma evresi tüm kurutma süresi içerisinde, çok kısa bir süre olduğundan genelde dikkate alınmaz (Yağcıoğlu 1999, Arıcı 2006).

#### **2.1.2.2.2. Sabit hızla kuruma evresi**

Kuruma sırasında ısınma evresinin sona erdiği andan itibaren sabit hızla kuruma evresi (SHE) başlar. Sabit hızla kuruma evresinde, kurutulacak materyalin yüzeyi başlangıçta ince bir su tabakası ile kaplıdır. Öncelikle bu su tabakası buharlaşmaya başlar. Ürünün özelliklerine bağlı olmayan bu buharlaşma tamamen dış hava koşullarınca belirlenmekte ve nem materyalin yüzeyinden, herhangi bir serbest su tabakasının yüzeyinden buharlaşan su ile aynı davranışı göstererek buharlaşmaktadır. Yüzeydeki serbest su tabakası sabit bir kuruma hızı ile buharlaşırken devamlı olarak hücre aralarındaki hava boşluklarının meydana getirdiği kılcal borularla beslenmektedir. Diğer bir ifadeyle, sabit hızla kuruma evresi boyunca, suyun materyal yüzeyine iletim hızı ile yüzeyden buharlaşan suyun hızı birbirine eşit olmaktadır (Yağcıoğlu 1999, Mengeş 2005).

Sabit hızla kuruma evresi boyunca, materyalden yüzeye doğru bir nem taşınması söz konusu olduğundan, materyalin iç katmanlarındaki nem miktarı giderek azalmaktadır. Bu durum nedeniyle, kurumakta olan materyalin yüzeyinden birim zamanda buharlaşarak ayrılan suya eşit miktarda su, artık iç kısımlardan yüzeye taşınmamaktadır. Bunun sonucunda, materyalin yüzeyinin tamamen serbest su ile kaplı olması durumu sona ermektedir. Bu anda materyalin sahip olduğu nem düzeyine birinci kritik nem ve kuruma eğrilerinde bu durumu belirleyen noktaya ise birinci kritik nokta (BKN) adı verilmektedir (Yağcıoğlu 1999, Arıcı 2006).

#### **2.1.2.2.3. Azalan hızla kuruma evresi**

Birinci kritik nokta değerinden sonra, kuruma eğrisinin eğimi azalan yönde hızla değişim göstermektedir. Bu noktadan itibaren kuruma hızının zaman içinde giderek azaldığı başka bir evre başlamaktadır. Bu evre, birim zaman aralıklarında buharlaşan

nem miktarının bir önceki zaman dilimine göre azalma göstermesi nedeniyle, azalan hızla kuruma evresi (AHE) olarak tarif edilmektedir.

Bu evre kendi içerisinde, iki aşamada gerçekleşmektedir. Materyalin yüzeyindeki su filmi kaybolmaya başlayınca, kuruma hızı da ıslak alan miktarı ile orantılı olarak azalma göstermektedir. Bu evreye 1. azalan kuruma evresi denilmektedir. Bu evre sonunda, suyun materyalin iç kısımlarından yüzeye iletim hızı, yüzeyde meydana gelen buharlaşma hızından daha küçük olduğundan, materyalin yüzeyinin tamamen ince su tabakası ile kaplanması durumu ortadan kalkmaktadır. Bu andan itibaren kuruma hızı daha da yavaşlamakta ve bu noktadan itibaren 2. azalan hızla kuruma evresi başlamaktadır. Bu evre sonunda, materyal ile çevrenin sıcaklığı eşit duruma gelerek,  $N=f(t)$  eğrisi  $N_d$  değerine,  $dN/dt=f(N)$  eğrisi sıfır değerine ulaşarak birbirlerine asimptot olmaktadır. Azalan hızla kuruma evresi sırasında, kuruma hızı değişiminin doğrusallıktan sapmaya başladığı noktaya, ikinci kritik nokta (İKN) ve materyalin bu andaki nem değerine ise ikinci kritik nem adı verilmektedir.

Bu evre sırasındaki kuruma olayını incelemek amacıyla teorik, yarı teorik ve deneysel yöntemlerle elde edilen çeşitli matematiksel modellerden yararlanmak mümkündür. Teorik modeller her türlü madde ve koşul için uygulanabilmektedir. Ancak çözüm için gereken eşitliklerin birçok parametre ve karmaşık yapı içermesi bu tür modellerin kullanılabilirliğini azaltmaktadır. Yarı teorik modeller daha az karmaşık olmakla birlikte içerdikleri parametrelerin yalnızca ele alınan ürünlerle ilgili olması kullanımını kısıtlamaktadır. Deneysel yollarla elde edilen verilere dayanarak kuruma hızının belirlenmesinde, karmaşık matematiksel eşitlikler yoktur. Ancak elde edilen eşitlikler deneme yapılan materyal ve deneme koşulları için geçerli olmaktadır (Yağcıoğlu 1999, Kara 2008).

### **2.1.3. Kuruma sırasında ısı ve kütle iletimi**

Kurutma, eş zamanlı olarak gerçekleşen ısı transferi ve kütle transferi sayesinde suyun gıdalardan uzaklaştırılması işlemidir. Bu eş zamanlı fiziksel olaylar gıdanın kurutulması sırasında şöyle gerçekleşir; ilk olarak gıda, çevresindeki sıcak hava ile temas eder ve ısınmaya başlar (ısı transferi). Yüzeydeki nem tamamıyla kuruduktan sonra iç taraflarda bulunan nem difüzyon yolu ile (kütle transferi) yüzeye taşınır ve buradan buharlaşması

sağlanır. Kurutma işlemi sırasında ısı ve kütle transferini etkileyen parametreler ortam sıcaklığı, ortamdaki havanın nemi, gıdanın yüzey alanı ve basınç olarak sıralanabilir (Dadalı 2007).

#### **2.1.4. İnce tabaka kurutma kuramı**

İnce tabaka kuramı, kurutulacak ürünün sadece bir tanenin kalınlığına sahip olacak şekilde serilmesiyle elde edilen tabakayı belirtmede kullanılır. Bu şekilde kurutma havasının bu tabakanın içinden geçerken sıcaklık ve nem değerlerinde bir değişim olmadığı kabulünü yapabilmemizi sağlamaktadır. Ayrıca materyal ile kurutucu ortamının birbiriyle tamamen etkileşmesi sağlanmış olur. Bu kuramda sabit kuruma hızı evresi göz önüne alınmaz. Azalan kuruma evresi ise, tarımsal ürünlerin kurumasında en önemli evredir (Yağcıoğlu 1999, Işık ve Alibaş 2000).

#### **2.1.5. Kurutucuların sınıflandırılması**

Kimya, gıda, tekstil gibi pek çok endüstride kurutma çok önemli bir işlemdir. Büyük ölçekte enerjinin harcandığı bu işlemde ürün kalitesi ve enerji tasarrufu açısından kurutucu seçimi oldukça önemlidir. Ayrıca çevresel etkiler ve kurutma işleminin güvenli bir şekilde devam edebilmesi de kurutucu seçiminde önem arz etmektedir (Kaya 2008).

Kurutma yöntemi genel olarak yapay ve doğal kurutma adı altında iki ana gruba ayrılır. Ancak bu grupları da kendi aralarında alt gruplara ayırmak mümkündür (Erdem 2007). Endüstride 200'e yakın kurutucu kullanılmasına rağmen, bunlardan 20 kadarı gıdaların kurutulmasına uygundur (Baker 1997, Dadalı 2007). Kurutucular başlıca kurutma yöntemlerine göre şu şekilde sınıflandırılabilir;

**Konveksiyon kurutma:** Isının taşınım yolu ile kurutulacak maddeye iletilmesi prensibine dayanır. Hava ya da başka bir gazın ısı taşıyıcı akışkan olarak kullanıldığı ve bu akışkanın sistemde dolaştırıldığı kurutma sistemleri taşınım ile yapılan kurutma sistemleridir. Tünel kurutucular (ürünün hareket ettiği hava akışlı), kabinli ve bölmeli kurutucular (tepsilere sererek sıcak havanın ürün üzerine gönderildiği) ve döner kurutucular (ürünün sıcak hava akımı içerisine gönderildiği) taşınım ile yapılan kurutma işleminde kullanılan kurutucu tipleridir (Aktaş 2007).

**Kondüksiyon kurutma:** Kurutulacak maddeye ısının iletim yolu ile gerçekleştirilmesi prensibine dayanır. Bu kurutucularda, kurutulacak ıslak malzemenin üzerinde durduğu bir plaka veya metal duvar vasıtasıyla buharlaştırma işlemi gerçekleştirilir. Bu kurutmada, ısıtılan yüzey, malzeme ile temastadır. Kağıt ürünlerinin kurutulmasında yaygındır. Tambur tipli kurutucular bu kurutma yöntemine örnek olarak verilebilir (Yüzgeç 2005).

**Radyasyon kurutma:** Isının ışınım yolu ile maddeye iletilmesi prensibine dayanmaktadır. Bu yöntemde kurutma için gerekli ısı enerjisi, yaş materyale, elektromanyetik spektrumunun kızıl ötesi bölgesinde yer alan ışınlar ile iletilir. Bu ışınlar içinde geçtikleri ortamı ısıtmaz, kendilerini absorbe eden cisimleri ısıtırlar. Kızıl ötesi ışınların yaş materyalin yüzeyinden itibaren etkilendiği derinlik oldukça az olduğundan, bu yöntem ince film şeklinde serilir tabakaların kurutulmasında kullanılır (Özgül 2007). Ayrıca kağıt, tekstil gibi üzerinde motif desen içeren ürünlerin kurutulmasında kullanılır (Güngör ve Özbalta 1997).

**Dondurarak kurutma:** Dondurmalı (şoklama) kurutma, eczacılık ürünleri, serumlar, bakteri ve virüs kültürleri, deniz ürünleri gibi ürünlerin kurutulmasında kullanılır (Aktaş 2007). Bu yöntemde göre kurutulacak yaş materyal önce hızla -25, -30°C değerlerine kadar soğutularak dondurulur. Daha sonra, üründeki donmuş suyun serbest buhar basıncına göre biraz daha düşük değerlerdeki vakum ortamında gerekli süblimasyon ısı vererek donmuş suyun sıvı fazı atlayarak doğrudan buhar fazına geçmesi sağlanır (Özgül 2007).

**Dielektrik kurutma:** Bu tip kurutmada, radyo frekansı veya mikrodalga bölgesinde çok yüksek frekansa sahip bir elektromanyetik alana yerleştirilen malzemenin içersinde termal enerji üretilir. Elektromanyetik alan yönündeki hızlı değişimler yüzünden moleküler sürtünmenin bir sonucu olarak ısı ortaya çıkar (Yüzgeç 2005).

**Ozmotik kurutma:** Bu yöntemde, yarı geçirgen zarla kaplı olan bitki hücresi duvarının iç kısmı ile dış çevre arasında, ozmotik basınç farkı yaratılarak, materyalin nemi azaltılmaya çalışılır. Kurutulacak materyal ozmotik basıncı yüksek bir eriyiğin içine daldırılarak nemin azalması sağlanır. Ürünün içine daldırılacağı ozmoaktif ortam, çeşitli

sıcaklık ve konsantrasyonlarda olmak üzere genellikle meyveler için şeker, sebzeler için tuz (NaCl) eriyiklerinden hazırlanır (Yağcıoğlu 1999, Özgül 2007).

Yukarıda belirtilen temel kurutucu tiplerinin yanı sıra bunların birlikte kullanıldığı birleşik kurutucu tipleri bulunmaktadır. Mikrodalga ve konvektif kurutma kombine kurutucular bu tip kurutuculara örnek olarak verilebilir (Kaya 2008).

## **2.2. Mikrodalga Teknolojisi**

Mikrodalga, nükleer ve iyonize olmayan bir ışın şekli olup, TV ve FM radyo dalgaları gibi elektromanyetik dalgalar şeklinde yayılan bir enerjidir. Elektromanyetik dalga, dalga boyu ve frekans ile nitelendirilebilir. Dalga boyu, dalganın maksimumları arasındaki mesafedir. Mikrodalgada ışınımlarının dalga boyları 1 nm ile 1 m arasında değişmektedir. Elektromanyetik dalganın belli bir süredeki ve belli noktalardaki titreşim sayısına frekans denir ve Hertz (Hz) cinsinden ölçülür. Dalga boyu ile frekans ters orantılıdır. Dalga boyu arttıkça frekans azalır. Mikrodalgada ışınımlarının frekansları 300 MHz ile 300 GHz arasında değişmektedir. Mikrodalga kurutma ve ısıtma uygulamalarında kullanılabilen frekanslar 14, 27-56, 12-40, 68-896, 915 ve 2450 MHz'dir (Yağcıoğlu 1999). Gıda sanayisinde kullanılan mikrodalga ışınlar, ev tipi fırınlarda 2450 MHz, sanayide 915 MHz frekanslı ışınlardır. Mikrodalgalarla enerji transferi, klasik ısıtmada olduğu gibi konduksiyon ya da konveksiyon yolu ile değil, dielektrik ısıtma yolu ile meydana getirilir (Çelen 2010).

Mikrodalga fırınları, şebekeden alınan elektrik enerjisini kullanarak magnetronun çalışması için gerekli olan voltajı üreten güç ünitesi, mikrodalga üreten bir magnetron, üretilen mikrodalganın fırın içine ulaşmasını sağlayan bir dalga kılavuzu ve fırın boşluğundan oluşur. Yayılan mikrodalganın fırın içinde düzgün dağılımını sağlayan karıştırıcı ve fan bileşenlerinden oluşmaktadır.

### **2.2.1. Mikrodalga fırının geliştirilmesi**

İki İngiliz bilim adamı Sir John Rveall ve H.A. Boot ilk mikrodalga enerjisi üreten elektronik magnetronu geliştirmişlerdir. Ürettikleri bu alet ikinci dünya savaşında İngiliz ordusunun Alman hava uçaklarının tespit edilmesinde kullanılan radar sistemlerinin geliştirilmesinde kullanılmıştır. Daha sonra radar parçaları üreten

Raytheon şirketinde çalışan Percy Spencer adındaki Amerikalı bir mühendis, mikrodalga laboratuvarına giderken yanında götürdüğü çikolatayı laboratuvardaki bir aygıtın yanına bıraktığında kendiliğinden eridiğini gördüğünde mikrodalga teknolojisinin gıda sektöründe kullanılabileceğini tesadüf ile de olsa keşfetmiştir (Dadalı 2007). 1945 yılında Percy Spencer mikrodalgayı patlamış mısır elde etmek için kullanmıştır ve bu gıdalar üzerinde uygulanan ilk mikrodalga uygulaması olmuştur. 1967 yılında Amana şirketi ilk mutfak tezgahlarında kullanılan mikrodalga fırını üretmiştir (Yang 2002).

### **2.2.2. Mikrodalga kurutma yöntemi**

Mikrodalga ile kurutma işleminde, gıda maddesine gönderilen mikrodalgalar önce gıda içindeki su molekülleri tarafından emilir. Gıda maddesine mikrodalgalar gönderilmeden önce su moleküllerindeki pozitif ve negatif yükler gıda içerisinde rastgele dağılmışlardır. Ancak mikrodalgaları emen moleküller, bu mikrodalgaların elektrik alanına göre dizilirler. Elektrik alan saniyede milyonlarca defa salınır ve gıda içindeki molekülleri uyararak konumlarını değiştirir. Bu hızlı molekül salınımları ısı oluşturarak gıda maddesinin ısınmasını sağlarlar. Bu yöntemin diğer yöntemlerden en büyük farkı ve avantajı ısıyı doğrudan gıda maddesinin içinde oluşturmasıdır. Gıda içindeki su molekülleri, diğer yöntemlerle yapılan ısıtma işlemlerinden çok daha kısa sürede, aynı derecede ısınır ve gıda maddesinden uzaklaşır (Doymaz ve ark. 2003).

Mikrodalga enerji ile kurutma, geleneksel kurutma yöntemlerinden belirgin bir şekilde farklılık gösterir. Konvansiyonel kurutmada sıcak yüzey ile daha soğuk olan iç kısım arasındaki sıcaklık farkından dolayı ısının materyalin yüzeyinden iç kısımlarına doğru kademeli olarak iletimi söz konusudur. Mikrodalga ile kurutmada ise elektromanyetik alan materyali bir bütün olarak etkilemekte ve materyal içerisindeki su moleküllerinin saniyede milyonlarca kez titreşmesi sağlanmaktadır. Bu titreşim ve oluşan enerji materyalin içindeki nemin oldukça hızlı bir şekilde buharlaşmasını sağlamaktadır (Eren ve ark. 2005, Karaaslan ve Erdem 2009).

### 2.2.3. Mikrodalga kullanım alanları

Günümüzde mikrodalga enerjisi, dondurulmuş ürünlerin çözündürülmesinde, kurutma, kavurma, pişirme, pastörizasyon, sterilizasyon işlemlerinde, kek ve reçellerde küf mantarlarının azaltılmasında, dondurarak kurutma ve haşlama işlemlerinde kullanılmaktadır (Decerau 1992, Dadalı 2007). Günümüzde mikrodalga enerjisi gıda endüstrisinin yanında pek çok alanda kullanılmaktadır. Mikrodalga kullanım alanlarını şu şekilde sıralaya biliriz;

- Gıda endüstrisi
- Kimya endüstrisi
- Tekstil endüstrisi
- Mobilya-Kereste endüstrisi
- Seramik ve diğer alanlar

### 2.2.4. Mikrodalga kurutmanın avantajları

Mikrodalga kurutmanın pek çok avantajı bulunmaktadır. Bunlar;

**Kullanım kolaylığı:** Mikrodalga fırınlar, geleneksel sistemlere göre daha az yer kaplar, kullanımı ve bakımı kolaydır.

**Bakterileri azaltması:** Ürünlerde bakteri üremesi sonucu oluşan toksinlerin yayılması önlenmektedir.

**Kurutma süresi:** Diğer geleneksel yöntemlere göre kurutma süresi en az yarı yarıya azdır (Yağcıoğlu 1999).

**Ekonomiklik:** Mikrodalga kurutma yöntemi diğer geleneksel kurutma yöntemlerinden daha hızlı kurutma sağladığı için ekonomiktir.

**Yüksek Hız:** Mikrodalga ile kurutmada ürünün dokusundaki ısı oluşumu ve birikimi diğer kurutma yöntemlerine göre çok daha hızlı olmaktadır (Tunçer 1990).



**Temizlik:** Kurutulan ürünler kapalı sistemlerde kurutuldukları için son derece temizdirler.

**Diğer kurutma yöntemleriyle uygulanabilirlik:** Mikrodalga kurutma, istenen sonuca ulaşılabilmesi için diğer ısı transfer yöntemleriyle kombine olarak uygulanabilir.

### **2.2.5. Mikrodalga kurutmanın dezavantajları**

Mikrodalga kurutmanın dezavantajları şu şekilde sıralanabilir;

**Düzensiz ısıtma:** Mikrodalga kullanımının en büyük sorunlarından biri düzensiz ısıtma sağlamasıdır.

**Maliyet:** Mikrodalga ekipmanlarının dizayn maliyetlerinin yüksek olması nedeniyle ilk yatırım maliyetleri yüksektir.

**İleri teknoloji gerekliliği:** İleri teknoloji gerektirmektedir.

**Uygulamadaki kısıtlamalar:** Kullanılan kapların, ambalaj malzemelerinin mikrodalga ortamına uygun olması gerekmektedir. İletken maddeler mikrodalga etkisi ile ark oluşturmakta, ürüne ve kurutma ekipmanına hasar verebilmektedir. Cam, porselen, plastik, kağıt mikrodalga için uygun malzemeler olarak bilinmektedir (Erdem 2007).

**Çimlenme sorunları:** Mikrodalga kurutma yöntemiyle kurutulan ürünlerin çimlenme oranları yok denecek kadar azdır.

**Sağlık:** İnsan sağlığı açısından radyasyon sızıntısının önlenmesi gerektiğinden tamamen kapalı bir sistem olması zorunludur (Çelen 2010).

## **2.3. Deneylerde Kullanılan Ürünler**

### **2.3.1. Barbunya**

Anavatanı Amerika olan fasulye ülkemiz insanının beslenmesinde çok önemli yeri olan bir sebzedir. Özellikle insanımızın protein ihtiyacının karşılanmasında önemli bir rol oynar (Vural ve ark. 2000). Kuru fasulyenin bir çeşidi olan Barbunya tane renkleri düz bej zemin üzerinde çizgili ya da lekeli alacalı, biçimleri yuvarlağa yakın oval ve iridir.

*Sphaericus* Mart ve *Ellipticus* Mart alt türlerinin iri taneli bej zeminli formlarının kırmızı çizgili, kahverengi çizgili, lacivert çizgili ya da aynı renklerin leopar desenli alt formları bu gruba girer (Şehirli 1998, Azkan 2002). Barbunya taze olarak tüketilmesinin yanında kurutulularak ve dondurularak tüketilen bir üründür (Kayısoğlu ve Ertekin 2011). Ayrıca konserve gıda endüstrisinde önemli bir yere sahiptir (Işık ve Ünal 2007). Barbunya %25 protein, %1,5 yağ ve %57 karbonhidrat içermektedir (Şehirli 1988, Cetin 2007). Barbunya'nın besinsel faydalarının yanı sıra kalp hastalığı riskinin azaltılması ve fazla kilo alma problemlerinin aşılmasında kullanılmaktadır (Kayısoğlu ve Ertekin 2011). Çizelge 2.1'de Gıda ve Tarım Organizasyonu (FAO) verilerine göre son 5 yıllık Türkiye ve Dünya barbunya ekim alanı, üretim ve verim değerleri verilmiştir.

**Çizelge 2.1.** Yıllar bazında Türkiye ve Dünya barbunya ekim alanları, üretim ve verim değerleri (FAO 2010)

Yıllar	Ekim Alanı (ha)		Üretim (ton)		Verim (kg/ha)	
	Dünya	Türkiye	Dünya	Türkiye	Dünya	Türkiye
2006	27 528 351	129 051	20 749 883	195 970	754	1 519
2007	28 782 866	109 250	21 180 044	154 243	736	1 412
2008	26 681 363	97 848	21 244 858	154 630	796	1 580
2009	25 634 679	97 451	20 690 692	181 205	807	1 859
2010	29 920 906	103 255	23 230 034	212 758	776	2 061

### 2.3.2. Domates

Ülkemiz ekonomisinde çok önemli bir yeri olan domatesin ana vatanı Güney Amerika'dır. Bugün yeryüzünde 1500'ü aşkın domates çeşidi bulunmakta ve son senelerde özellikle kuzey Avrupa ülkeleri ve Amerika'da elde edilen hibrid çeşitlerle bu rakam devamlı olarak artmaktadır. Kültür sebzeleri arasında dünyanın birçok ülkesinde en fazla yetiştirilen ve değişik şekillerde değerlendirilebilen domateslerin çok çeşitli ve

zengin vitaminleri ile mineral ve diğ er besin maddeleri bakımından beslenmede önemli bir yeri vardır (Çelen 2010). Ülkemizin iklim şartlarının bu sebzenin yetiştirilmesi için çok uygun oluşu, bu sebze yi işleyecek bir sanayinin 1970'li yıllardan itibaren hızla kurulmuş olması, bu sebze ye olan yönelmeyi hızlandırmış ve ülkemiz domates üretiminde dünya ülkeleri arasında alt sıralardan hızla üst sıralara tırmanarak Amerika ve İtalya gibi üretim devlerinin arasına girmiştir. Ülkemizde özellikle Marmara, Ege ve Akdeniz bölgelerinde büyük boyutlarda domates yetiştirilmektedir (Vural ve ark. 2000).

Latince ismi “*Lycopersicum esculentum*” olan domates, taze olarak tüketildiği gibi sebze-meyve işleme sanayi için de önemli bir tarım ürünüdür. Bunun nedeni soyulmuş domates, doğranmış domates, domates sosu ve salçası, kurutulmuş domates ve ketçap gibi ürünlerin üretiminin ana hammaddesi olmasıdır. Bolca vitamin kaynağı olan domates, besleyici ve lezzetli olma özellikleri ile dünyanın birçok ülkesinde en çok üretilen sebzedir. İçinde A, B1, B2, C ve K vitaminleri, niasin, protein, yağ, karbonhidrat, potasyum, kalsiyum ve demir bulunmaktadır (Çelen 2010).

**Çizelge 2.2.** Yıllar bazında Türkiye ve Dünya domates ekim alanları, üretim ve verim değerleri (FAO 2010)

Yıllar	Ekim Alanı (ha)		Üretim (ton)		Verim (kg/ha)	
	Dünya	Türkiye	Dünya	Türkiye	Dünya	Türkiye
2006	4 638 985	228 714	130 066 090	9 854 880	28 038	43 088
2007	4 186 149	226 667	137 153 333	9 945 040	32 764	43 875
2008	4 244 756	300 000	141 119 873	10 985 400	33 246	36 618
2009	4 435 795	324 609	153 833 368	10 745 600	34 680	33 103
2010	4 338 834	304 000	145 751 507	10 052 000	33 592	33 066

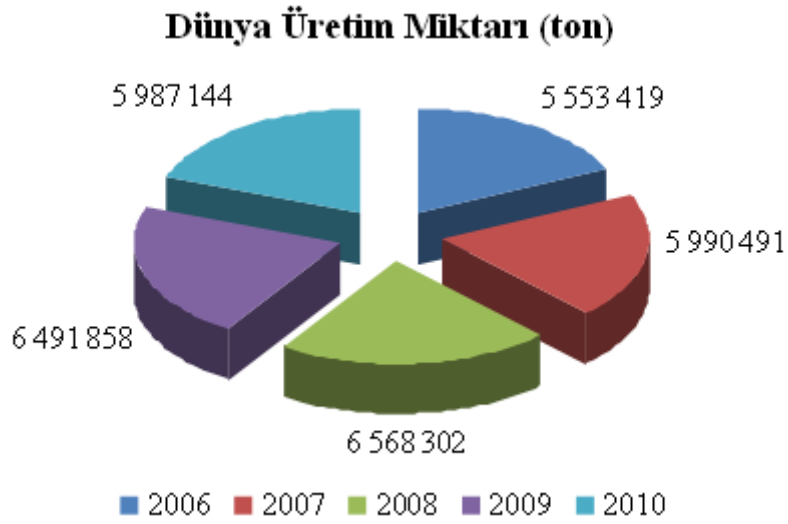
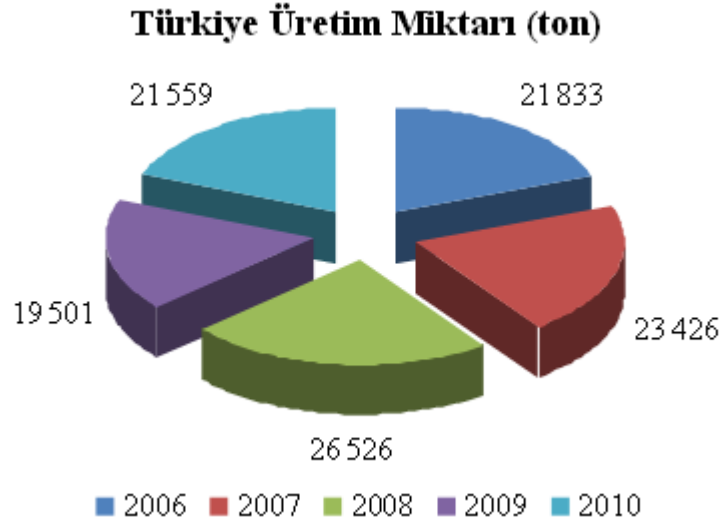
Bu tezde kullanılan kiraz domatesi (*Lycopersicon esculentum* var. Cerasiforme) hem ebat hem de şekil (2-2,5 cm çap) yönünden en önemli domates çeşitleri arasında yer

almaktadır (Heredia ve ark. 2007). Çizelge 2.2’de FAO verilerine göre son 5 yıllık Türkiye ve Dünya domates ekim alanı, üretim ve verim değerleri verilmiştir.

### 2.3.3. Mantar

Mantar, çok eski yıllardan beri halk arasında bilinen ve tanınan bir üründür. Mantarın besin olarak kullanımı ve yetiştiriciliği ilk defa 16. yüzyılda Fransa’da başlamıştır (Günay ve ark. 1984). İlk zamanlarda mevsime bağlı olarak açıkta yetiştirildiği halde, 19. yüzyılın başlarında taş ocakları, mağara, tünel gibi sıcak ve nemli kapalı alanlarda ilkel yöntemlerle üretilmiştir. 20. yüzyılın başlarında ise, yeni tekniklerin gelişmesiyle daha modern olarak kurulmuş özel işletmelerde mantar yetiştirilmeye başlanmıştır. Günümüzde, özellikle gelişmiş ülkelerde, mantar yetiştiriciliği tam anlamıyla bir sanayi kolu niteliğindedir. Üretim sıcaklık, nem ve havalandırmanın otomatik olarak düzenlendiği, teknolojik gelişmelerden yararlanarak tüm işlemlerin mekanize edildiği büyük ve modern işletmelerde yapılmaktadır (Türkmen ve ark. 2008). Dünya genelinde yenilebilen ve kültürü yapılan mantarların büyük çoğunluğunu yaklaşık %40 oranıyla beyaz şapkallı kültür mantarı olarak bilinen *Agaricus bisporus* türü oluşturmaktadır (Giri ve Prasad 2007). *Pleurotus sp* türünün üretimi ise, yıllar boyunca artış göstermiş ve toplam üretim içindeki payı %24,2’ye ulaşmıştır (Türkmen ve ark. 2008). *Lentinus edodes* ve diğer mantar türleri de gün geçtikçe artan oranlarda marketlerde yerini almaktadır (Öztürk 2010). Ülkemizde kültür mantarının çok kısa bir geçmişi vardır. Mantar yetiştiriciliğine ilişkin ilk çalışmalar 1960’lı yılların başında Ankara Üniversitesi Ziraat Fakültesi’nde başlamıştır (Günay ve ark. 1984).

Mantar insan beslenmesinde önemli bir yere sahip bir sebze olup, hastanelerde diyabetik yemekler arasında yer almaktadır. 100 g mantarda 4 g protein, 0,26 g yağ, 3.75 g azotsuz madde, 0,92 g selüloz ve 0,97 g mineral madde bulunmaktadır. Bu değerleri ile mantarlar, diğer sebze türleri arasında önemli bir yere sahip olup, besin değeri açısından sebzelerin birçoğundan daha değerlidir (Günay ve ark. 1984). Şekil 2.3’de FAO verilerine göre son 5 yıllık Türkiye ve Dünya mantar üretim değerleri verilmiştir.



**Şekil 2.3.** Yıllar bazında Türkiye ve Dünya mantar üretim değerleri (FAO 2010)

#### 2.3.4. Patates

Latince adı *Solanum tuberosum* L. olan günümüz patates çeşitlerinin ana vatanı Peru ve Bolivya'nın yüksek yayla alanlarıdır. Patates Avrupa'ya 16. yüzyıl sonlarına doğru İspanyol seyyahlar tarafından getirilmiştir. Ülkemize ise 19. yüzyıl sonlarında Rusya'dan getirilmiştir (İlisulu 1986, Vural ve ark. 2000).

Patates iklim istekleri açısından toleranslı oluşu, değişik şekillerde değerlendirilebilmesi ve yüksek besleyici değeri nedeniyle birçok ülkede yetiştirilmekte ve tüketilmektedir. Patates birim alanda buğdaya nazaran daha fazla kalori ve protein üretir. Patates bir

karbonhidrat kaynağı olup, yumruda nişasta halinde depo edilmiştir. Patates nişasta ve ispirto endüstrisinin önemli hammaddesi olmakla birlikte daha çok yemeklik olarak tüketilir. Patates insan gıdası, sanayi hammaddesi yanında kısmen hayvan yemi olarak kullanılmaktadır. Ülkemizde patatesin en iyi yetişebileceği yerler 1000 metre civarındaki yüksek yaylalardır. Erzurum, Çorum, Trabzon, Kayseri, Niğde, Adapazarı, Afyon, Nevşehir, Bolu ve Ödemiş başarılı patates üretilebilen yörelerimizdir (Vural ve ark. 2000). Çizelge 2.3’de FAO verilerine göre son 5 yıllık Türkiye ve Dünya patates ekim alanı, üretim ve verim değerleri verilmiştir.

**Çizelge 2.3.** Yıllar bazında Türkiye ve Dünya patates ekim alanları, üretim ve verim değerleri (FAO 2010)

Yıllar	Ekim Alanı (ha)		Üretim (ton)		Verim (kg/ha)	
	Dünya	Türkiye	Dünya	Türkiye	Dünya	Türkiye
2006	18 417 866	157 908	305 753 350	4 397 310	16 601	27 847
2007	18 673 514	152 512	322 589 838	4 246 210	17 275	27 842
2008	18 159 000	147 812	327 509 778	4 196 520	18 036	28 391
2009	18 548 925	142 684	331 902 818	4 397 710	17 893	30 821
2010	18 596 223	140 665	324 181 889	4 548 090	17 433	32 333

#### 2.4. Önceki Çalışmalar

Al-Duri ve McIntyre (1992), yağlı ve yağsız süt tozu, kazein tozu, tereyağı ve makarnayı fan destekli konveksiyonel (160, 200 ve 255°C), mikrodalga (90, 350 ve 650W) ve mikrodalga-konveksiyonel birleşimi kurutma yöntemlerini kullanarak kurutmuşlar ve kurutma kinetiklerini karşılaştırmışlardır. Konveksiyonel kurutma yönteminde uyguladıkları sıcaklığın artmasıyla, mikrodalgayla kurutma yönteminde ise uyguladıkları mikrodalga gücünün artmasıyla kuruttukları ürünlerin kuruma hızlarının arttığını belirlemişlerdir. Mikrodalga-konveksiyonel birleşimi kurutma yöntemiyle kurutulan ürünlerin diğer kurutma yöntemleriyle kurutulan ürünlere göre daha yüksek

kuruma hızlarına sahip olduklarını belirlemişlerdir. Ancak yapmış oldukları kurutma çalışmalarında yüksek mikrodalga gücü ve sıcaklık uygulamalarının ürünler üzerinde yanma gibi olumsuz etkiler bıraktığını bu yüzden yüksek mikrodalga gücü ve sıcaklıklarda kurutmayı tavsiye etmediklerini belirtmişlerdir.

Tulasidas ve ark. (1993), konveksiyonel, mikrodalga ve konveksiyonel-mikrodalga birleşimi kurutma yöntemlerini kullanarak üzüm örneklerini kurutmuşlardır. Çalışmalarında kimyasal ön işlem uyguladıkları (alkali çözeltisine daldırma) ve kimyasal ön işlem uygulamadıkları üzümlerin kuruma özelliklerini karşılaştırmışlardır. Elde ettikleri sonuçlara göre, kimyasal ön işlem uygulayarak kuruttukları üzümlerin daha kısa zamanda kuruduklarını ve daha iyi kalite özelliklerine sahip olduklarını tespit etmişlerdir. Ayrıca hem kimyasal ön işlem uyguladıkları hem de kimyasal ön işlem uygulamadıkları üzümler için kullanmış oldukları kurutma yöntemlerini karşılaştırdıklarında ise mikrodalga kurutma yöntemiyle kurutulan üzümlerden diğer kurutma yöntemleriyle kurutulan üzümlere göre özellikle kalite değerleri açısından daha iyi sonuçlar elde etmişlerdir. Mikrodalga-konvektif birleşimi kurutma yönteminin kurutulan ürünlerde kurutma süresini oldukça azalttığını tespit etmişlerdir. Çalışmalarının sonucunda, Page modelinin elde ettikleri deneysel sonuçları en iyi şekilde açıkladığını bildirmişlerdir.

Prabhanjan ve ark. (1995), havuç küplerini konvektif, mikrodalga ve mikrodalga destekli konvektif kurutma yöntemlerini kullanarak kurutmuşlardır. Mikrodalga ile konvektif kurutmanın aynı anda kullanıldığı mikrodalga destekli konvektif kurutma yönteminin sadece mikrodalga ve sadece konvektif kurutma yöntemlerine göre %25-90 zaman kazanımı sağladığını tespit etmişlerdir. Elde ettikleri deneysel sonuçları Page modelinin yeterli düzeyde açıkladığını belirlemişlerdir. Kurutulan ürünlerin renklerini incelediklerinde, konvektif kurutma yöntemiyle ya da düşük mikrodalga güçlerinde kurutulan ürünlerin, yüksek mikrodalga güçlerinde kurutulan ürünlere göre daha iyi sonuçlar verdiklerini bildirmişlerdir.

Ren ve Chen (1998), Amerikan Ginseng bitkisinin köklerini, sıcak hava ve mikrodalga-sıcak hava kombinasyonu kurutma yöntemlerini kullanarak kurutmuşlardır. Sıcak hava kurutma yöntemiyle kuruttukları örnekler için 40°C hava sıcaklığı ve 60 L/dak hava akış

debisi uygularlarken, mikrodalga-sıcak hava kombinasyonu kurutma yöntemiyle kuruttukları örnekler için 60W mikrodalga gücü uygulamışlardır. Mikrodalga-sıcak hava kombinasyonu kurutma yöntemiyle kurutulan ürünlerin sıcak hava kurutma yöntemiyle kurutulan ürünlere göre kurutma sürelerinin %28,7-55,2 oranında azaldığını belirlemişlerdir. Elde ettikleri deneysel verileri Page modelinin yeterli ölçüde açıkladığını istatistiksel olarak ortaya koymuşlardır. Çalışmalarında kalite parametresi olarak inceledikleri renk değerlerine göre sıcak hava yöntemiyle kurutulan ürünlerin mikrodalga-sıcak hava kombinasyonu kurutma yöntemiyle kurutulan ürünlere göre daha iyi sonuçlar verdiklerini tespit etmişlerdir.

Funebo ve Ohlsson (1998), sıcak hava kurutma ve mikrodalga yardımcı sıcak hava kurutma yöntemlerini kullanarak elma ve mantarları kurutmuşlar ve kullanmış oldukları iki yöntemi karşılaştırmışlardır. Çalışmalarında mikrodalga yardımıyla sıcak hava kurutma yöntemini kullanırlarken düşük güçte mikrodalga gücü uygulamışlardır. Kalite parametreleri olarak tekrar su alma kapasitesi, hacim yoğunluğu ve renk parametrelerini değerlendirmişlerdir. Deneylerinde düşük hava hızı kullanımının ürünler üzerinde kahverengileşmeye neden olduğunu belirtmişler ve bu nedenle çalışmalarında minimum hava hızını 1 m/s olarak tanımlamışlardır.

Maskan (2000), farklı dilim kalınlıklarına ( $4,3\pm 0,177$ ,  $7,4\pm 0,251$  ve  $14\pm 0,492$  mm) sahip muz dilimlerini kuruturken kullanmış olduğu sıcak hava kurutma yöntemi için  $60^{\circ}\text{C}$  sıcaklık ve 1,45 m/s hava hızını uygularken, mikrodalga kurutma yöntemi için 350, 490 ve 700W mikrodalga güçlerini uygulamıştır. Ayrıca çalışmasında 4,3 mm kalınlığındaki örneklere 350W mikrodalga gücünü takiben  $60^{\circ}\text{C}$  sıcaklık uygulayarak üçüncü bir kurutma yöntemi denemiştir. Sıcak havayla kurutma yöntemiyle kurutulan ürünlerin başlangıçta yüksek nem içeriklerine sahip oldukları için ürünlerin nem kaybı hızlarının yüksek olduğunu, ancak düşük nem içeriklerinde ise sıcak havayla kurutma yönteminin düşük difüzyon işleminden dolayı elde edilen kuruma hızlarının düşük olduğunu ve buna bağlı olarak kuruma süresinin uzadığını tespit etmiştir. Bundan dolayı, bu yöntemin muz dilimlerinin kurutulmasında kullanılmasının avantajlı olmadığını bildirmiştir. Mikrodalga fırınının çıkış gücünün artmasıyla kurutulan ürünlerin kuruma hızlarının önemli ölçüde arttığını, mikrodalgayı takiben sıcak hava



uygulamasıyla kurutulan ürünlerin kuruma hızlarının arttığını ve buna bağlı olarak kuruma sürelerinin azaldığını tespit etmiştir.

Göğüs ve Maskan (2001), mikrodalga (350, 490 ve 700W) ve mikrodalga-fan destekli konveksiyonel (100, 160 ve 225°C) birleşimi kurutma yöntemlerini kullanarak farklı kalınlıklarda (6, 9 ve 14 mm) zeytin prinasını (zeytin küspesi) kurutmuşlardır. Yapmış oldukları mikrodalga kurutma çalışmalarında mikrodalga gücünün ve ürün kalınlığının etkisinin önemsiz olduğunu, ancak mikrodalga-fan destekli konveksiyonel birleşimi kurutmada sıcaklığın artması ile kurutmuş oldukları örneklerin kuruma hızlarının arttığını ve buna bağlı olarak kurutma sürelerinin azaldığını tespit etmişlerdir. Çalışmalarında elde ettikleri deneysel sonuçları, Difüzyon modelin yeterli düzeyde açıkladığını bildirmişlerdir.

Maskan (2001a), sıcak hava, mikrodalga ve sıcak hava-mikrodalga kurutma yöntemlerini kullanarak kivi meyvesinin kurutma karakteristiklerini incelemiştir. Ortalama  $5,03 \pm 0,236$  mm kalınlığa sahip dilimlenmiş kivilerin kuruma hızı değerleriyle, büzülme ve yeniden su alma kapasitelerini karşılaştırmıştır. Kuruma süresi bakımından mikrodalga enerjisinin kullanıldığı kurutma yöntemleriyle kurutulan örneklerin kuruma hızlarının arttığı ve buna bağlı olarak kurutma sürelerinin ise azaldığını tespit etmiştir. Mikrodalga yöntemiyle kurutulan kivilerde sıcak havayla kurutulan kivilere göre daha fazla büzülmenin yaşandığı, ancak en az büzülmenin sıcak hava-mikrodalga yöntemiyle kurutulan kivilerde olduğunu bildirmiştir. Mikrodalga yöntemiyle kurutulan kivi dilimlerinin diğer yöntemlerle kurutulan örneklere göre yeniden su alma kapasitesi ve daha hızlı su emilimi gerçekleştirdiğini tespit etmiştir. Ayrıca difüzyon modelin deneysel verileri yeterli seviyede tanımladığını bildirmiştir.

Maskan (2001b), sıcak hava, mikrodalga ve sıcak havayı takiben mikrodalgayla son kurutma yöntemlerini kullanarak kurutmuş olduğu kivi meyvesinin renk değişimlerini incelemiştir. Renk parametreleri olarak Hunter L, a ve b değerleri ile Kroma, Hue açısı, toplam renk farklılığı ve kahverengileşme indeks değerlerini kullanmıştır. Çalışmasında incelemiş olduğu tüm renk parametrelerinin kurutma şartlarından etkilendiğini bildirmiştir. Ancak sıcak hava kurutma yöntemiyle kurutulan ürünlerin mikrodalga ve sıcak hava-mikrodalga kurutma yöntemleriyle kurutulan ürünlere göre daha az

etkilendiklerini tespit etmiştir. Deneplerinde kullanmış olduğu mikrodalga gücündeki artışın kivi meyvelerinin renk özelliklerini olumsuz yönde etkilediğini ve mikrodalga kurutma yöntemiyle kurutulan ürünler üzerinde diğer kurutma yöntemleriyle kurutulan ürünlere göre daha fazla kahverengi renk olduğunu bildirmiştir.

Diaz ve ark. (2003), portakal dilimlerini mikrodalga-sıcak hava kombinasyonu kurutma yöntemini kullanarak kurutmuşlardır. Çalışmalarında 0, 0,17, 0,36, 0,69 ve 0,88 W/g mikrodalga gücü yoğunluklarını uygularlarken, 60°C hava sıcaklığı ve 2 m/s hava hızını kullanmışlardır. Kuruttukları ürünlerin tekrar su alma kapasitelerini incelemişler ve kurutmuş oldukları portakal dilimlerinin yeniden su alma davranışlarını Peleg ve Weibull denklemlerini kullanarak modellemişlerdir. Deneplerinin sonucunda portakal dilimlerinin kurutulmasında yüksek seviyede mikrodalga gücü kullanmanın portakal dilimlerinde kahverengileşmeye neden olduğunu, ancak kuruma sürelerini azalttığını bildirmişlerdir.

Uprit ve Mishra (2003), hint peynirini mikrodalga-konvektif kurutma yöntemi kullanarak kurutmuşlardır. Çalışmalarında 40, 50 ve 60°C hava sıcaklıkları ile 2 m/s hava hızı ile 50, 100 ve 150W mikrodalga güçlerini kullanmışlardır. Deneplerinde uygulamış oldukları tüm kurutma şartları için kuruma hızı ve difüzyon katsayısı parametrelerini analiz etmişler, mikrodalga güç seviyesi ve hava sıcaklığının artmasıyla kurutma hızı ve difüzyon katsayısının arttığını tespit etmişlerdir. Çalışmalarında kurutmuş oldukları örneklerin tekstür, yeniden su alma kapasitesi ve renk gibi kalite parametreleri ile uzun raf ömürlerini incelemişler ve en uygun mikrodalga-konvektif kurutma yönteminin 53,5°C hava sıcaklığı ve 111,5W mikrodalga gücünden elde edildiğini bildirmişlerdir.

Veres ve ark. (2004), Granny Smith çeşidi elma silindirlerini sıcak hava-mikrodalga kombinasyonu kurutma yöntemiyle kurutmuşlardır. Çalışmalarında 25, 30, 40 ve 50°C hava sıcaklıkları ile 0, 3, 5, 7 ve 10 W/g mikrodalga güç yoğunluklarını kullanmışlardır. Kurutma deneylerinden önce ön işlem olarak bir izotonik çözelti ile vakum emdirme işlemi uygulamışlardır. Kurutma sürecinde, mikrodalga gücünün etkisinin sıcak hava etkisinden daha yüksek olduğunu belirlemişlerdir. Ayrıca çalışmalarında ürünlere meydana gelen yapısal değişiklikleri taramalı elektron mikroskobu ile incelemişler ve

kurutma işleminden önce vakum emdirme uygulanan örneklerin vakum emdirme işlemi uygulanmayan örneklere göre görüntülerinin karşılaştırmasını yapmışlardır.

Khraisheh ve ark. (2004), patates örneklerini mikrodalga (10,5, 15 ve 38W) ve konvektif (30, 40 ve 60°C) kurutma yöntemleri ile kurutarak, kalite ve yapısal değişimlerini incelemişlerdir. Kuruttukları örneklerin vitamin C ve yeniden su alma kapasitesi değişimlerini incelemişler, konvektif kurutma yöntemiyle kurutulan ürünlerde vitamin C kaybının mikrodalga kurutma yöntemiyle kurutulan ürünlere göre en az iki kat daha fazla olduğu tespit etmişlerdir. Yeniden su alma kapasitesinin ise mikrodalga kurutma yöntemiyle kurutulan ürünlerde, konvektif kurutma yöntemiyle kurutulan ürünlere göre daha yüksek olduğunu belirlemişlerdir. Kurutulan ürünlerin hacimsel değişimlerinin nem içerikleriyle doğrusal bir ilişki sergilediklerini, konvektif kurutma yöntemiyle kurutulan örneklerin üniform bir değişim sergilerken, mikrodalga kurutma yöntemiyle kurutulan ürünlerin iki periyotlu bir değişim sergilediklerini bildirmişlerdir.

Sharma ve Prasad (2004), mikrodalga-konvektif kurutma tekniğini kullanarak sarımsak dişlerini kurutmuşlardır. Çalışmalarında mikrodalga kurutma için 10, 20, 30 ve 40W mikrodalga güçlerini, konvektif kurutma için 40, 50, 60 ve 70°C sıcaklık dereceleriyle 1 ve 2 m/s hava akış hızlarını kullanmışlardır. Mikrodalga-konvektif kurutma deneylerinde tüm kurutma şartları için efektif difüzyon katsayılarının  $1,29-31,68 \times 10^{-10}$  m<sup>2</sup>/s arasında değiştiğini, aktivasyon enerjisi değerlerinin ise 4,08-40,50 kJ/mol arasında değiştiğini belirlemişlerdir.

Sousa ve Marsaioli (2004), mikrodalga yardımcı sıcaklık hava kurutma yöntemiyle muz örneklerini kurutmuşlardır. Kullandıkları hava sıcaklıkları 25, 30, 40, 50 ve 55°C, hava debileri 0,8, 0,95, 1,3, 1,65 ve 1,8 m<sup>3</sup>/dak, mikrodalga güç yoğunlukları ise 331, 335, 339, 349, 351, 353, 357, 361 ve 365 W/kg olmuştur. Mikrodalga yardımcı sıcak hava kurutma yöntemini kullanarak kuruttukları örneklerin renk, tatlılık ve tekstür gibi kalite özelliklerini incelemişler ve elde ettikleri sonuçların son derece iyi olduğunu bildirmişlerdir. Deneysel verilerle basitleştirilmiş difüzyon modelinden elde edilen sonuçları istatistiksel parametrelere göre karşılaştırmışlar ve sonuçların birbirleriyle uyumlu olduğunu bildirmişlerdir.

Sunjka ve ark. (2004), mikrodalga-konvektif ve mikrodalga-vakum kurutma yöntemlerini kullanarak kızılıcık örneklerini kurutmuşlar ve çalışmalarında kullanmış oldukları iki yöntemin avantaj ve dezavantajlarını kurutmuş oldukları örneklerin kalite ve kuruma işlemleri performanslarına göre karşılaştırmışlardır. Kalite parametreleri olarak renk, tekstürel özellikler, tat ve genel beğeni gibi özellikleri belirlemişlerdir. Renk özellikleri bakımından iki yönteminde birbirine yakın sonuçlar verdiğini sıcak hava ve vakum uygulamalarından daha çok mikrodalga uygulamalarının renk üzerinde daha etkili olduğunu bildirmişlerdir. Tekstürel özellikler bakımından mikrodalga-vakum uygulamasının daha yumuşak tekstür sonuçları verdiğini tespit etmişlerdir. Kurutma performansını enerji verimliliği açısından değerlendirmişler ve mikrodalga-vakum kurutmanın kurutulan örnekler üzerinde daha iyi sonuçlar sağladığını bildirmişlerdir. Renk, genel görünüm ve tat özellikleri bakımından iki kurutma yöntemiyle kurutulan örnekler arasında çok büyük farklılıklar olmamakla birlikte mikrodalga-konvektif kurutma yöntemiyle kurutulan ürünler daha iyi sonuçlara sahip olduklarını belirlemişlerdir.

McMinn (2006), konvektif (20, 40 ve 60°C), mikrodalga (90W), mikrodalga-konvektif ve mikrodalga-vakum (30, 50 ve 80 kPa) kurutma yöntemlerini kullanarak laktoz (süt şekeri) örneklerini kurutmuştur. Çalışmasında kuruma hızına sıcaklığın, sıcak hava akış hızının ve sistem basıncının etki ettiğini saptamıştır. Deneysel verileriyle Lewis, Page, Henderson ve Pabis, Değiştirilmiş Henderson ve Pabis, Logaritmik, İki Terimli, Wang ve Singh, Difüzyon Yaklaşımı, Chevez-Mendez ve Midilli modellerini istatistiksel parametreler ile karşılaştırmış elde edilen sonuçlara göre Page, Logaritmik, Chevez-Mendez ve Midilli modellerinin deneysel verileri diğer modellerden daha iyi açıkladıklarını belirlemiştir. Ancak bu 3 model arasında en iyi sonucun Midilli modelinden elde edildiğini tespit etmiştir.

Shaw ve ark. (2007), kişniş otu yapraklarını konvektif ve mikrodalga kurutma yöntemlerini kullanarak kurutmuşlardır. Çalışmalarında kullanmış oldukları iki yöntemi kurutma süresi açısından karşılaştırdıklarında, mikrodalga kurutma yöntemiyle kurutulan kişniş otu yapraklarının konvektif kurutma yöntemiyle kurutulan kişniş otu yapraklarına göre daha az kuruma süresi gerektirdiğini belirlemişlerdir. Ancak renk özellikleri bakımından konvektif kurutma yöntemiyle kurutulan ürünlerin mikrodalga

kurutma yöntemiyle kurutulan ürünlere göre daha iyi sonuçlar verdiklerini tespit etmişlerdir. Elde ettikleri deneysel sonuçları Page modeli ile elde edilen sonuçlarla istatistiksel olarak karşılaştırmışlar ve Page modelinin deneysel sonuçları iyi bir şekilde açıkladığını belirlemişlerdir.

Varith ve ark. (2007), mikrodalga-sıcak hava kombinasyonu kurutma yöntemini kullanarak kabuğu soyulmuş Longan meyvesini kurutmuşlardır. Çalışmalarında 100, 180, 300 ve 450W mikrodalga güçlerini kullanırlarken, 40, 50 ve 60°C sıcaklıkları uygulamışlardır. Mikrodalga-sıcak hava kombine kurutma yöntemiyle kurutulan ürünlerin sadece 65°C sıcak hava ile kurutulan ürünlere göre kuruma süresinin %64,3 oranında kısa sürdüğü, spesifik enerji tüketiminin ise %48,2 oranında azaldığı sonucunu tespit etmişlerdir.

Contreras ve ark. (2008), elma ve çilek örneklerini konvektif ve mikrodalga-konvektif kombinasyonu kurutma yöntemlerini kullanarak kurutmuşlardır. Konvektif kurutma için 30, 40 ve 50°C sıcaklıkları uygularlarken mikrodalga kurutma yönteminde çilek için 0,2 ve elma için 0,5 W/g mikrodalga yoğunluklarını kullanmışlardır. Ayrıca kurutma öncesi vakum emilimi ön işlemi uyguladıkları kurutulan ürünler üzerinde görsel ve mekanik özellikleri incelemişlerdir. Yüksek mikrodalga ve sıcak hava uygulamalarının ürünlerin kuruma zamanını azaltırken düşük renk değişimleri meydana getirdiğini ve kurutulan ürünlerin daha sıkı ve sert yapı sergilediklerini bildirmişlerdir. Ön işlem uygulamasının kurutulan ürünler üzerinde mekanik direnci arttırırken, örneklerin renklerinde olumsuz bir etki yapmadığını tespit etmişlerdir. Çalışmalarının sonucunda elma ve çilek kurutmada kullanmış oldukları tüm kurutma şartları için ön işlem uygulamasını önermişlerdir.

Gowen ve ark. (2008), pişirilmiş nohut ve soya fasulyesini konvektif, mikrodalga ve mikrodalga-konvektif kombinasyonu kurutma yöntemleriyle kurutmuşlar ve kuruttukları örneklerde nem içeriği, büzülme, su aktivitesi, renk ve tekstür parametrelerini incelemişlerdir. Mikrodalga-konvektif kombinasyonu kurutma yöntemiyle kurutulan ürünlerin hem konvektif hem de mikrodalga kurutma yöntemiyle kurutulan ürünlere göre daha hızlı kurudukları ve daha az büzülme sergilediklerini belirlemişlerdir. Pişirilmiş nohut ve soya fasulyesi kurutulmasında uyguladıkları her bir

kurutma yöntemi için kurutma süresi boyunca su aktivitesinin azaldığını, nohut için su aktivitesi oranının 0,27 değerinden, soya fasulyesi için ise 0,13 değerinden düşük olması halinde yanmalar meydana geldiğini belirlemişlerdir. Ayrıca kurutulan nohut için su aktivitesi oranının 0,40 değerinden, soya fasulyesi için bu değer 0,63'ten düşük olması halinde ise örneklerin kırılğan bir yapı sergiledikleri ve değişken bir tekstüre sahip olduklarını bildirmişlerdir. Çalışmalarının sonucunda uzun raf ömrü sağlaması amacıyla kurutulan pişirilmiş nohut ve soya fasulyesinin kurutulmasında mikrodalga-konvektif kombinasyonu kurutma yönteminin kullanılmasının uygun olduğunu, ayrıca kısa kurutma süresi sağladığı için bu yöntemin diğer yöntemlere göre avantaj sağladığını bildirmişlerdir.

Karaaslan ve Tunçer (2008), ıspanak yapraklarını mikrodalga (180, 360, 540, 720 ve 900W), mikrodalga (180 ve 540W) fan destekli konveksiyonel (100, 180 ve 230°C) kombinasyonu kurutma yöntemlerini kullanarak kurutmuşlardır. Uyguladıkları kurutma yöntemleriyle kurutmuş oldukları örneklerin kuruma zamanı, kuruma hızı ve renk değişimi parametrelerini incelemişlerdir. Ispanağın kurutulmasında en önemli faktörlerin mikrodalga gücü ve sıcaklığın olduğu sonucuna varmışlardır. Deneylerinde kullanmış oldukları yüksek mikrodalga güç ve sıcaklıklarda daha kısa kuruma zamanı ve daha hızlı kuruma hızı elde etmişlerdir. Elde ettikleri deneysel verileri Newton, Page, Geliştirilmiş Page, Henderson ve Pabis, Logaritmik, Wang ve Singh, Difüzyon Yaklaşımı, Verma, İki Terimli Ekspansiyel, Basitleştirilmiş Fick Difüzyonu ve Midilli ve Küçük modelleri ile karşılaştırmışlar ve istatistiksel parametrelerle değerlendirmişlerdir. Elde edilen sonuçlara göre ıspanağın kurutulmasında uygulanan tüm kurutma şartlarından elde ettikleri deneysel sonuçları Midilli ve Küçük modelinin diğer modellerden daha iyi açıkladığını belirlenmişlerdir.

Inchuen ve ark. (2008), Thai köri ezmesini mikrodalga ve sıcak hava kurutma yöntemlerini kullanarak kurutmuşlardır. Mikrodalga kurutma için 180, 360 ve 540W mikrodalga güçlerini, sıcak hava kurutma için 60, 70 ve 80°C sıcaklık değerlerini kullanmışlardır. Mikrodalga kurutma yöntemiyle kurutulan ürünlerin sıcak hava kurutma yöntemiyle kurutulan ürünlere göre daha kısa sürede kuruduklarını belirlemişlerdir. Ayrıca deneylerinde uygulamış oldukları mikrodalga güç ve sıcaklıkları arttıkça kurutulan ürünlerin kuruma sürelerinin önemli ölçüde azaldığını

bildirmişlerdir. Çalışmalarında mikrodalga kurutma yöntemi kullanarak kuruttukları ürünlerin kuruma davranışlarının ısınma, sabit ve azalan hız periyotlarından oluşurken, sıcak hava kurutma yöntemiyle kurutulan ürünlerin kuruma davranışlarının ise ısınma ve azalan hız periyotlarından oluştuğunu tespit etmişlerdir. Elde ettikleri deneysel sonuçları Lewis, Page, ve Henderson ve Pabis modelleriyle istatistiksel parametrelere göre karşılaştırmışlar ve bu modeller arasında Page modelinin hem mikrodalga hem de sıcak hava yöntemiyle kurutulan ürünlerin verilerini en iyi şekilde tanımladığını belirlemişlerdir.

Fang ve ark. (2011), Çin Hünnap (*Zizyphus jujuba* Miller) meyvesini sıcak hava ve sıcak hava-mikrodalga kombinasyonu kurutma yöntemlerini kullanarak kurutmuşlardır. Çalışmalarında 60°C hava sıcaklığıyla 45, 65 ve 90W mikrodalga güçlerini kullanmışlardır. Deneylerinde sıcak hava-mikrodalga kombinasyonu kurutma yöntemini uygulayabilmek için örnekleri ilk olarak sıcak hava ile toplam kurutma oranlarının %50'si kadar kurutmuşlar daha sonra 3 farklı mikrodalga seviyesini uygulamışlardır. Kurutma çalışmalarını %30, 40 ve 50 ilk neme sahip örnekler için ayrı ayrı yapmışlardır. Mikrodalga-sıcak hava kombinasyonu kurutma yönteminin enerji tüketimi açısından sıcak hava kurutma yöntemine göre %55 tasarruf sağladığını bildirmişlerdir. Yeniden su alma kapasitesi açısından kombine kurutmanın yalnızca mikrodalga ve yalnızca sıcak hava kurutma yöntemine göre daha yüksek olduğunu, vitamin C korunumu ve daha az kararma gibi avantajlar sağladığını bildirmişlerdir. Deneysel verilerinin sonucunda en az enerji tüketimi ve yüksek ürün kalitesi parametrelerine göre sıcak hava (60°C) ve 45W mikrodalga kombinasyonun en iyi sonucu verdiğini tespit etmişlerdir.

Soysal ve ark. (2009a), kırmızıbiber kurutmada en uygun kurutma koşullarının belirlenebilmesi için çeşitli mikrodalga-konvektif kombinasyonu kurutma yöntemi uygulamalarının etkinliklerini kurutulan ürününün kuruma davranışları ve kalite özellikleri bakımından incelemişlerdir. Bu amaçla ürün kalite parametreleri olarak renk ( $L^*$ ,  $a^*$  ve  $b^*$  koordinatları), tekstürel özellikler (sertlik) ve duyuşsal nitelikler (genel görünüş, renk, tekstür ve genel beğeni) analizlerini yapmışlardır. Yapmış oldukları mikrodalga-konvektif hava ile kurutma denemelerinde 597,20 ve 697,87W mikrodalga çıkış güçlerini kullanmışlar ve kurutulan ürüne hem kesikli hem de sürekli modda

mikrodalga enerjisi uygulamışlardır. Deneylelerinin sonucunda sürekli mikrodalga-konvektif kurutmanın diğer kurutma yöntemlerine göre daha az kuruma süresi sağladığını ancak bu yöntem ile kurutulan ürünlerin zayıf kalite özelliklerine sahip olduklarını belirlemişlerdir. Kesiklik oranı 3,0 kurutma hava sıcaklığı 35°C ve mikrodalga çıkış gücü 597,20W olan kesikli mikrodalga-konvektif kurutma kombinasyonu yönteminin konvektif kurutma yöntemine göre karşılaştırıldığında kurutma süresi, yüksek ürün kalitesi, daha iyi fiziksel özellikler (renk ve tekstür) ve duyu nitelikler bakımından daha iyi sonuçlar sağladığını bildirmişlerdir.

Soysal ve ark. (2009b), kekik kurutmada kesikli mikrodalga-konvektif kombinasyonu kurutma yönteminin etkinliğini incelemişler, sürekli mikrodalga-konvektif kombinasyonu kurutma yöntemi ve konvektif kurutma yöntemleriyle karşılaştırmışlardır. Hem kesikli hem de sürekli mikrodalga-konvektif kombinasyonu kurutma yöntemlerinin konvektif yöntemine göre daha hızlı kurutma sağladıklarını belirlemişlerdir. Bu sonuçlara bağlı olarak sürekli mikrodalga-konvektif kurutma yöntemiyle kuruyan ürünlerin en kısa kuruma sürelerine sahip olduklarını tespit etmişlerdir. Sabit hava sıcaklığında mikrodalga kesiklik oranını 3,0'dan 5,0'a çıkardıklarında spesifik enerji tüketiminin önemli ölçüde düştüğünü, sabit mikrodalga kesiklik oranında ise artan sıcaklıkla birlikte spesifik enerji tüketiminin arttığını belirlemişlerdir. En yüksek uçucu yağ içeriklerini konvektif kurutmada 40 ve 45°C sıcaklıklardan elde etmişler, ancak uzun kurutma süresine nedeniyle kekiğin konvektif kurutulmasında bu sıcaklıkları tavsiye etmemişlerdir. Çalışmalarının sonucunda hem kesikli hem de sürekli mikrodalga-konvektif kombinasyonu kurutma yöntemleriyle kurutulan ürünlerin kabul edilebilir renk değerleri sağlamadıklarını bildirmişlerdir. Ancak uçucu yağ içeriği ve kalite açısından kekiğin kurutulmasında en uygun kurutma yönteminin kesiklik oranı 5,0 ortam sıcaklığı 25°C olan kesikli mikrodalga-konvektif kombinasyonu kurutma yöntemi olduğunu, ayrıca bu yöntemin kullanılan diğer yöntemlere göre uygun kuruma süresi ve enerji tüketimi sağladığını belirlemişlerdir.

Witrowa-Rajchert ve ark. (2009), mor renge sahip dilimlenmiş havuç köklerinin kurutulmasında konvektif kurutma, mikrodalga-konvektif kurutma, kızılötesi-konvektif kurutma ve dondurarak kurutma yöntemlerini karşılaştırmışlardır. Konvektif kurutmaya mikrodalga ya da kızılötesi kurutma yöntemi eklendiğinde kurutulan örneklerin kurutma



sürelerinin oldukça azaldığını, en uzun kurutma sürelerinin dondurarak kurutma yöntemiyle kurutulan örneklerden elde edildiğini bildirmişlerdir. Ancak kurutulan örneklerin yeniden su alma kapasitelerini incelediklerinde dondurarak kurutma yöntemiyle kurutulan örneklerin yeniden su alma kapasitelerinin diğer kurutma yöntemleriyle kurutulan örneklere göre daha yüksek olduklarını belirlemişlerdir.

Witrowa-Rajchert ve Rzaca (2009), konveksiyonel, mikrodalga-konveksiyonel ve kızılötesi-konveksiyonel kurutma yöntemlerini kullanarak elma dilimlerini kurutmuşlardır. Çalışmalarında kurutmuş oldukları elma dilimlerinin hem mikroyapılarını hem de yoğunluk, porozite ve büzülme gibi fiziksel özelliklerini incelemişlerdir. Elde ettikleri deneysel verilerin sonucunda mikrodalga ve kızılötesi kurutma yöntemiyle kurutulan elma dilimlerinin konveksiyonel kurutma yöntemiyle kurutulan elma dilimlerine göre %11-12 daha az büzülme, %30-34 daha az hacimsel değişiklik ve %25-28 daha yüksek porozite oranlarına sahip olduklarını belirlemişlerdir. Elma dilimlerinin yapısal değişikliklerini gözlemlemek için taramalı elektron mikroskop kullanmışlardır. Elde ettikleri görüntülere göre konvektif kurutma yöntemiyle kurutulan elma dilimlerinin hücre dağılımı boyutlarında önemli değişimler gözlemlenirken mikrodalga ve kızılötesi kurutma yöntemiyle kurutulan elmaların hücrelerinde bu değişimlerin daha geniş bir kesit alanına yayıldıklarını tespit etmişlerdir.

Eştürk ve Soysal (2010), farklı mikrodalga-konvektif kurutma uygulamalarının dereotu yapraklarının kuruma kinetikleri, renk ve duyu kaliteleri üzerine etkilerini araştırmışlardır. Kurutma işleminde uygulanan hava sıcaklığı arttıkça kuruma süresinin kısaldığını, kuruma hızının ise arttığını, ayrıca kurutmada kesiklilik oranı arttıkça kuruma süresinin uzadığını belirlemişlerdir. Deneysel olarak elde ettikleri kuruma eğrilerini Page, Logaritmik, Midilli, Wang ve Singh ve Logistic eşitliklerini kullanılarak modellemişler ve dereotu yapraklarının mikrodalga-konvektif kuruma eğrilerinin matematiksel olarak ifade edilmesinde Page modelinin tatmin edici sonuçlar verdiği sonucuna varmışlardır. Taze ürünle kıyaslandığında, mikrodalga-konvektif kurutma yöntemi ile kurutulan ürünlerin tamamında renk parlaklığı ( $L^*$ ), renk yeşilliği ( $-a^*$ ) ve renk sarılığının ( $+b^*$ ) azaldığını tespit etmişlerdir. Mikrodalga kesiklilik oranı arttıkça ve kullanılan hava sıcaklığı düştükçe taze ürün renginden sapmanın arttığını tespit etmişlerdir. Renk ve duyu değerlendirme sonuçlarına göre ürün kalitesini dikkate

aldıklarında, sürekli mikrodalga-konvektif kurutma uygulamalarının kesikli mikrodalga-konvektif kurutma uygulamalarına göre daha iyi sonuçlar sağladığını belirlemişlerdir.

Bingöl ve Devres (2010), Türkiye'nin önemli ihrac ürünlerinden olan üzümün kuruması esnasında kararmaya neden olan polifenol oksidaz enziminin, çocuklarda ve yaşlılarda astım ve mide rahatsızlıklarına neden olabilen sülfite kullanılmadan inaktive edilmesi ve aynı zamanda kuruma hızının artırılmasını amaçlamışlardır. Kurutma hızını daha da arttırmak ve iyi bir son ürün elde edebilmek amacıyla üzümleri kurutma işleminden önce 40°C sıcaklığındaki etil oleat ve potasyum karbonat içeren çözelti içine 3 dakika süreyle daldırılmışlar ya da 90°C'deki buharla 140 saniye süreyle haşlayarak ön işlem uygulamışlardır. Üzümleri ön işlemlerden sonra mikrodalga yardımlı konvektif kurutucuda 0,25 W/g mikrodalga güç oranı ve 60°C sıcaklığında ortalama 1,8 m/s hızındaki sıcak hava ile kurutmuşlardır. Matlab programının Eğri Yaklaşırma (CFT) araç kutusunu kullanılarak kuruma eğrilerini literatürdeki ince tabaka modelleri ile tanımlamışlardır. Kuruma esnasındaki sıcaklık değişimlerini fiber optik prob kullanılarak ölçmüşler ve Matlab programının Kısmi Diferansiyel Denklem (PDE) araç kutusunu kullanılarak matematiksel olarak modellemiş ve simüle etmişlerdir. Matematiksel modelde mikrodalga enerjisini hacimsel ısı üretim kaynağı olarak kabul etmişler ve kuruma esnasında meydana gelen ve ince tabaka modelleriyle hesaplanan nem kaybını, evaporatif ısı kaybı olarak modele dahil etmişlerdir. Sonuçları literatürdeki çalışmalar ile karşılaştırmışlar ve elde ettikleri sonuçların literatürdeki çalışmalarla uyumlu olduklarını bildirmişlerdir.

Kouchakzadeh ve Shafeei (2010), mikrodalga-konvektif kurutma yöntemini kullanarak iki farklı İran fıstık çeşidini (Khany ve Abasaliy) kurutmuşlardır. Elde ettikleri deneysel sonuçları Newton, Page, Henderson ve Pabis, Logaritmik, Wang ve Singh, İki Terimli ve İki Terimli Eksponansiyel modelleriyle istatistiksel parametrelere göre karşılaştırmışlar ve elde ettikleri sonuçlara göre en iyi sonuçların Page modelinden elde edildiğini belirlemişlerdir.

Dev ve ark. (2011), *Moringa oleifera* ağacının yapraklarını mikrodalga yardımlı sıcak hava kurutma yöntemini kullanarak kurutmuşlardır. Deneylerinde 50, 60 ve 70°C sıcaklıklar ile 1 W/g mikrodalga yoğunluğunu kullanmışlardır. Kalite parametreleri

olarak taze ve kurutulmuş örnekler için renk, yeniden su alma oranı ve uçucu bileşik özelliklerini belirlemişler ve bu özelliklere göre gerekli analiz ve karşılaştırmaları yapmışlardır. Deneylerinde mikrodalga yardımcı sıcak hava kurutma yönteminin sıcak hava kurutma yöntemine göre %80 daha az zaman gerektirdiğini bildirmişlerdir. En iyi renk sonuçlarını 60°C sıcaklık ve 1 W/g mikrodalga gücünden elde etmişlerdir. Yeniden su alma oranının mikrodalga yardımcı sıcak hava yöntemiyle kurutulan örneklerde sıcak hava yöntemiyle kurutulan örneklerle göre daha iyi olduğunu belirlemişlerdir. En yüksek uçucu bileşikleri 50°C sıcaklık ve 1 W/g mikrodalga gücünden elde etmişlerdir. Ayrıca elde ettikleri deneysel verileri Page modeliyle modellemişlerdir.

Mohanta ve ark. (2011), zencefil dilimlerini (4 mm kalınlıkta) konvektif (25, 40, 50 ve 60°C), mikrodalga (120, 240 ve 360W) ve mikrodalga-konvektif kurutma yöntemlerini kullanarak kurutmuşlardır. Çalışmalarında kurutmuş oldukları ürünlerin yeniden su alma özelliklerini incelediklerinde 50 ve 60°C sıcaklıklardaki konvektif kurutma yöntemiyle ve 120W-40°C kombinasyonu konvektif-mikrodalga kurutma yöntemiyle kurutulan ürünlerin yeniden su alma sonuçlarının kabul edilebilir olduklarını diğer kurutma yöntemler ile kurutulan ürünlerin yeniden su alma sonuçlarının kabul edilebilir sonuçlar sağlamadıklarını belirlemişlerdir. Buna bağlı olarak maksimum yeniden su alma kapasitesi hız sonuçlarını 50 °C sıcaklıkta konvektif kurutma yöntemiyle kurutulan ürünlerden elde etmişlerdir. En iyi renk değerlerini ise 120W-50°C ve 120W-60°C koşullarında kuruttukları ürünlerden elde etmişlerdir. Duyusal analiz sonuçlarına göre 120W-50°C ve 240W-50°C kombinasyonlarında kurutulan ürünlerden en iyi sonuçları elde etmişlerdir. Çalışmalarında 120W-50°C kombinasyonunda kurutulan ürünlerin kurutma süresi bakımından 50 ve 60°C sıcaklıklarda konvektif kurutma yöntemine göre kurutulan ürünlerden sırasıyla %44 ve %53 zaman kazanımı sağladığını, 240W-50°C için ise bu oranın %89 ve %91 olduğunu tespit etmişlerdir.

Workneh ve ark. (2011), domates dilimlerini sıcak hava, mikrodalga ve sıcak hava-mikrodalga kurutma yöntemlerini kullanarak kurutmuşlardır. Mikrodalga kurutma için 1,13, 2,08 ve 3,11 W/g mikrodalga gücü yoğunluklarını, sıcak hava kurutma için 40, 50 ve 60°C sıcaklıkları, mikrodalga-sıcak hava kurutma yöntemi için 50°C hava sıcaklığı 1,13, 2,08 ve 3,11 W/g mikrodalga gücü yoğunluklarını kullanmışlardır. Elde ettikleri deneysel verileri Henderson ve Pabis, Lewis ve Page modelleriyle istatistiksel

parametrelere göre karşılaştırmışlar ve bu 3 modelinde deneysel verilerle yüksek bir oranda uyum içersinde olduklarını belirlemişlerdir. Deneyslerinde kurama sürelerinin artan mikrodalga güçlerinde ve sıcaklıklarda azaldığını ve domates dilimlerinin kurutulmasında mikrodalga yardımcı sıcak hava kurutmanın 50°C hava sıcaklığıyla kurutulmasına göre %84 zaman kazanımı sağladığını tespit etmişlerdir. Çalışmalarının sonucunda mikrodalga yardımcı sıcak hava kurutmanın domates dilimlerinin kurutulması için alternatif bir yöntem olarak düşünülebileceğini, ayrıca bu yöntemle kurutulan domates dilimlerinin renk değerlerinin oldukça iyi sonuçlar olduklarını bildirmişlerdir.

### 3. MATERYAL ve YÖNTEM

#### 3.1. Materyal

Deneyleerde kullanılan taze barbunya, mantar, domates ve patates ürünleri yerel bir marketten alınmış ve deneyleer bitene kadar  $4\pm 0,5^{\circ}\text{C}$  sıcaklık koşullarında muhafaza edilmiştir (Soysal 2004). Numunelerin ilk nem içeriklerinin hesaplanabilmesi için 30 gramlık numuneler  $105^{\circ}\text{C}$  sıcaklıktaki fırında 24 saat kurutulmuştur. Daha sonra elde edilen ilk nem içeriği değerlerinin ortalamaları alınmıştır.



**Şekil 3.1.** Mikrodalga-konvektif kurutma fırınının genel görünüşü

Kurutma deneyleeri Whirlpool firması tarafından üretilen AMW 545 ürün koduna sahip mikrodalga-konvektif fırın ile yapılmıştır. Kurutma sistemine ait genel görünüş Şekil 3.1’de, mikrodalga-konvektif fırının teknik özellikleri Çizelge 3.1’de verilmiştir. Deneyleerde ürünlerin ağırlık ya da nem kayıpları mikrodalga-konvektif fırının altına özel olarak yerleştirilmiş bir adet terazi (Baster, Turkey) ile elde edilmiştir. Bu şekilde kurutma deneyleeri hiçbir kesintiye uğramamış ve elde edilen sonuçların tam olarak doğru olması sağlanmıştır.

**Çizelge 3.1.** Mikrodalga-konvektif fırının teknik özellikleri

Özellikler	Değerler
Dış Yükseklik	455 mm
Dış Genişlik	595 mm
Dış Derinlik	560 mm
İç Yükseklik	210 mm
İç Genişlik	450 mm
İç Derinlik	420 mm
Elektrik Voltajı	220V/50Hz
Programlama/Saat	Dijital
Mikrodalga Çıkış Gücü	900W
Izgara Çıkış Gücü	1600W
Fanlı Hava Çıkış Gücü	1200W
Net Ağırlık	41 kg

Mantar ve patates örneklerini küp şekline ( $0,7 \text{ cm}^3$ ) getirmek için bir adet küp dilimleyici (Börner, Almanya) kullanılmıştır. Ayrıca mikrodalga-konvektif fırının fan hızını belirlemek amacıyla  $0,1 \text{ m/s}$  hassasiyete sahip bir adet dijital anemometre (Thies clima, Almanya) kullanılmıştır.

### 3.1.1. Renk ölçüm cihazı

Taze ve kurutulmuş ürünlerin renk ölçümlerini yapmak için renk ölçüm cihazı (MSEZ-4500L, HunterLab, Virginia, USA) kullanılmıştır. Bu cihaz ile rengin parlaklığında meydana gelen değişimleri ifade eden  $L^*$  değeri, renginin kırmızı ile yeşil renk skalası içinde nerede bulunduğunu gösteren  $a^*$  değeri ve mavi ile sarı renk skalası içinde nerede olduğunu belirten  $b^*$  değeri okunmaktadır.  $L^*$  değeri 0 ile 100 aralığında değerlendirilmektedir. 0 siyahlığı, 100 ise beyazlığı ifade etmektedir. Rakam küçüldükçe parlaklığın azaldığı anlaşılmaktadır.  $a^*$  değeri (-) den (+) ya doğru değişmektedir. (-) yeşil rengi, (+) ise kırmızı rengi göstermektedir.  $b^*$  değeri (-)'de maviliği belirtirken, (+)'da sarılığı belirtmektedir (Prachayawarakorn ve ark. 2004, Köse ve Erentürk 2010). Renk ölçümleri cihazın aydınlatma konumunda stewart yansıtıcı plakaya göre kalibrasyonu yapıldıktan sonra yapılmıştır (Odjo ve ark. 2012).

Numunelerin dış yüzeylerinde okuma işlemleri yapılmış, ölçümler 3 kez tekrarlanmış ve ortalamaları alınmıştır (Cheng ve ark. 2006). Ölçülen L\*, a\* ve b\* değerleri tüketiciler tarafından algılanan renk olguları olmadığı için bu değerlerden insanların renk algısına hitap eden kroma (C) ve Hue açısı ( $\alpha$ ) değerleri hesaplanmaktadır (McGuire 1992). Kırmızılık ve sarılık değerlerini birlikte ele alan ve metrik renk kroması olarak tanımlanan C değeri rengin doygunluğunu (yoğunluk) göstermekte olup, canlı renklerde yüksek iken donuk renklerde düşüktür. Renk tonu ölçüsü olan Hue açısı ( $\alpha$ ) ise bir renk dairesi olarak tanımlanmakta olup kırmızı, sarı, yeşil ve mavi 0°, 90°, 180° ve 270° açılarda konumlanmıştır (Luo 2006). Hue değerinin a\* ve b\* değerlerinin açı değeri olarak ifadesi olduğundan a\* ve b\* değerleri hakkındaki en iyi yorumu Hue değerinin verebileceği bildirilmiştir (Voss 1992, Özdemir ve ark. 2008). C ve  $\alpha$  değerlerinin hesaplanmasında kullanılan eşitlikler aşağıda belirtilmiştir (Soysal 2004, Karaaslan ve Tunçer 2008):

$$C = \sqrt{(a^2 + b^2)} \quad (3.1)$$

$$\alpha = \tan^{-1}\left(\frac{b}{a}\right) \quad (3.2)$$

### 3.1.2. Taramalı elektron mikroskobu

Deneyleerde kullanılan taze ve kurutulmuş ürünlerin yapısal özelliklerine ait mikro görüntüleri Uludağ Üniversitesi, Fen-Edebiyat Fakültesi, Mikroskopi Laboratuvarı'nda bulunan CARL ZEISS/EVO 40 taramalı elektron mikroskobu ile belirlenmiştir. İncelenecek numunelerin çeşitli kısımları doğrudan üzerinde her iki yüzeyi de yapışkan karbon bant bulunan alüminyum disklere uygun şekilde yerleştirilmiştir. Daha sonra örnekler, BAL-TEC SCD 005 kaplama cihazı yardımıyla Altın Palladium ile 40-50 nm kalınlığında kaplanmıştır. Kaplanmış olan örnekler, elektron mikroskobu ile 20 kV'da incelenmiş ve mikrofotografı çekilmiştir. Uygulanan farklı kurutma şartlarının örnekler üzerinde etkilerinin mikroyapılarının incelenmesinde, domates örneklerinin dış yüzeyleri, barbunya, mantar ve patates örneklerinin iç yüzeyleri dikkate alınarak incelenmiştir.

### 3.2.Yöntem

Barbunya, domates, mantar ve patates örneklerinin kurutulması çalışmalarında konvektif, mikrodalga ve mikrodalga-konvektif kombinasyonu kurutma yöntemleri kullanılmıştır. Konvektif kurutma yönteminde tüm örnekler için 50 ve 75°C sıcaklıklar uygulanmıştır. Mikrodalga kurutma yönteminde barbunya örnekleri için 90 ve 160W, domates ve mantar örnekleri için 90, 160, 350 ve 500W, patates örnekleri için ise 160, 350 ve 500W mikrodalga güçleri kullanılmıştır. Mikrodalga-konvektif kombinasyonu kurutma yönteminde barbunya, domates ve mantar örnekleri için 90W-50°C, 90W-75°C, 160W-50°C ve 160W-75°C mikrodalga güçleri ve sıcaklıkları uygulanırken, patates örnekleri için 160W-50°C, 160W-75°C, 350W-50°C ve 350W-75°C mikrodalga güçleri ve sıcaklıkları uygulanmıştır. Konvektif kurutma deneylerinde kullanılan sıcak hava hızı 1 m/s olarak tespit edilmiştir.

#### 3.2.1. Nem içeriğinin hesaplanması

Kurutma deneyleri sonunda kuruma eğrilerinin çizilmesi ve kurutma işleminin modellenmesi için denemelerde alınan ağırlık azalmaları verilerinin nem içeriği ve boyutsuz nem içeriği değerlerine dönüştürülmesi gerekir (Dadalı 2007). Aşağıda verilen Eşitlik 3.3 ile deneysel verilerin herhangi bir  $t$  anındaki nem içeriği değerleri hesaplanmıştır.

$$M_t = \frac{m - KM}{KM} \quad (3.3)$$

$M_t$  : 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.

#### 3.2.2. Nem oranının hesaplanması

Modellemede boyutsuz nem içeriği olan  $MR$  kullanıldığından nem içeriği boyutsuz nem içeriğine aşağıda verilen Eşitlik 3.4 ile çevrilmiştir (Doymaz 2006, Özbek ve Dadalı 2007, Karaaslan ve Tunçer 2008).



$$MR = \frac{M_t - M_e}{M_o - M_e} \quad (3.4)$$

$MR$  : Nem oranı (birimsiz)

$M_e$  : 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.

### 3.2.3. Kuruma hızının hesaplanması

Kuruma hızı, aşağıdaki Eşitlik 3.5 ile nem içeriğine karşılık kuruma zamanı eğrilerinin türevlerinin alınması ile bulunmuştur (Dadalı 2007, Therdthai ve Zhou 2009).

$$\text{Kuruma Hızı} = \frac{M_{t+dt} - M_t}{dt} \quad (3.5)$$

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

$dt$  : Kuruma zamanı (dakika)

olarak tanımlanmıştır.

### 3.2.4. Kuruma eğrilerinin matematiksel modellenmesi

Çalışmalarda kullanılan 10 adet ince tabaka kurutma modeli (Eşitlik 3.6-3.15) aşağıda numaralandırılmış halde sunulmuştur.

(1) Henderson ve Pabis modeli (Westerman ve ark. 1973)

$$MR = a \exp(-kt) \quad (3.6)$$

$a$  : Katsayı (birimsiz)

$k$  : Kinetik sabit (dak<sup>-1</sup>)

$t$  : Kuruma zamanı (dak)

(2) Newton modeli (Ayensu 1997)

$$MR = \exp(-kt) \quad (3.7)$$

$k$  : Kinetik sabit (dak<sup>-1</sup>)

$t$  : Kuruma zamanı (dak)

(3) Page modeli (Agrawal ve Singh 1977)

$$MR = \exp(-kt^n) \quad (3.8)$$

$k$  : Kinetik sabit (dak<sup>-1</sup>)

$t$  : Kuruma zamanı (dak)

$n$  : Katsayı (birimsiz)

(4) Geliştirilmiş Page modeli (White ve ark. 1981)

$$MR = \exp(-(kt)^n) \quad (3.9)$$

$k$  : Kinetik sabit (dak<sup>-1</sup>)

$t$  : Kuruma zamanı (dak)

$n$  : Katsayı (birimsiz)

(5) Logaritmik model (Yagcioglu ve ark. 1999)

$$MR = a \exp(-kt) + c \quad (3.10)$$

$a$  : Katsayı (birimsiz)

$k$  : Kinetik sabit (dak<sup>-1</sup>)

$t$  : Kuruma zamanı (dak)

$c$  : Katsayı (birimsiz)

(6) İki Terimli model (Madamba ve ark. 1996)

$$MR = a \exp(-k_0t) + b \exp(-k_1t) \quad (3.11)$$

$a$  : Katsayı (birimsiz)

$k_0$  : Kinetik sabit (dak<sup>-1</sup>)

$t$  : Kuruma zamanı (dak)

$b$  : Katsayı (birimsiz)

$k_1$  : Kinetik sabit ( $\text{dak}^{-1}$ )

(7) Wang ve Singh modeli (Wang ve Singh 1978)

$$MR = 1 + at + bt^2 \quad (3.12)$$

$a$  : Katsayı (birimsiz)

$t$  : Kuruma zamanı (dak)

$b$  : Katsayı (birimsiz)

(8) Difüzyon Yaklaşımı modeli (Kassem 1998)

$$MR = a \exp(-kt) + (1 - a) \exp(-kbt) \quad (3.13)$$

$a$  : Katsayı (birimsiz)

$k$  : Kinetik sabit ( $\text{dak}^{-1}$ )

$t$  : Kuruma zamanı (dak)

$b$  : Katsayı (birimsiz)

(9) Midilli modeli (Midilli ve ark. 2002)

$$MR = a \exp(-kt^n) + bt \quad (3.14)$$

$a$  : Katsayı (birimsiz)

$k$  : Kinetik sabit ( $\text{dak}^{-1}$ )

$t$  : Kuruma zamanı (dak)

$n$  : Katsayı (birimsiz)

$b$  : Katsayı (birimsiz)

(10) İki Terimli Ekspansiyel (Sharaf-Elden ve ark. 1980)

$$MR = a \exp(-kt) + (1 - a) \exp(-kat) \quad (3.15)$$

$a$  : Katsayı (birimsiz)

$k$  : Kinetik sabit ( $\text{dak}^{-1}$ )

$t$  : Kuruma zamanı (dak)

olarak tanımlanmıştır.

#### 3.2.4.1. Yeni bir model geliştirme çalışması

Bu tez çalışmasında kullanılan 10 adet ince tabaka kurutma modelinin yanı sıra, Midilli ve Wang ve Singh modelleri temel alınarak yeni bir model geliştirilmeye çalışılmıştır. Çalışmalar sırasında kapsamlı bir literatür çalışması yapılmış ve şimdiye kadar ulaşılabilen tüm kaynaklarda geliştirilen modelin daha önce kullanılmadığı sonucuna varılmıştır. Hii ve ark. (2009) Page ve İki Terimli kurutma modellerini geliştirerek yeni bir model ortaya koymuşlardır. Geliştirilen bir modelin ulusal ve uluslar arası yayınlarda kabul görmesi için pek çok çalışmanın yapılması gerektiği bilinmektedir. Bu nedenle geliştirilen bu model barbunya, domates, mantar ve patates ürünlerinin nem oranlarının tahmin edilmesinde geçerlidir. Daha sonra değişik ürünlerde yapılacak çalışmalar geliştirilen bu modelin geçerliliğini gösterecektir.

Geliştirilen Model:

$$MR = at + \exp(-kt^n) + bt^2 \quad (3.16)$$

$a$  : Katsayı (birimsiz)

$k$  : Kinetik sabit (dak<sup>-1</sup>)

$t$  : Kuruma zamanı (dak)

$n$  : Katsayı (birimsiz)

$b$  : Katsayı (birimsiz)

#### 3.2.5. İstatistiksel değerlendirmeler

Modelleme çalışmalarında MATLAB (MathWorks Inc., Natick, MA) paket programı kullanılmıştır. Ayrıca elde edilen verilerin istatistiksel olarak değerlendirilmesinde MINITAB (Versiyon 14, Teksas Üniversitesi, Austin, TX, USA) paket programı kullanılarak varyans analizi, tesadüf parselleri faktöriyel deneme desenine (3x6x6) göre analiz edilmiş ve Asgari Önemli Farklılık (LSD) çoklu karşılaştırma testi yapılmıştır. Veriler %1 önem seviyesinde analiz edilmiştir. En iyi modelin belirlenmesinde ki-kare

( $\chi^2$ , Eşitlik 3.16), hataların karelerinin karekök ortalaması ( $RMSE$ , Eşitlik 3.17) ve belirtme katsayısı ( $R^2$ ) istatistiksel kriterleri uygulanmıştır (Mengeş ve ark. 2005, Goyal ve ark. 2006, Özbek ve Dadalı 2007).

$$\chi^2 = \frac{\sum_{i=1}^N (MR_{\text{exp},i} - MR_{\text{pre},i})^2}{N - n} \quad (3.16)$$

$$RMSE = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (MR_{\text{pre},i} - MR_{\text{exp},i})^2}{N}} \quad (3.17)$$

$MR_{\text{exp},i}$ ,  $i$ . Deneysel nem oranı,  $MR_{\text{pre},i}$ ,  $i$ . Tahmin edilen nem oranı,  $N$  gözlemlenen deneysel veri adedi,  $R^2$  belirtme katsayısı,  $n$  modelde yer alan bağımsız değişken sayısıdır (Ertekin ve Yıldız 2004, Sharma ve ark. 2005, Wang ve ark. 2007).

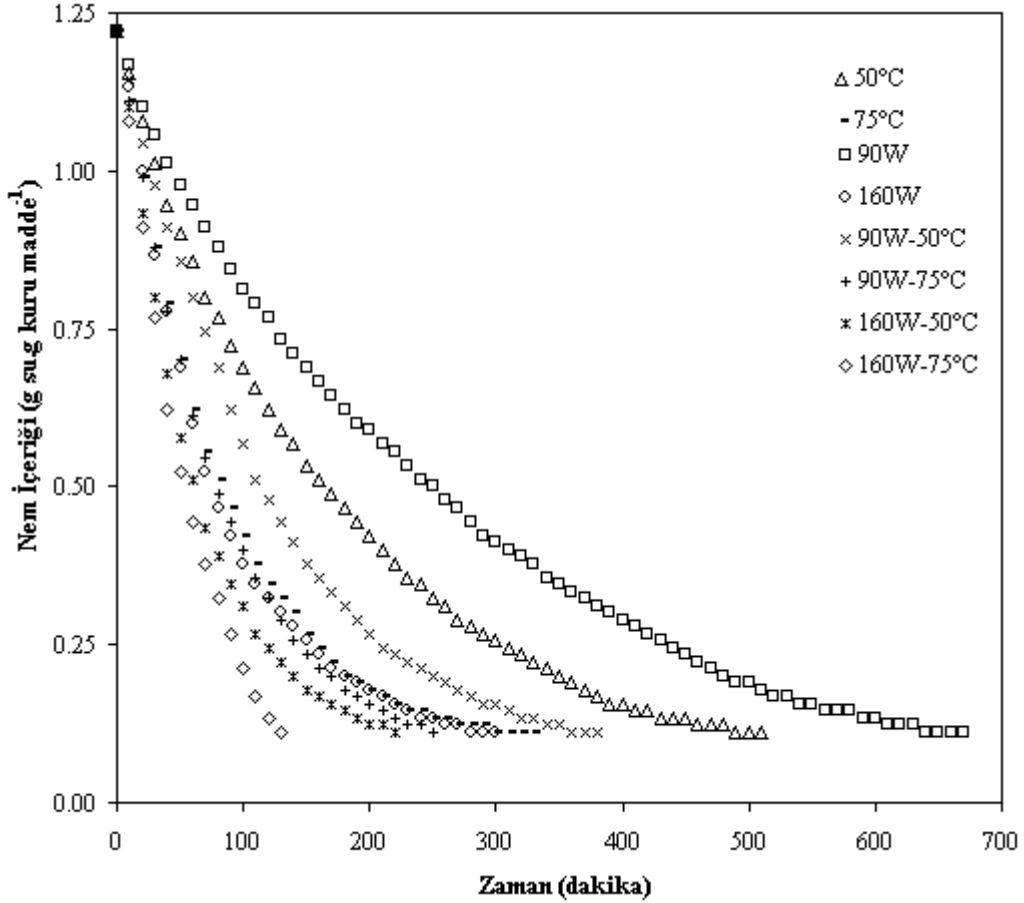
## **4. BULGULAR ve TARTIŞMA**

### **4.1. Barbunya Kurutma**

#### **4.1.1. Barbunya ürününün nem içeriği değişimi**

Şekil 4.1’de farklı mikrodalga güçlerinde ve sıcak hava koşullarında 3 farklı kurutma yöntemiyle kurutulan barbunya örneklerinin nem içeriklerinin zamanla değişimi sunulmuştur. Yapılan çalışmalarda toplam kuruma süreleri dikkate alındığında konvektif kurutmada 50°C sıcaklıkla kurutulan barbunya örnekleri için 510 dakika ve 75°C sıcaklıkla kurutulan barbunya örnekleri için ise 330 dakika kuruma süreleri belirlenmiştir. Mikrodalgayla kurutma yönteminde, 90W mikrodalga gücüyle kurutulan barbunya örnekleri için 670 dakika ve 160W mikrodalga gücüyle kurutulan barbunya örnekleri için ise 300 dakika zaman gerektiği tespit edilmiştir. Son olarak kullanılan mikrodalga-konvektif kombinasyonu kurutma yönteminde 90W-50°C, 90W-75°C, 160W-50°C ve 160W-75°C mikrodalga güçleri ve sıcaklıklarıyla kurutulan barbunya örnekleri için sırasıyla 380, 250, 220 ve 120 dakika toplam kuruma süreleri belirlenmiştir. Tüm kurutma şartları için sonuçlar karşılaştırıldığında, en kısa kuruma süresinin beklenildiği gibi 120 dakika kuruma süresiyle mikrodalga-konvektif kombinasyonu kurutma yönteminde 160W-75°C mikrodalga gücü ve sıcaklığıyla kurutulan barbunya örnekleri için belirlenirken, en uzun kuruma süresi mikrodalga kurutma yönteminde 90W mikrodalga gücüyle kurutulan barbunya örnekleri için 670 dakika ile belirlenmiştir. Deneysel sonuçlara göre barbunya örneklerinin kurutulmasında mikrodalga-konvektif kombinasyonu kurutma yönteminin kullanılması yalnızca mikrodalga ve yalnızca sıcak hava kurutma yöntemi kullanılmasına göre kurutma süresi bakımından büyük oranda zaman kazanımı sağlamıştır. Örneğin, mikrodalga-konvektif kombinasyonu kurutma yönteminde 90W-50°C mikrodalga gücü ve sıcaklığı uygulamasıyla kurutulan barbunya örneklerinin kuruma süresinin mikrodalga kurutma yönteminde 90W mikrodalga gücü kullanılarak kurutulan örneklerden 1,76 kat ve konvektif yöntemde 50°C sıcaklık kullanılarak kurutulan örneklerden 1,34 kat kısa sürdüğü belirlenmiştir. Diğer kurutma şartları içinde benzer sonuçlar elde edilmiştir. Deneysel sonuçlara göre barbunya örneklerinin kurutulmasında toplam kuruma süreleri dikkate alındığında, mikrodalga-konvektif kombinasyonu

kurutma yönteminin yalnızca mikrodalga kurutma ve yalnızca konvektif kurutma yöntemlerine göre zaman kazanımı açısından avantaj sağladığı tespit edilmiştir.



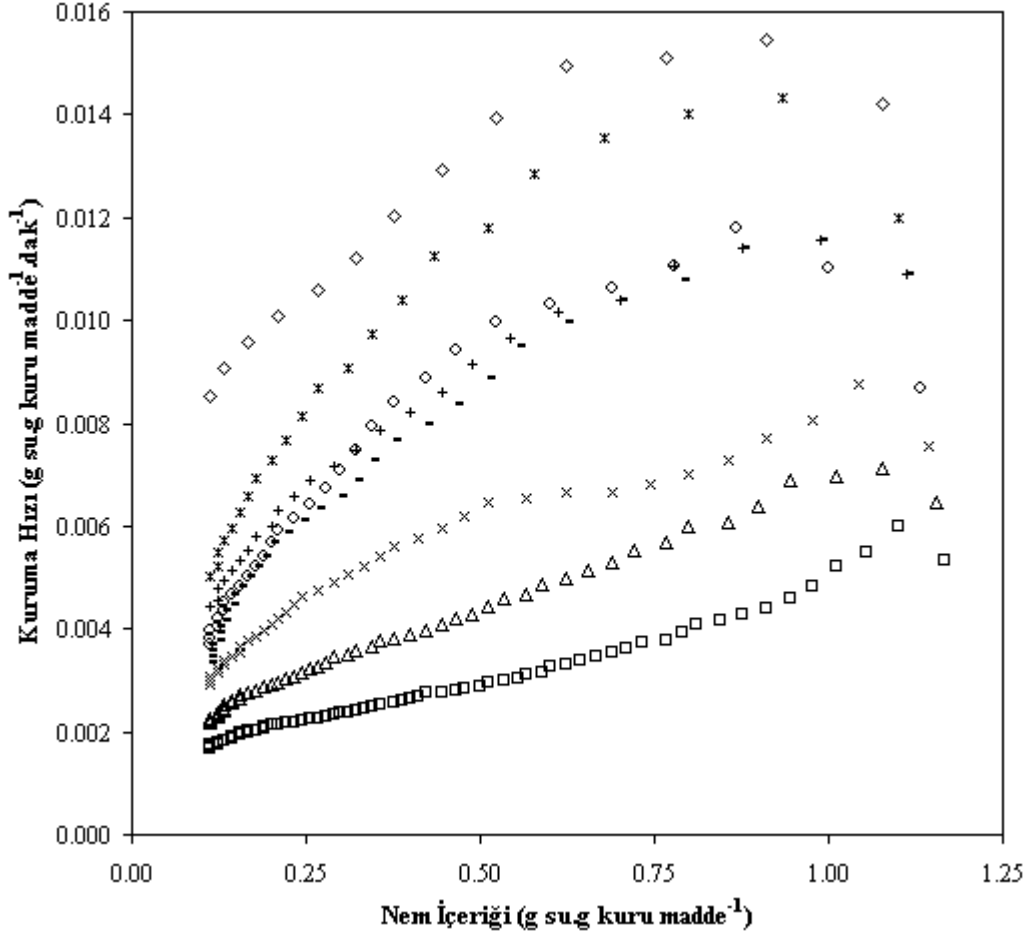
**Şekil 4.1.** Farklı mikrodalga güçleri ve sıcak hava koşullarıyla kurutulan barbunya örneklerinin nem içeriğinin zaman ile değişimi

Barbunya örneklerinin kuruma sonuçları daha önce yapılan çeşitli gıdaların kurutulması çalışmalarından elde edilen sonuçlarla benzer özellikler göstermiştir (Prabhanjan ve ark. 1995, Madamba ve ark. 1996, Khraisheh ve ark. 1997, Sharma ve ark. 2009). Sonuç olarak mikrodalga-konvektif kombinasyonu kurutma yöntemi meyve ve sebzelerin kurutulmasında kurutma süresi bakımından önemli derecede azalmalar sağlamaktadır (Funebo ve Ohlsson 1998, Maskan 2000, Contreras ve ark. 2008).

#### 4.1.2. Barbunya ürününün kuruma hızı değişimi

Kurutulan barbunya örneklerinin kuruma hızlarının zamanla değişimi farklı kurutma şartlarında Şekil 4.2'de verilmiştir. Sonuçlar açıkça göstermiştir ki, barbunya

örneklerinin kuruma davranışları başlangıçta kısa bir ısınma periyodundan sonra azalan hız periyodunda gerçekleşmiştir. Bu sonuçlarla daha önce yapılan çalışmalardan elde edilen sonuçlar arasında iyi bir uyum olduğu görülmektedir (Bayrock ve Ingledew 1997, Freire ve ark. 2001, Therdthai ve Zhou 2009).



**Şekil 4.2.** Konvektif ( $\Delta 50^{\circ}\text{C}$  ve  $-75^{\circ}\text{C}$ ), mikrodalga ( $\square 90\text{W}$  ve  $\diamond 160\text{W}$ ) ve mikrodalga-konvektif kombinasyonu ( $\times 90\text{W}-50^{\circ}\text{C}$ ,  $+ 90\text{W}-75^{\circ}\text{C}$ ,  $* 160\text{W}-50^{\circ}\text{C}$  ve  $\diamond 160\text{W}-75^{\circ}\text{C}$ ) yöntemleriyle kurutulan barbunya örneklerinin kuruma hızlarının nem içerikleri ile değişimi

Barbunya örneklerinin kurutulmasında uygulanan tüm kurutma şartlarından elde edilen kuruma hızları incelendiğinde, mikrodalga kurutma yöntemiyle 90W mikrodalga gücünde kurutulan barbunya örneklerinin kuruma hızları en düşük değerlere sahipken, mikrodalga-konvektif kombinasyonu kurutma yöntemiyle 160W-75°C mikrodalga gücü ve sıcaklığında kurutulan barbunya örneklerinin kuruma hızları en yüksek değerlere sahiptir. Tüm kurutma şartları için, yüksek mikrodalga gücü ve sıcaklık uygulamalarıyla



kurutulan barbunya örneklerinden yüksek kuruma hızları elde edilmiştir. Deneylede uygulanan 3 farklı kurutma yöntemi kurutulan barbunyanın kuruma hızları açısından birbirleriyle karşılaştırıldıklarında, mikrodalga-konvektif kombinasyonu yöntemiyle kurutulan barbunya örnekleri, yalnızca mikrodalgayla ve yalnızca sıcak havayla kurutulan barbunya örneklerine göre daha yüksek kuruma hızlarına sahiptir. Ayrıca tüm kurutma şartlarında kurutulan örneklerin düşük ve yüksek nem seviyelerinden elde edilen kuruma hız değerleri karşılaştırıldığında, yüksek nem seviyelerinde elde edilen kuruma hız değerlerinin düşük nem seviyelerinden elde edilen kuruma hız değerlerinden daha yüksek oldukları tespit edilmiştir (Giri ve Prasad 2007, Mundada ve ark. 2010). Bunun nedeni başlangıçta ürün yüzeyinde bulunan suyun daha fazla mikrodalga enerjisini ya da sıcaklığı emmesidir. Ürünlerden su uzaklaştıkça bu emilim azalmakta ve kuruma hızı yavaşlamaktadır (Sharma ve ark. 2005).

Elde edilen sonuçlara göre tüm kurutma şartları göz önüne alındığında, mikrodalga-konvektif kombinasyonu kurutma yöntemiyle kurutulan barbunya örnekleri diğer kurutma yöntemleriyle kurutulan barbunya örneklerinden daha yüksek kuruma hızlarına sahiptirler ve buna bağlı olarak bu barbunya örneklerinden daha hızlı nem uzaklaştırması sağlanmıştır. Konvektif kurutma yönteminde düşük neme sahip ürünlerin iç kısımlarına sıcaklığın yavaş etki etmesi sonucunda kurutulan ürünlerin kuruma hızları yavaştır ve bununla birlikte bu ürünlerin kuruma süresi değerleri uzun zamanlar gerektirir. Bu problemin aşılması için çoğunlukla mikrodalga kurutma yöntemiyle kombine sistemler kullanılmaktadır. Çünkü mikrodalga yöntemiyle kurutulan ürünlerde mikrodalga enerjisinin ürünün iç kısımlarına kolaylıkla etki etmesi sonucu düşük kuruma hızı ve uzun kuruma süreleri sorunları aşılmaktadır (Al-Duri ve McIntyre 1992, Gögüs ve Maskan 2001). Mikrodalga gücünün en önemli etkisi kombine sistemlerde sıcak havayla oluşan yavaş kuruma hızını arttırmasıdır (Karaaslan ve Tunçer 2008).

#### **4.1.3. Barbunya ürününün kuruma eğrilerinin modellenmesi**

Farklı kurutma şartlarında gözlemlenen nem içeriği değerlerinin nem oranı değerlerine çevrilmesi ve bu değerlerin uygunluğunun çeşitli ince tabaka kurutma modelleriyle analiz edilmesi daha faydalı olabilir (Akpınar 2006). Bölüm 3.2.4'de barbunya örneklerinin kurutulmasında nem oranı değerlerinin tahmin edilmesi için kullanılan 10 farklı ince tabaka kurutma modeli numaralandırılarak verilmiştir. Ayrıca bölüm

3.2.4.1’de Midilli ve Wang ve Singh modelleri esas alınarak geliştirilen model sunulmuştur. Bu modellere göre barbunya örneklerinin konvektif, mikrodalga ve mikrodalga-konvektif kurutma yöntemleriyle kurutulması sırasında elde edilen nem oranı değerlerinin kuruma zamanları ile değişimi modellenmiş ve bu modellere ait kurutma katsayıları,  $R^2$ ,  $\chi^2$  ve RMSE istatistiksel parametrelerinin sonuçları tablolar halinde sunulmuştur (Çizelge 4.1-4.3).

**Çizelge 4.1.** Barbunya örneklerinin farklı sıcaklıklarla kurutulmasında uygulanan modellerden elde edilen katsayı ve istatistiksel analiz sonuçları

No	50°C				75°C			
	Model Katsayıları	$R^2$	RMSE	$\chi^2$ ( $10^{-4}$ )	Model Katsayıları	$R^2$	RMSE	$\chi^2$ ( $10^{-4}$ )
1	a=1,003 k=0,00655	0,9959	0,0176	2,8399	a=1,017 k=0,01284	0,9991	0,0084	0,6702
2	k=0,006529	0,9960	0,0175	2,8086	k=0,01263	0,9988	0,0096	0,9581
3	k=0,005241 n=1,042	0,9965	0,0163	2,3928	k=0,01004 n=1,05	0,9995	0,0062	0,3600
4	k=0,006473 n=1,042	0,9965	0,0163	2,3929	k=0,01249 n=1,05	0,9995	0,0062	0,3992
5	a=1,032 k=0,005619 c=-0,05447	0,9992	0,0077	0,6033	a=1,024 k=0,01225 c=-0,01473	0,9996	0,0054	0,3388
6	a=6,845 k <sub>o</sub> =0,007345 b=-5,841 k <sub>i</sub> =0,007499	0,9961	0,0171	2,6750	a=0,06604 k <sub>o</sub> =0,01302 b=0,9499 k <sub>i</sub> =0,01281	0,9990	0,0087	0,7255
7	a=-0,004656 b=0,00000556	0,9799	0,0390	15,4525	a=-0,008282 b=0,00001687	0,9620	0,0545	30,4554
8	a=0,001856 k=0,2002 b=0,03255	0,9958	0,0179	2,8867	a=1,854 k=0,01046 b=0,8131	0,9996	0,0054	0,3600
9	a=0,9974 k=0,008049 n=0,941 b=-0,0001211	0,9995	0,0064	0,3819	a=1,003 k=0,01113 n=1,025 b=-0,000031	0,9996	0,0053	0,3198
10	a=1,443 k=0,007501	0,9969	0,0153	2,1135	a=1,448 k=0,01454	0,9995	0,0061	0,4144

Çizelge 4.1 incelendiğinde barbunya örneklerinin konvektif kurutma yöntemiyle 50°C sıcaklıkla kurutulmasından elde edilen nem oranı değerlerinin zamanla değişimini istatistiksel parametrelere göre en iyi açıklayan 9 numaralı Midilli modeli olduğu görülmektedir. Aynı kurutma yönteminde barbunya örneklerinin 75°C sıcaklıkla kurutulmasından elde edilen nem oranı değerlerinin zamanla değişimini en iyi açıklamakta kullanılan  $R^2$  (0,9996) değerinin 5 numaralı Logaritmik model, 8 numaralı Difüzyon Yaklaşımı modeli ve Midilli modeli için eşit olduğu görülmektedir. Bu değer

diğer modellerden elde edilen modellerden elde edilen  $R^2$  değerlerinden daha yüksektir. Ancak Logaritmik, Difüzyon Yaklaşımı ve Midilli modelleri kendi aralarında RMSE ve  $\chi^2$  istatistiksel parametreleriyle karşılaştırıldıklarında, Midilli modelinden elde edilen değerlerin daha iyi olduğu tespit edilmiştir. Sonuç olarak konvektif kurutmada 75°C sıcaklık ile kurutulan barbunya örneklerinin nem oranı değerlerini uygulanan 10 farklı ince tabaka modeli arasında Logaritmik, Difüzyon Yaklaşımı ve Midilli modelleri diğer modellere göre daha iyi açıklamaktadır. Bu üç model kendi aralarında karşılaştırıldıklarında ise Midilli modelinin diğer modellere göre daha uygun olduğu sonucuna varılmıştır.

Bu çalışmada kullanılan 10 adet ince tabaka kurutma modelinin yanı sıra, Midilli ve Wang ve Singh modelleri temel alınarak yeni bir model geliştirilmiştir. Konvektif kurutmada 50°C sıcaklıkla kurutulan barbunya örneklerinden deneysel olarak elde edilen nem oranı değerleriyle geliştirilen modelden elde edilen tahmini nem oranı değerlerinin istatistiki olarak incelenmesi sonucu geliştirilen modele ait  $a=-0,001131$ ,  $k=0,01213$ ,  $n=0,6905$  ve  $b=0,0000009426$  katsayı değerleri,  $R^2=0,9997$ ,  $RMSE=0,0045$  ve  $\chi^2=0,2628 \times 10^{-4}$  değerleri belirlenirken, 75°C sıcaklık uygulamasıyla kurutulan barbunya örnekleri için  $a=-0,0001401$ ,  $k=0,01128$ ,  $n=1,016$  ve  $b=0,0000003402$  katsayı değerleri,  $R^2=0,9997$ ,  $RMSE=0,0052$  ve  $\chi^2=0,3396 \times 10^{-4}$  değerleri belirlenmiştir. Bu değerler diğer 10 modelden elde edilen tüm istatistiki değerlerle beraber değerlendirildiğinde, 75°C sıcaklık uygulamasıyla elde edilen  $\chi^2$  değeri haricinde en iyi sonuçları sağlamıştır. Sonuç olarak, geliştirilen model konvektif kurutmada uygulanan 50 ve 75°C sıcaklıklarla kurutulan barbunya örneklerinin nem oranı değerlerinin zamana göre değişimini yeterli düzeyde tanımlayabileceğini göstermiştir.

Çizelge 4.2 incelendiğinde mikrodalga kurutma yöntemi kullanılarak kurutulan barbunya örneklerinin 90W ve 160W mikrodalga güçleri uygulamalarında elde edilen nem oranı değerleri için, literatürde bulunan ve bu çalışmada değerlendirilen tüm ince tabaka kurutma modeller arasında en uygun istatistiksel parametreler 9 numaralı model olan Midilli modelinden elde edilmiştir. Bu modele göre 90W mikrodalga gücü uygulaması için  $R^2=0,9990$ ,  $RMSE=0,0085$  ve  $\chi^2=0,6262 \times 10^{-4}$  değerleri belirlenirken, 160W mikrodalga gücü uygulaması için  $R^2=0,9987$ ,  $RMSE=0,0104$  ve  $\chi^2=1,1773 \times 10^{-4}$  değerleri belirlenmiştir. Sonuç olarak, elde edilen bu değerler Midilli modelinin diğer

modellere göre mikrodalga yöntemiyle kurutulan barbunya örneklerinin nem oranı değerlerinin zamana göre değişimini en iyi açıklayan model olduğunu göstermiştir.

**Çizelge 4.2.** Barbunya örneklerinin farklı mikrodalga güçleriyle kurutulmasında uygulanan modellerden elde edilen katsayı ve istatistiksel analiz sonuçları

No	90W				160W			
	Model Katsayıları	R <sup>2</sup>	RMSE	$\chi^2$ (10 <sup>-4</sup> )	Model Katsayıları	R <sup>2</sup>	RMSE	$\chi^2$ (10 <sup>-4</sup> )
1	a=1 k=0,004463	0,9905	0,0268	6,6290	a=1,031 k=0,01374	0,9985	0,0109	1,2608
2	k=0,004461	0,9906	0,0266	6,5328	k=0,01333	0,9976	0,0138	2,1205
3	k=0,003118 n=1,064	0,9918	0,0247	5,5023	k=0,01019 n=1,059	0,9986	0,0108	1,3174
4	k=0,004409 n=1,064	0,9918	0,0247	5,5020	k=0,01318 n=1,059	0,9986	0,0108	1,3174
5	a=1,072 k=0,003369 c=-0,1136	0,9987	0,0101	0,9309	a=1,033 k=0,01346 c=-0,006398	0,9986	0,0108	1,2549
6	a=1,006 k <sub>o</sub> =0,003627 b=-0,04419 k <sub>1</sub> =-0,001119	0,9987	0,0100	0,9010	a=17,56 k <sub>o</sub> =0,01173 b=-16,7 k <sub>1</sub> =0,01174	0,9681	0,0508	26,6381
7	a=-0,003254 b=0,00000028	0,9847	0,0339	11,2186	a=-0,00891 b=0,0000197	0,9619	0,0555	31,5343
8	a=0,00585 k=0,2594 b=0,0171	0,9903	0,0270	6,6975	a=1,038 k=0,01316 b=0,7161	0,9975	0,0141	2,1393
9	a=0,987 k=0,006142 n=0,9081 b=-0,0001707	0,9990	0,0085	0,6262	a=1,018 k=0,01154 n=1,036 b=-0,0000014	0,9987	0,0104	1,1773
10	a=1,505 k=0,005298	0,9927	0,0234	4,9312	a=1,467 k=0,01552	0,9983	0,0118	1,5816

Mikrodalga kurutmada, 90W mikrodalga gücüyle kurutulan barbunya örneklerinden deneysel olarak elde edilen nem oranı değerleriyle geliştirilen modelden elde edilen tahmini nem oranı değerlerinin istatistiki olarak incelenmesi sonucu geliştirilen modele ait a=-0,001131, k=0,01213, n=0,6905 ve b=0,0000009426 katsayı değerleri, R<sup>2</sup>=0,9997, RMSE=0,0050 ve  $\chi^2=0,2702 \times 10^{-4}$  değerleri belirlenirken, 160W mikrodalga gücü uygulamasıyla kurutulan barbunya örnekleri için a=0,0006021, k=0,007931, n=1,144 ve b=-0,000002078 katsayı değerleri, R<sup>2</sup>=0,9992, RMSE=0,0081 ve  $\chi^2=0,6936 \times 10^{-4}$  değerleri belirlenmiştir. Bu değerler diğer 10 modelden elde edilen tüm istatistiki değerlerle beraber değerlendirildiğinde en iyi sonuçları sağlamıştır. Sonuç olarak, geliştirilen model kullanılan diğer modellere göre mikrodalga yöntemiyle

kurutulan barbunya örneklerinin nem oranı değerlerinin zamana göre değişimini en iyi şekilde açıklamıştır.

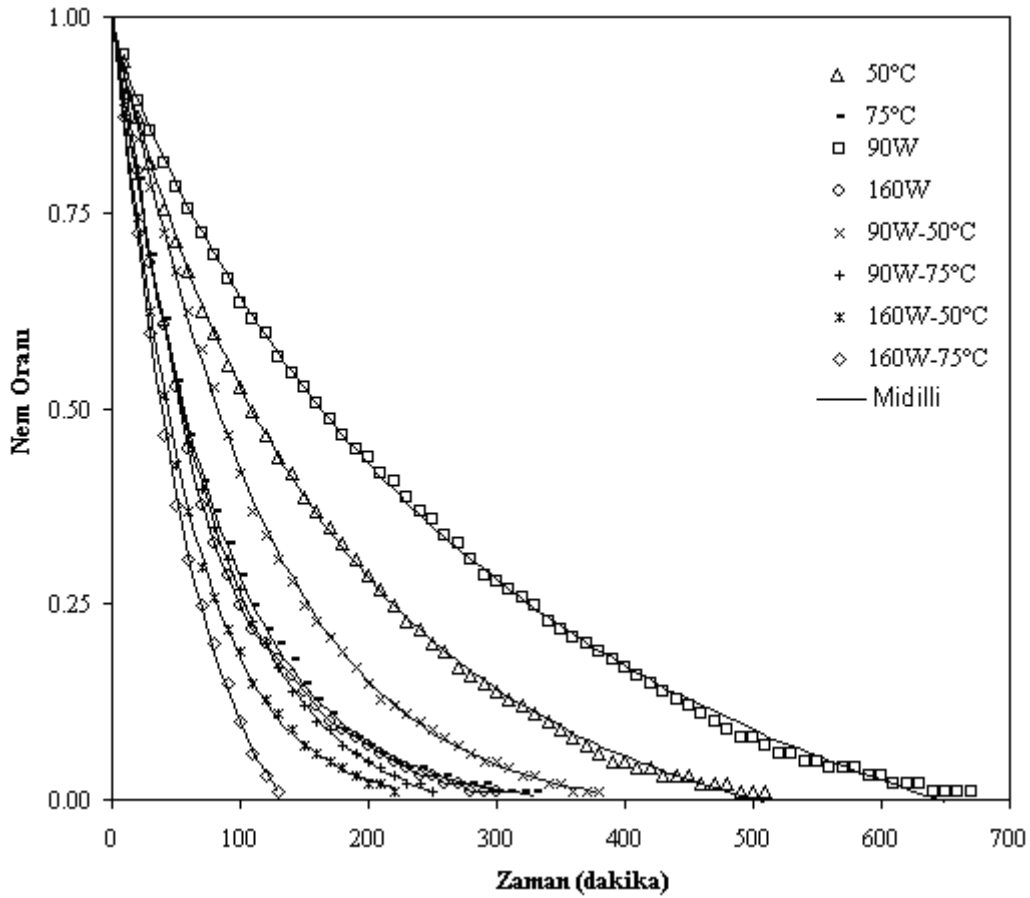
Mikrodalga-konvektif kombinasyonu kurutma yöntemi kullanılarak kurutulan barbunya örneklerinden elden edilen nem oranı değerlerini açıklamada kullanılan 10 farklı ince tabaka kurutma modelinden elde edilen sonuçlar Çizelge 4.3’de sunulmuştur. Sonuçlar incelendiğinde, 160W-50°C mikrodalga gücü ve sıcaklığı uygulamasında 3 numaralı Page modeli, 4 numaralı geliştirilmiş Page modeli ve 9 numaralı Midilli modelinden elde edilen  $R^2$  değeri eşittir. Ancak RMSE ve  $\chi^2$  değerleri açısından Midilli modeli daha uygun bulunmuştur. Midilli modeli diğer mikrodalga-konvektif kombinasyonlarıyla kurutulan barbunya örnekleri için en uygun  $R^2$ , RMSE ve  $\chi^2$  değerlerine sahiptir.

Mikrodalga-konvektif kombinasyonu kurutmada, 90W-50°C mikrodalga gücü ve sıcaklığı uygulamasıyla kurutulan barbunya örneklerinden deneysel olarak elde edilen nem oranı değerleriyle geliştirilen modelden elde edilen tahmini nem oranı değerlerinin istatistiki olarak incelenmesi sonucu geliştirilen modele ait  $a=-0,0001461$ ,  $k=0,005743$ ,  $n=1,081$  ve  $b=0,0000002496$  katsayı değerleri,  $R^2=0,9991$ ,  $RMSE=0,0087$  ve  $\chi^2=0,6737 \times 10^{-4}$  değerleri belirlenirken, 90W-75°C mikrodalga gücü ve sıcaklığı uygulamasıyla kurutulan barbunya örnekleri için  $a=-0,00009187$ ,  $k=0,00959$ ,  $n=1,066$  ve  $b=0,000000024$  katsayı değerleri,  $R^2=0,9998$ ,  $RMSE=0,0038$  ve  $\chi^2=0,1993 \times 10^{-4}$  değerleri, 160W-50°C mikrodalga gücü ve sıcaklığı uygulamasıyla kurutulan barbunya örnekleri için  $a=0,0006375$ ,  $k=0,01038$ ,  $n=1,135$  ve  $b=-0,000002958$  katsayı değerleri,  $R^2=0,9995$ ,  $RMSE=0,0064$  ve  $\chi^2=0,5151 \times 10^{-4}$  değerleri 160W-75°C mikrodalga gücü ve sıcaklığı uygulamasıyla kurutulan barbunya örnekleri için  $a=0,001738$ ,  $k=0,01045$ ,  $n=1,187$  ve  $b=-0,000015280$  katsayı değerleri,  $R^2=0,9995$ ,  $RMSE=0,0074$  ve  $\chi^2=0,6139 \times 10^{-4}$  değerleri belirlenmiştir. Bu değerler diğer 10 modelden elde edilen tüm istatistiki değerlerle beraber değerlendirildiğinde, 90W-50°C ve 90W-75°C mikrodalga güç ve sıcaklık kombinasyonları uygulamalarında ikinci en iyi değerleri sağlarken, 160W-50°C ve 160W-75°C mikrodalga ve sıcaklık kombinasyonları uygulamalarında en iyi değerleri sağlamıştır. Midilli modeli ile geliştirilen model 90W-50°C ve 90W-75°C mikrodalga ve sıcaklık kombinasyonları uygulamaları için karşılaştırıldıklarında,

**Çizelge 4.3.** Barbunya örneklerinin farklı mikrodalga-konvektif kombinasyonlarıyla kurutulmasında uygulanan modellerden elde edilen katsayı ve istatistiksel analiz sonuçları

No	90W-50°C				90W-75°C				160W-50°C				160W-75°C			
	Model Katsayıları	R <sup>2</sup>	RMSE	$\chi^2$ (10 <sup>-4</sup> )	Model Katsayıları	R <sup>2</sup>	RMSE	$\chi^2$ (10 <sup>-4</sup> )	Model Katsayıları	R <sup>2</sup>	RMSE	$\chi^2$ (10 <sup>-4</sup> )	Model Katsayıları	R <sup>2</sup>	RMSE	$\chi^2$ (10 <sup>-4</sup> )
1	a=1,038 k=0,009362	0,9957	0,0190	3,3311	a=1,033 k=0,01379	0,9973	0,0152	1,8007	a=1,031 k=0,01724	0,9986	0,0111	1,2854	a=1,052 k=0,02099	0,9876	0,0357	12,5239
2	k=0,009029	0,9943	0,0218	4,7088	k=0,01336	0,9962	0,0180	3,3050	k=0,01673	0,9976	0,0144	2,2430	k=0,01997	0,9849	0,0395	15,7791
3	k=0,004774 n=1,13	0,9988	0,0100	0,7874	k=0,008222 n=1,108	0,9994	0,0072	0,4733	k=0,01189 n=1,0800	0,9993	0,0079	0,7937	k=0,0078 n=1,232	0,9970	0,0175	2,9113
4	k=0,008826 n=1,13	0,9988	0,0100	0,7874	k=0,01311 n=1,1080	0,9994	0,0072	0,4733	k=0,01649 n=1,08	0,9993	0,0079	0,7938	k=0,01943 n=1,232	0,9970	0,0175	2,9106
5	a=1,062 k=0,008234 c=-0,04608	0,9985	0,0111	1,1354	a=1,057 k=0,01226 c=-0,04275	0,9996	0,0055	0,3652	a=1,039 k=0,01643 c=-0,01615	0,9990	0,0093	0,9961	a=1,177 k=0,01505 c=-0,1608	0,9988	0,0113	1,5334
6	a=-0,06201 k <sub>o</sub> =0,009087 b=1,098 k <sub>i</sub> =0,009328	0,9954	0,0195	3,5366	a=0,5178 k <sub>o</sub> =0,01373 b=0,5135 k <sub>i</sub> =0,01382	0,9971	0,0159	2,3924	a=1,5 k <sub>o</sub> =0,01485 b=-0,4747 k <sub>i</sub> =0,01108	0,9990	0,0095	1,0116	a=0,5272 k <sub>o</sub> =0,02101 b=0,5246 k <sub>i</sub> =0,02096	0,9852	0,0391	15,0342
7	a=-0,006416 b=0,000011	0,9878	0,0319	10,3346	a=-0,009561 b=0,000023	0,9879	0,0324	10,8392	a=-0,01158 b=0,000034	0,9761	0,0454	21,4741	a=-0,01475 b=0,0000561	0,9972	0,0169	3,1851
8	a=3,297 k=0,006207 b=0,8546	0,9987	0,0105	1,0685	a=2,386 k=0,01116 b=0,8824	0,9978	0,0138	1,9033	a=1,633 k=0,01424 b=0,7853	0,9985	0,0116	1,5035	a=6,075 k=0,01175 b=0,8996	0,9961	0,0200	3,9522
9	a=0,9894 k=0,004935 n=1,116 b=-0,0000395	0,9991	0,0085	0,6034	a=1,002 k=0,009773 n=1,0620 b=-0,000088	0,9998	0,0038	0,1867	a=1,011 k=0,01305 n=1,059 b=-0,000014	0,9993	0,0078	0,7569	a=1,005 k=0,0119 n=1,099 b=-0,000551	0,9992	0,0092	1,0432
10	a=1,636 k=0,01151	0,9990	0,0093	0,6820	a=1,592 k=0,01664	0,9994	0,0070	0,4939	a=1,531 k=0,02015	0,9991	0,0090	1,0216	a=1,773 k=0,02761	0,9966	0,0188	3,3898

90W-50°C mikrodalga gücü ve sıcaklığı kombinasyonunda Midilli modeliyle geliştirilen modelden elde edilen  $R^2$  değeri eşittir. Ancak RMSE ve  $\chi^2$  değerleri açısından Midilli modeli daha uygun bulunmuştur. Midilli modeli ve geliştirilen model için 90W-75°C mikrodalga gücü ve sıcaklık kombinasyonunda  $R^2$  ile birlikte RMSE değeri de eşit çıkmıştır. Ancak  $\chi^2$  değeri açısından Midilli modeli daha uygun bulunmuştur.

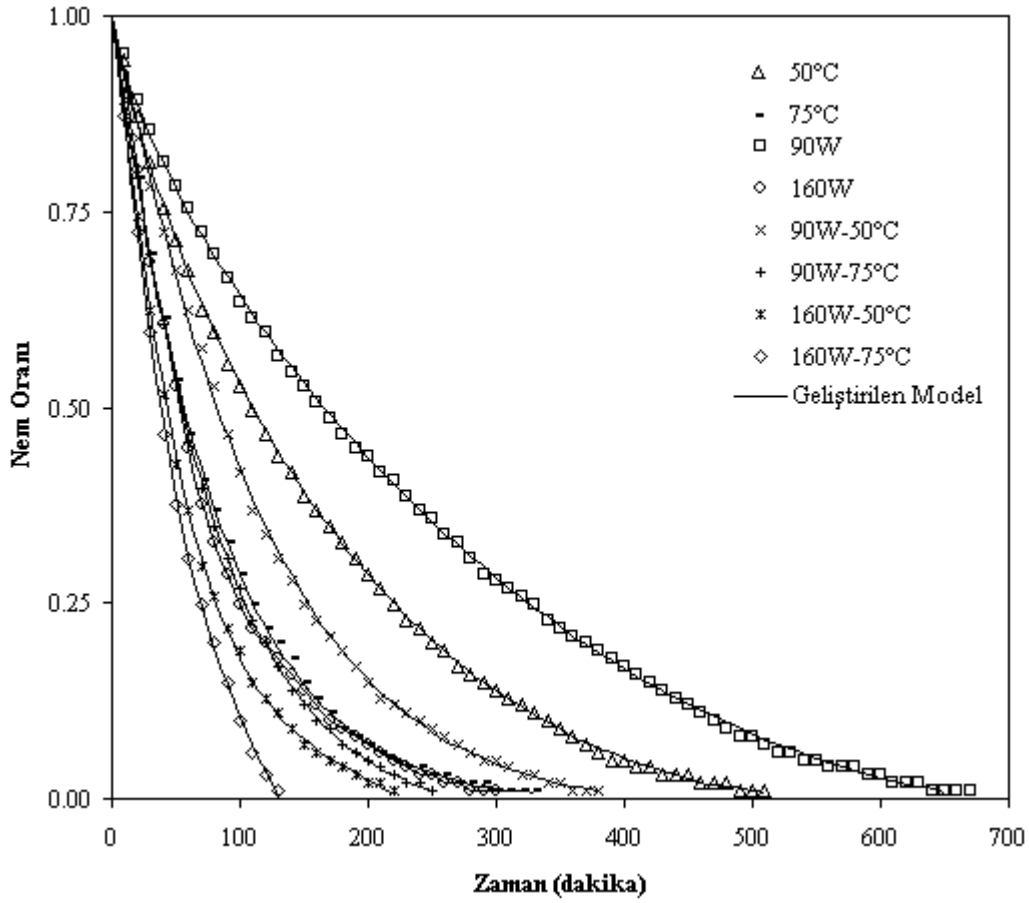


**Şekil 4.3.** Farklı mikrodalga güçleri ve sıcak hava koşullarıyla kurutulan barbunya örneklerinin deneysel nem oranı değerleri ile Midilli modelinden elde edilen tahmini nem oranı değerlerinin zamanla değişimi

Sonuç olarak, geliştirilen model Midilli modeliyle birlikte kullanılan diğer modellere göre mikrodalga-konvektif kombinasyonu yöntemiyle kurutulan barbunya örneklerinin nem oranı değerlerinin zamana göre değişimini daha iyi açıklamıştır.

Şekil 4.3’de barbunya örneklerinin kurutulmasında uygulanan tüm kurutma şartlarından deneysel olarak elde edilen nem oranı değerleri ile bu değerleri literatürde bulunan ve

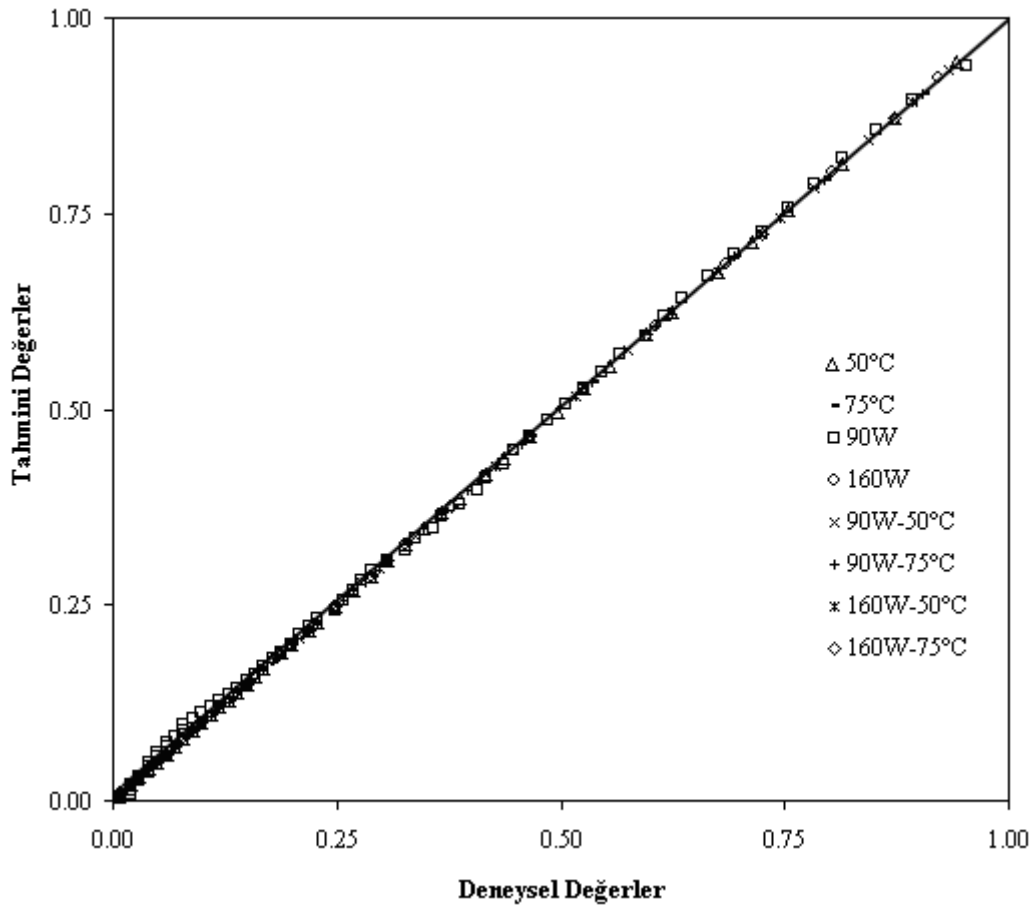
bu çalışmada kullanılan 10 farklı ince tabaka kurutma modeli arasında en iyi açıklayan model olan Midilli modelinden elde edilen tahmini nem oranı değerlerinin zamanla değişimi sergilenmektedir. Şekilden anlaşılacağı gibi, Midilli modelinden elde edilen tahmini değerlerle deneysel olarak elde edilen değerlerin birbirine oldukça yakın oldukları görülmektedir.



**Şekil 4.4.** Farklı mikrodalga güçleri ve sıcak hava koşullarıyla kurutulan barbunya örneklerinin deneysel nem oranı değerleri ile geliştirilen modelden elde edilen tahmini nem oranı değerlerinin zamanla değişimi

Şekil 4.4'de barbunya örneklerinin kurutulmasında uygulanan tüm kurutma şartlarından deneysel olarak elde edilen nem oranı değerleri ile bu değerlerin çoğunu Midilli modeli dahil olmak üzere literatürde bulunan ve bu çalışmada kullanılan diğer 10 modelden de daha iyi açıklayan geliştirilen modelden elde edilen tahmini nem oranı değerlerinin zamanla değişimi sergilenmektedir. Şekilden anlaşılacağı gibi, geliştirilen modelden elde edilen tahmini değerlerle deneysel olarak elde edilen değerlerin birbirine oldukça yakın oldukları görülmektedir.



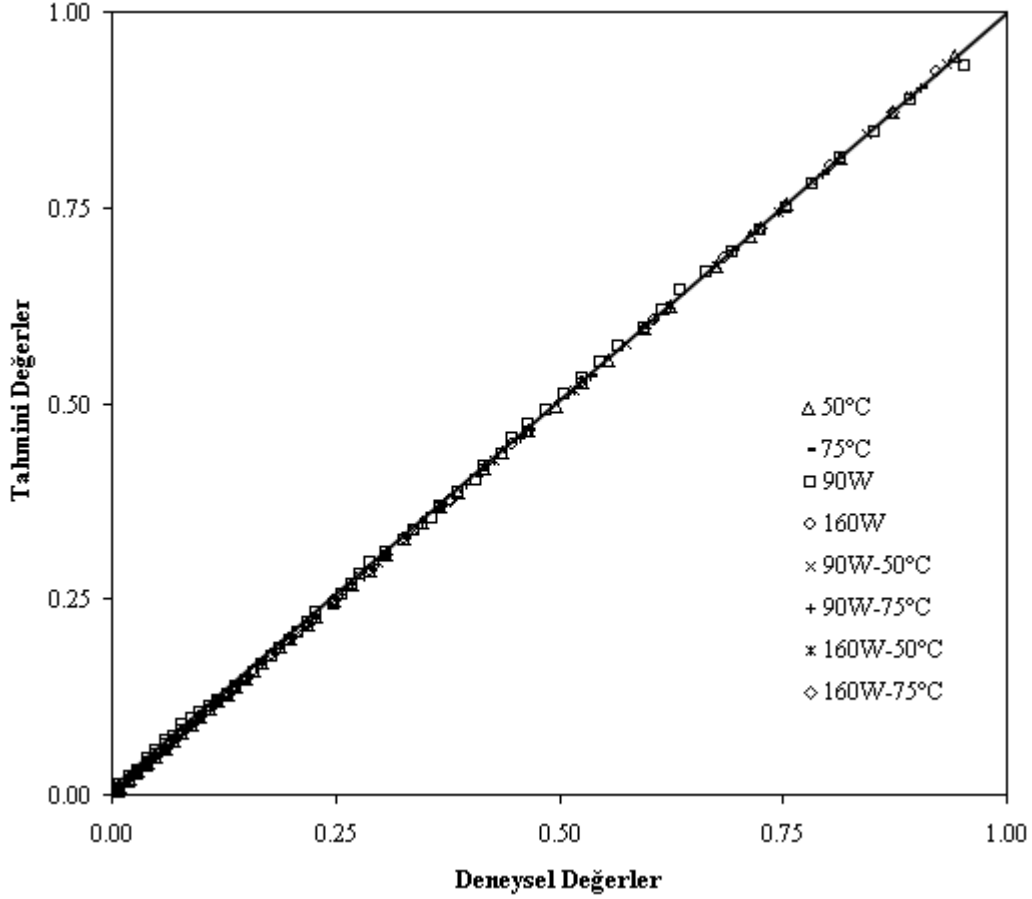


**Şekil 4.5.** Farklı mikrodalga güçleri ve sıcak hava koşullarıyla kurutulmuş barbunya örneklerinin deneysel nem oranı değerleri ile Midilli modelinden elde edilen tahmini nem oranı değerlerinin karşılaştırılması

Şekil 4.5’de barbunya örneklerinin kurutulmasında uygulanan tüm kurutma şartları için Midilli modelinden elde edilen tahmini nem oranı değerleri ile deneysel olarak elde edilen nem oranı değerlerinin karşılaştırılması görülmektedir. Verilerin 45° açıyla çizilmiş bir çizginin etrafında toplandığı görülmektedir. Sonuç olarak Midilli modeli barbunya örneklerinin kurutma sonuçlarını literatürde bulunan ve bu çalışmada kullanılan 10 farklı ince tabaka kurutma modeli arasında en uygun olarak tanımlanmaktadır.

Daha önce farklı araştırmacılar çeşitli ürünler için yapmış oldukları kurutma çalışmalarının ince tabaka kurutma modelleriyle modellenmesinde en uygun model olarak Midilli modelini belirlemişlerdir (Ertekin ve Yıldız 2004, Akpınar 2006, McMinn 2006, Mundada ve ark. 2010). Literatürdeki bu sonuçlar, barbunya

örneklerinin farklı kurutma şartları altında kurutularak modellenmesi çalışmasıyla elde edilen sonuçlarla uyum içerisinde olduğunu göstermektedir.



**Şekil 4.6.** Farklı mikrodalga güçleri ve sıcak hava koşullarıyla kurutulan barbunya örneklerinin deneysel nem oranı değerleri ile geliştirilen modelden elde edilen tahmini nem oranı değerlerinin karşılaştırılması

Şekil 4.6’da barbunya örneklerinin kurutulmasında uygulanan tüm kurutma şartları için geliştirilen modelden elde edilen tahmini nem oranı değerler ile deneysel olarak elde edilen nem oranı değerlerinin karşılaştırılması görülmektedir. Verilerin 45° açıyla çizilmiş bir çizginin etrafında toplandığı görülmektedir. Sonuç olarak geliştirilen model barbunya örneklerinin kurutma sonuçlarını uygun olarak tanımlamaktadır.

#### 4.1.4. Barbunya ürününün renk analiz sonuçları

Ürünlerin rengi kalite değerlendirmesi için önemli bir etkidir (Cheng ve ark. 2006, Köse ve Erentürk 2010). Taze ve farklı kurutma yöntemleri kullanılarak kurutulmuş barbunya örneklerinin renk parametreleri olan  $L^*$ ,  $a^*$ ,  $b^*$ , Kroma (C) ve Hue açısı ( $\alpha$ )

değerleri Çizelge 4.4’de sunulmuştur. Renk parametreleri barbunya örneklerinin kabuk kısmında ölçülmüştür. Elde edilen sonuçlara göre kurutulan barbunya örneklerinin L\* değeri 67,167’den 53,160’a,  $\alpha$  değeri 71,638’den 61,390’e azalmıştır. a\*, b\* ve C değerleri sırasıyla 4,507’den 8,333’e, 13,550’den 16,057’e ve 14,281’den 17,704’e artmıştır. Taze barbunya örneklerinin b\* değerleri haricinde tüm renk parametreleri kurutulan ürünlerin değerlerinden istatistiki olarak önemli ölçüde farklıdır (P<0,01).

**Çizelge 4.4.** Farklı kurutma yöntemleriyle kurutulan barbunya örneklerinin renk değerleri

Kurutma Yöntemi	Renk Parametreleri				
	L*	a*	b*	C	$\alpha,^\circ$
Taze	67,167(0,767) <sup>a</sup>	4,507(0,186) <sup>i</sup>	13,550(0,101) <sup>e</sup>	14,281(0,050) <sup>h</sup>	71,638(0,826) <sup>a</sup>
Konvektif					
50°C	63,123(0,023) <sup>b</sup>	5,267(0,015) <sup>h</sup>	13,653(0,006) <sup>e</sup>	14,634(0,002) <sup>g</sup>	68,941(0,064) <sup>b</sup>
75°C	59,400(0,115) <sup>d</sup>	5,777(0,015) <sup>g</sup>	14,920(0,078) <sup>c</sup>	15,999(0,069) <sup>e</sup>	68,869(0,145) <sup>b</sup>
Mikrodalga					
90W	61,190(0,147) <sup>c</sup>	6,6400(0,044) <sup>e</sup>	15,503(0,144) <sup>b</sup>	16,866(0,116) <sup>c</sup>	66,847(0,328) <sup>c</sup>
160W	58,267(0,142) <sup>e</sup>	6,960(0,027) <sup>d</sup>	15,630(0,056) <sup>b</sup>	17,110(0,062) <sup>b</sup>	66,030(0,015) <sup>d</sup>
Mikrodalga-Konvektif					
Kombinasyonu					
90W-50°C	58,683(0,021) <sup>de</sup>	6,337(0,025) <sup>f</sup>	14,177(0,032) <sup>d</sup>	15,528(0,038) <sup>f</sup>	65,950(0,051) <sup>de</sup>
90W-75°C	57,290(0,040) <sup>f</sup>	7,387(0,012) <sup>c</sup>	16,057(0,006) <sup>a</sup>	17,674(0,001) <sup>a</sup>	65,329(0,042) <sup>e</sup>
160W-50°C	56,070(0,044) <sup>g</sup>	7,790(0,010) <sup>b</sup>	14,263(0,015) <sup>d</sup>	16,252(0,013) <sup>d</sup>	61,390(0,046) <sup>f</sup>
160W-75°C	53,160(0,527) <sup>h</sup>	8,333(0,006) <sup>a</sup>	15,620(0,010) <sup>b</sup>	17,704(0,007) <sup>a</sup>	61,951(0,031) <sup>f</sup>

Her bir renk parametresi sütunun istatistiği ayrı ayrı uygulanmıştır ve aynı sütunda farklı harfler taşıyan ortalamalar arasındaki farklılıklar önemlidir (P<0,01).

Tüm kurutma şartları göz önüne alındığında taze barbunya örneklerinin renk değerlerine en yakın değerler konvektif kurutma yönteminde 50°C sıcaklıkla kurutulan barbunya örneklerinden elde edilmiştir. Yalnızca mikrodalga kurutma yöntemiyle kurutulan barbunya örneklerinin renk değerleriyle mikrodalga-konvektif kombinasyonu kurutma yöntemiyle kurutulan barbunya örneklerinden elde edilen renk değerleri karşılaştırıldığında, 90W mikrodalga uygulaması sonucu elde edilen ürünün parlaklık değeri 61,190 iken, 90W-50°C ve 90W-75°C kombine uygulaması sonucu elde edilen parlaklık değeri 58,683 ve 57,290 olmuştur. Ayrıca 160W mikrodalga uygulaması sonucu elde edilen ürünün parlaklık değeri 58,267 iken, 160W-50°C ve 160W-75°C

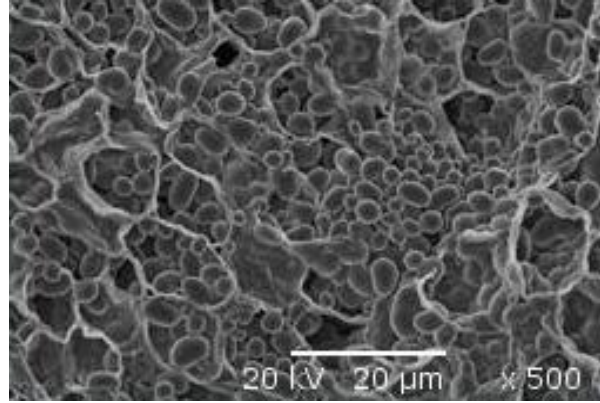
kombine uygulaması sonucu elde edilen parlaklık değeri ise 56,070 ve 53,160 olarak belirlenmiştir. Elde edilen sonuçlardan artan sıcaklıkla ve mikrodalga güçlerinde kahverengileşmenin arttığı tespit edilmiştir.

Daha önce yapılan çalışmalar incelendiğinde, Wang ve Chao (2002) ve Sacilik ve Elicin (2006) yapmış oldukları sıcak havayla kurutma çalışmalarında artan sıcaklıklarla kurutmuş oldukları ürünler üzerinde kahverengileşmenin arttığını bildirmişlerdir. Funebo ve Ohlsson (1998) ve Orsat ve ark. (2007) ise yapmış oldukları mikrodalga kurutma yöntemiyle kurutma çalışmalarında uyguladıkları mikrodalga güç seviyeleri arttıkça denemiş oldukları ürünler üzerinde kahverengileşmenin arttığını tespit etmişlerdir. Literatürdeki bu sonuçlar, barbunya örneklerinin farklı kurutma şartları altında kurutulmasından elde edilen renk sonuçları arasında uyum olduğunu göstermektedir.

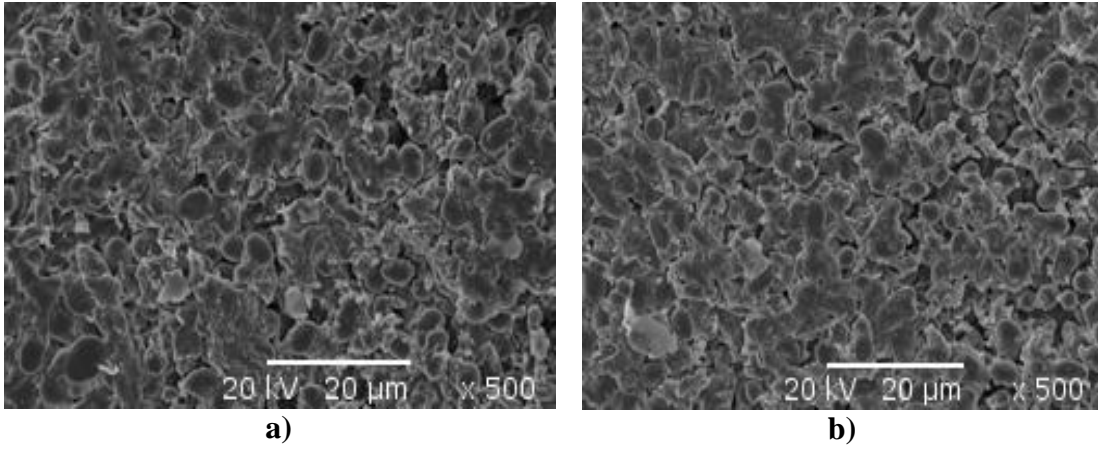
#### **4.1.5. Barbunya ürününün mikroyapı analiz sonuçları**

Taze ve farklı kurutma yöntemleri kullanılarak kurutulmuş barbunya örneklerine ait taramalı mikroskop görüntüleri incelenmiştir. Taze barbunya örneğinin görüntüsü Şekil 4.7'de, konvektif kurutma yönteminde 50 ve 75°C sıcaklıklar kullanılarak kurutulan örneklerin görüntüleri Şekil 4.8'de, mikrodalga kurutma yönteminde 90 ve 160W mikrodalga güçleri kullanılarak kurutulan örneklerin görüntüleri Şekil 4.9'da ve mikrodalga-konvektif kombinasyonu kurutma yöntemi için 90W-50°C, 90W-75°C, 160W-50°C ve 160W-75°C mikrodalga güçleri ve sıcaklıkları kullanılarak kurutulan örneklerin görüntüleri Şekil 4.10'da sunulmuştur.

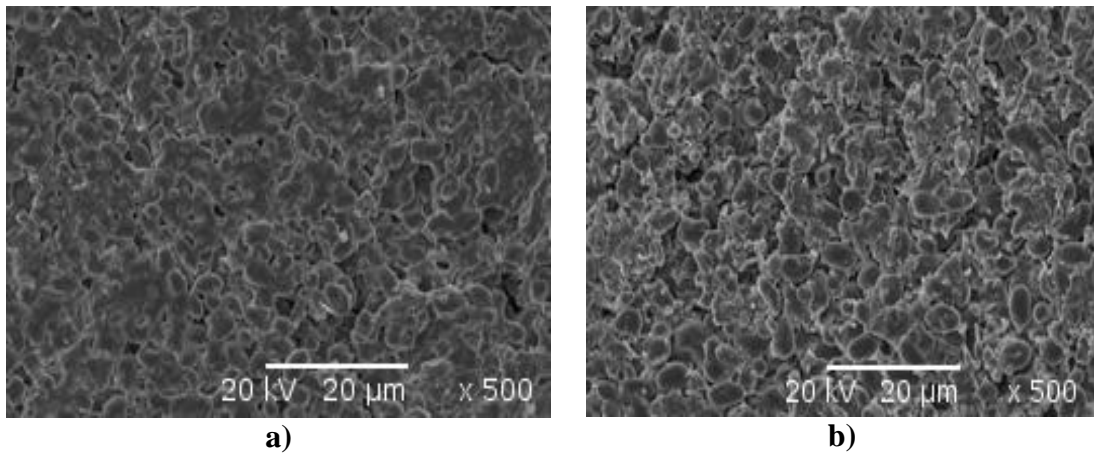
Taze barbunya örneklerinin taramalı mikroskop görüntüleri kurutulan barbunya örneklerinin görüntüleriyle karşılaştırıldığında, taze barbunya örneklerinin hem tekdüze gözenek dağılımına sahip olduğu hem de nişasta taneciklerinin açıkça görülebilmekte olduğu tespit edilmiştir. Tüm kurutma şartlarında yüksek sıcaklıkla ve mikrodalga gücüyle kurutulan barbunya örneklerinin nişasta taneciklerinde erimelerin olduğu görülmüştür. Ayrıca örneklerin yapılarında meydana gelen zarar ve yıkımların örneklerin nişasta ve proteinlerine de zarar verdikleri belirlenmiştir.



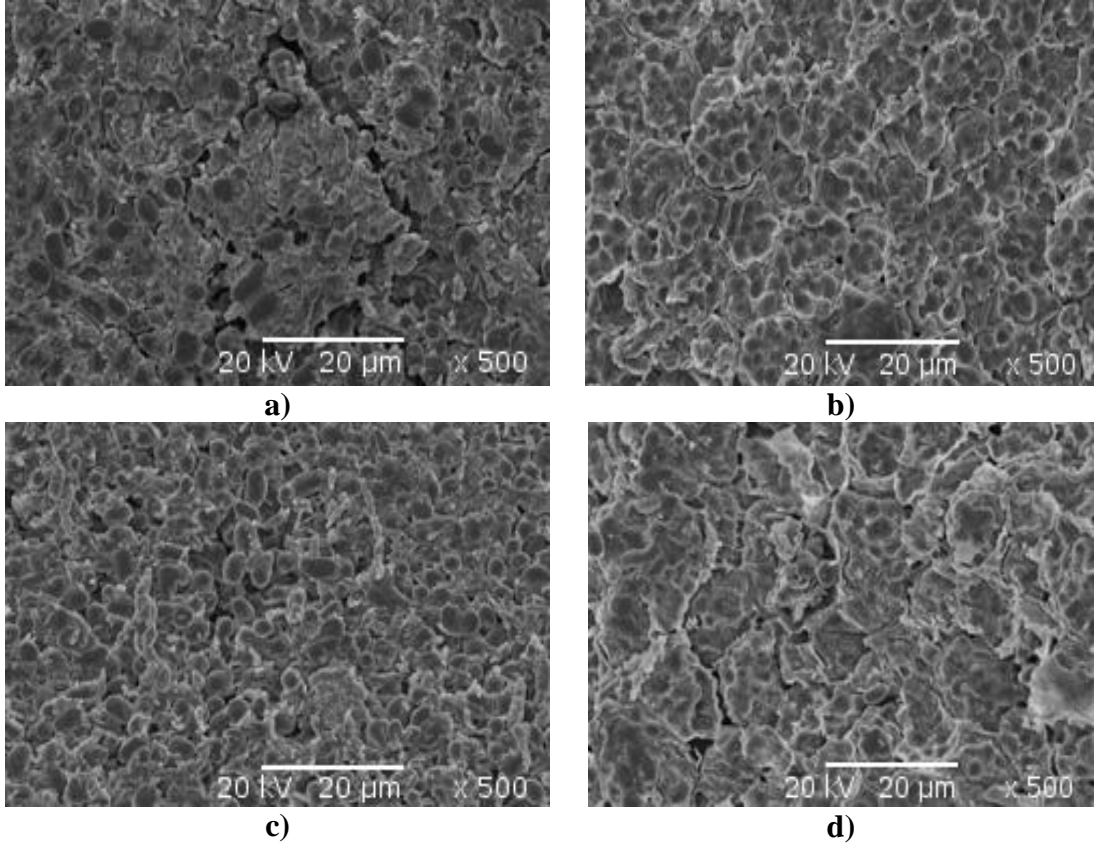
**Şekil 4.7.** Taze barbunya örneğinin taramalı elektron mikroskobu görüntüleri



**Şekil 4.8.** Konvektif (50°C (a) ve 75°C (b)) yöntemle kurutulmuş barbunya örneklerinin taramalı elektron mikroskobu görüntüleri



**Şekil 4.9.** Mikrodalga (90W (a) ve 160W (b)) yöntemiyle kurutulmuş barbunya örneklerinin taramalı elektron mikroskobu görüntüleri



**Şekil 4.10.** Mikrodalga-konvektif (90W-50°C (a), 90W-75°C (b), 160W-50°C (c) ve 160W-75°C (d)) kombinasyonu yöntemiyle kurutulmuş barbunya örneklerinin taramalı elektron mikroskobu görüntüleri

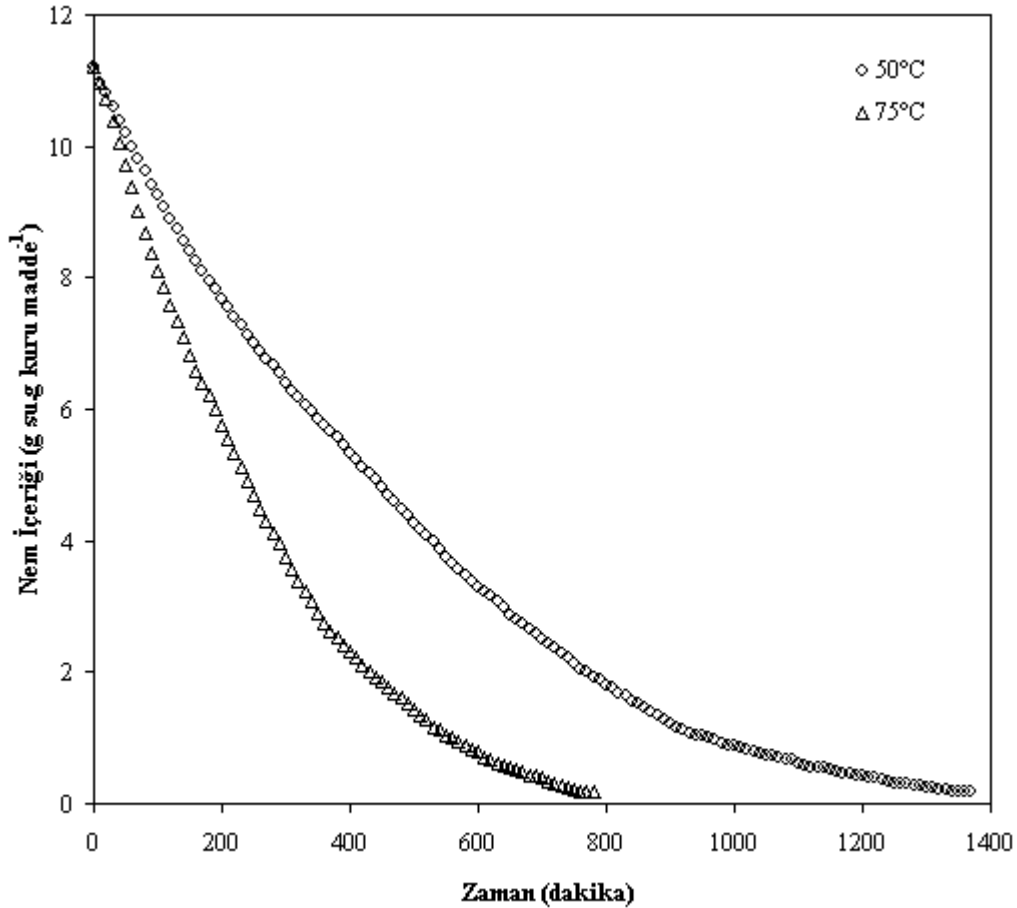
Bu çalışmada elde edilen sonuçlarla daha önce yapılan çalışmalardan elde edilen sonuçlar karşılaştırıldıklarında benzer sonuçlar elde edilmiştir. Bondaruk ve ark. (2007), Witrowa-Rajchert ve Rzaca (2009), Thuwapanichayanan ve ark. (2011), Vega-Gálvez ve ark. (2011) yaptıkları çalışmalarda kuruttukları ürünlerin taramalı mikroskop görüntülerini incelemişler ve yüksek sıcaklıkların kurutulan ürünlerin yapılarını bozduklarını bildirmişlerdir.

Tüm örneklerin mikroyapıları incelendiğinde, örneklerde en fazla zarar en yüksek kurutma sıcaklığına ve mikrodalga gücüne sahip mikrodalga-konvektif kombinasyonu kurutma yöntemiyle 160W-75°C mikrodalga gücü ve sıcaklığında kurutulan barbunya örneklerinde belirlenmiştir. Bu zararın nedeni kısa kuruma süresi, yüksek kuruma sıcaklığı ve hızlı bir şekilde ürün içi suyun buharlaşmasıyla bazı dokuların yayılmasından kaynaklanabileceği sonucuna varılmıştır.

## 4.2. Domates Kurutma

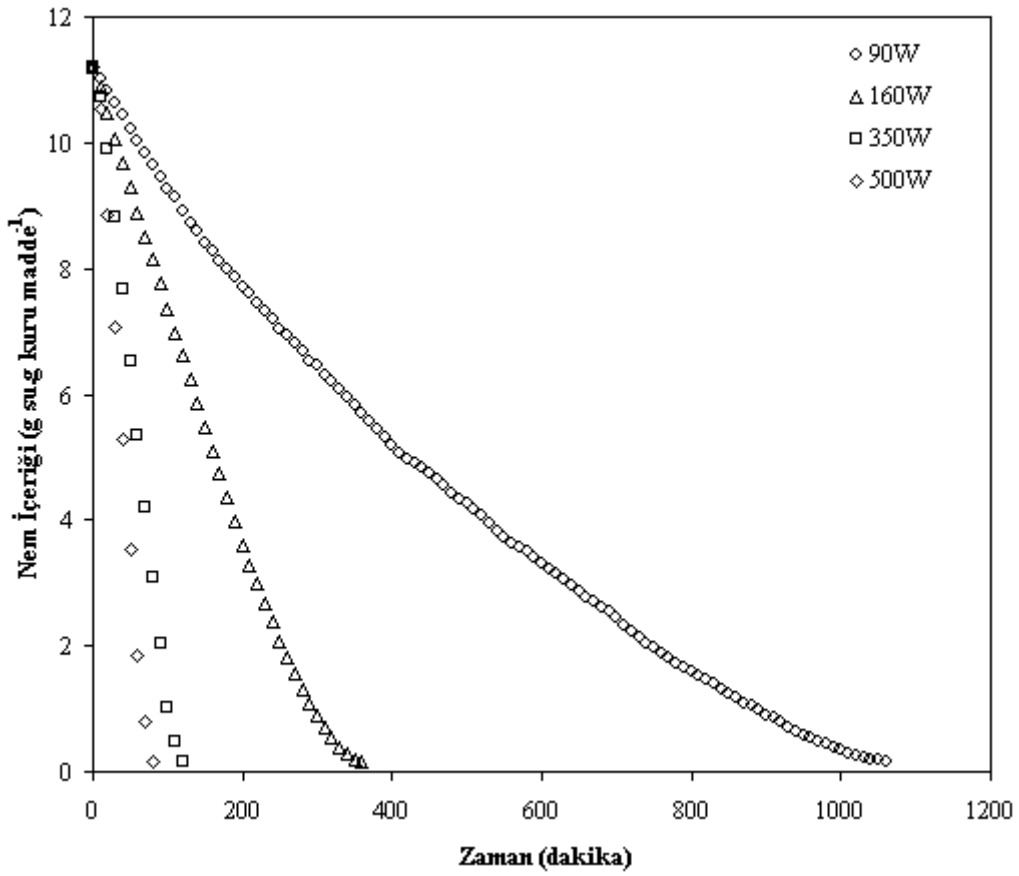
### 4.2.1. Domates ürününün nem içeriği değişimi

Şekil 4.11’de konvektif kurutma yönteminde 2 farklı sıcaklık ile kurutulan domates örneklerinin nem içeriklerinin zamanla değişimi sunulmuştur. Konvektif kurutma yöntemiyle kurutulan domateslerin toplam kurutma süreleri dikkate alındığında 50°C sıcaklıkla kurutulan domates örnekleri için 1370 dakika ve 75°C sıcaklıkla kurutulan domates örnekleri için ise 780 dakika kuruma süresi belirlenmiştir. Ayrıca deneylerde uygulanan sıcaklıklar arttıkça kurutulan örneklerin kuruma sürelerinin azaldığı tespit edilmiştir. Domatesin kurutulmasında benzer sonuçlar çeşitli araştırmacılar tarafından bildirilmiştir (Sacilik 2007, Taheri-Garavanda ve ark. 2011a).



Şekil 4.11. Farklı sıcaklıklarla kurutulan domates örneklerinin nem içeriklerinin zamanla değişimi

Şekil 4.12’de mikrodalga kurutma yöntemiyle kurutmada 4 farklı mikrodalga gücü ile kurutulan domates örneklerinin nem içeriklerinin zamanla değişimi gösterilmiştir. Mikrodalga kurutma yöntemiyle kurutulan domateslerin toplam kuruma süreleri dikkate alındığında 90W mikrodalga gücüyle kurutulan domates örnekleri için 1060 dakika, 160W mikrodalga gücü uygulaması için 360 dakika, 350W mikrodalga gücü uygulaması için 120 dakika ve 500W mikrodalga gücü uygulaması için 80 dakika kuruma süreleri belirlenmiştir. Sonuçlar incelendiğinde domatesin mikrodalga kurutma yöntemiyle kurutulmasında en kısa kuruma süresinin 500W mikrodalga gücüyle kurutulan domates örneklerinden elde edilirken en uzun kuruma süresinin 90W mikrodalga gücüyle kurutulan domates örneklerinden elde edildiği belirlenmiştir. Ayrıca deneylerde uygulanan mikrodalga güç seviyelerinin artmasıyla kurutulan domates örneklerinin kuruma sürelerinin azaldığı tespit edilmiştir. Bulunan sonuçlarla

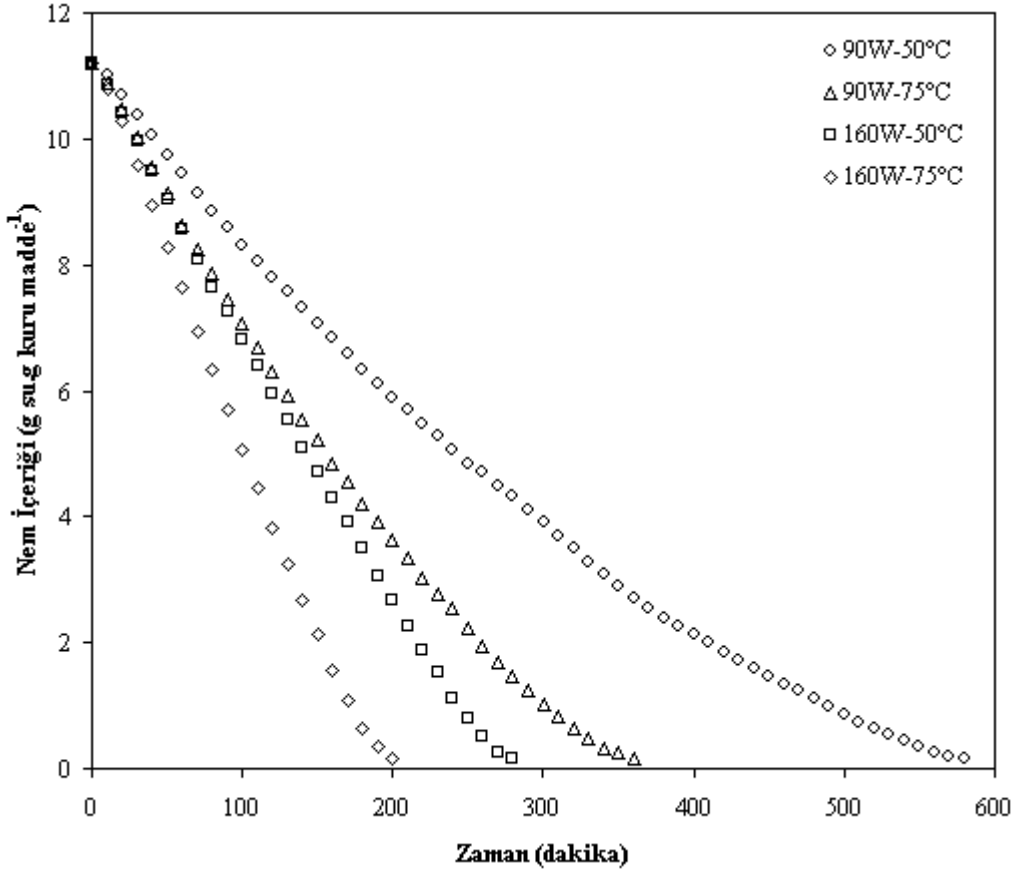


Şekil 4.12. Farklı mikrodalga güçleriyle kurutulan domates örneklerinin nem içeriklerinin zamanla değişimi



Çelen (2010) tarafından yapılan domatesin kurutulması çalışmasında bulunan sonuçların uyum içerisinde oldukları tespit edilmiştir.

Şekil 4.13’de 2 farklı mikrodalga gücünün ve 2 farklı hava sıcaklığının kullanıldığı mikrodalga-konvektif kombinasyonu kurutma yöntemiyle kurutulan domates örneklerinin nem içeriklerinin zamanla değişimi sunulmuştur. Mikrodalga-konvektif kombinasyonu kurutma yöntemiyle kurutulan domateslerin toplam kuruma süreleri dikkate alındığında 90W-50°C, 90W-75°C, 160W-50°C ve 160W-75°C mikrodalga gücü ve sıcaklıklarıyla kurutulan domates örnekleri için sırasıyla 580, 360, 280 ve 200 dakika kuruma süreleri tespit edilmiştir.



**Şekil 4.13.** Farklı mikrodalga-konvektif kombinasyonlarıyla kurutulan domates örneklerinin nem içeriklerinin zamanla değişimi

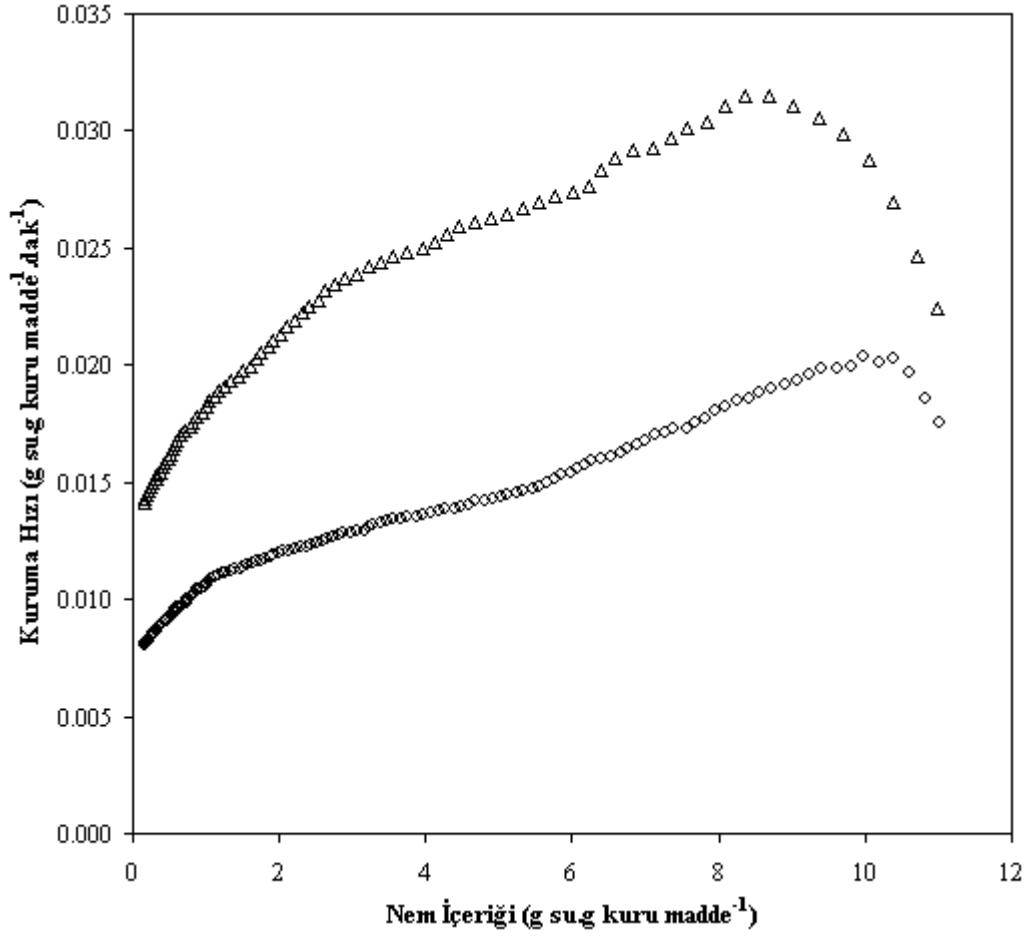
Deneysel sonuçlara göre uygulanan mikrodalga gücü ve sıcaklıkların artmasıyla kurutulan domates örneklerinin toplam kuruma sürelerinin azaldığı belirlenmiştir. Mikrodalga-konvektif kombinasyonu kurutma yöntemiyle kurutulan domateslerin

toplam kuruma süreleri karşılaştırıldığında, en kısa kurutma süresinin beklenildiği gibi 160W-75°C mikrodalga gücü ve sıcaklığıyla kurutulan örneklerden elde edilirken, en uzun kuruma süresinin 90W-50°C mikrodalga gücü ve sıcaklığıyla kurutulan örneklerden elde edilmiştir.

Konvektif, mikrodalga ve mikrodalga-konvektif kombinasyonu kurutma yöntemleriyle kurutulan domateslerin toplam kuruma süreleri karşılaştırıldığında, mikrodalga-konvektif kombinasyonu kurutma yönteminin yalnızca mikrodalga ve yalnızca konvektif kurutma yöntemine göre oldukça zaman kazanımı sağladığı görülmüştür. Örneğin, 90W-50°C mikrodalga gücünün ve hava sıcaklığının kullanıldığı mikrodalga-konvektif kombinasyonu kurutma yöntemiyle kurutulan domates örneklerinin kuruma süresinin 90W mikrodalga gücünün kullanıldığı yalnızca mikrodalga kurutma yöntemiyle kurutulan domates örneklerinden 1,83 kat ve 50°C sıcaklığın kullanıldığı yalnızca konvektif kurutma yöntemiyle kurutulan domates örneklerinden 2,36 kat kısa sürdüğü belirlenmiştir. Benzer sonuçlar uygulanan diğer kurutma şartları için de geçerlidir. Daha önce yapılan çalışmalarda meyve ve sebzelerin mikrodalga-sıcak hava kombinasyonu ile kurutulmasının kurutma süresi bakımından önemli ölçüde azalmalar sağladığı bildirilmiştir (Mudgett 1989, Torringa, ve ark. 1996, Maskan 2000, Heredia ve ark. 2007).

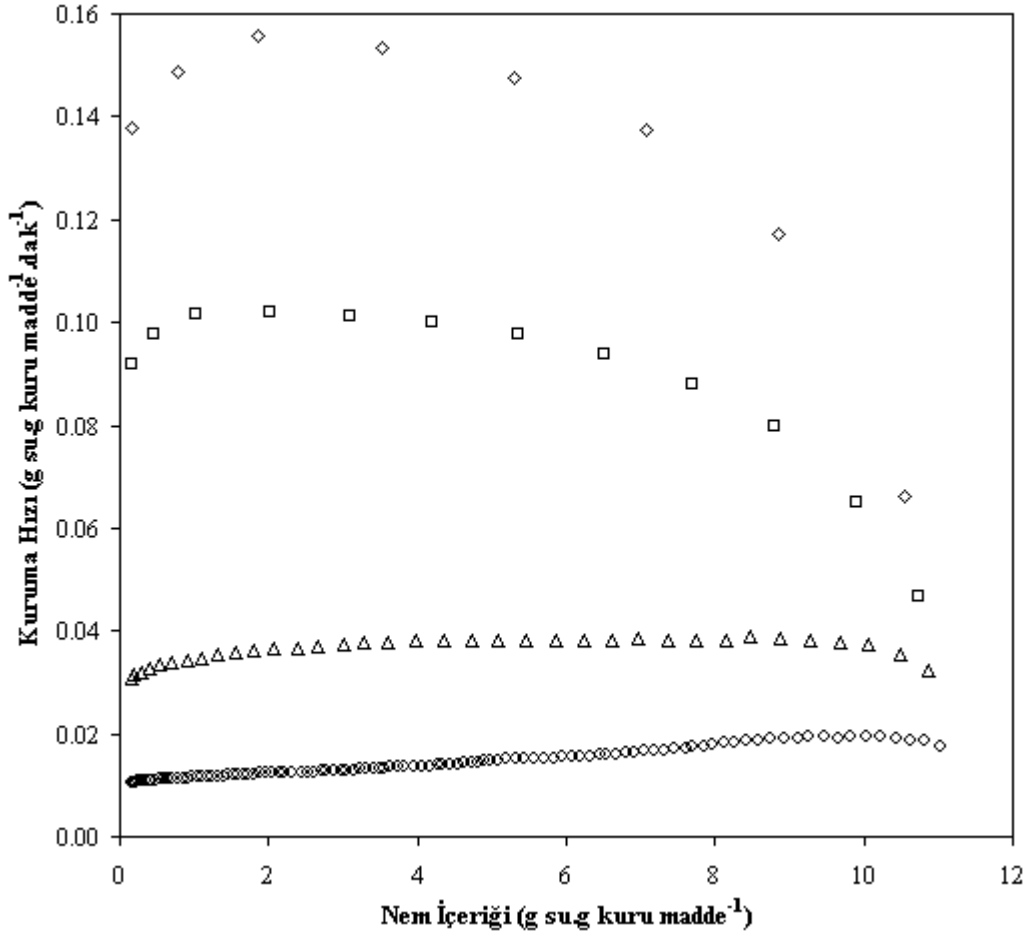
#### **4.2.2. Domates ürününün kuruma hızı değişimi**

Konvektif kurutma yöntemiyle 50 ve 75°C sıcaklıklarda kurutulan domates örneklerinin kuruma hızlarının zamanla değişimi Şekil 4.14'de verilmiştir. Şekilden açıkça anlaşılacağı gibi domatesin kuruma davranışları başlangıçta kısa bir ısınma periyodundan sonra azalan hız periyodunda gerçekleşmiştir. Bu sonuçlarla daha önce yapılan çalışmalardan elde edilen sonuçlar arasında iyi bir uyum olduğu görülmektedir (Bayrock ve Ingledew 1997, Freire ve ark. 2001, Therdthai ve Zhou 2009).



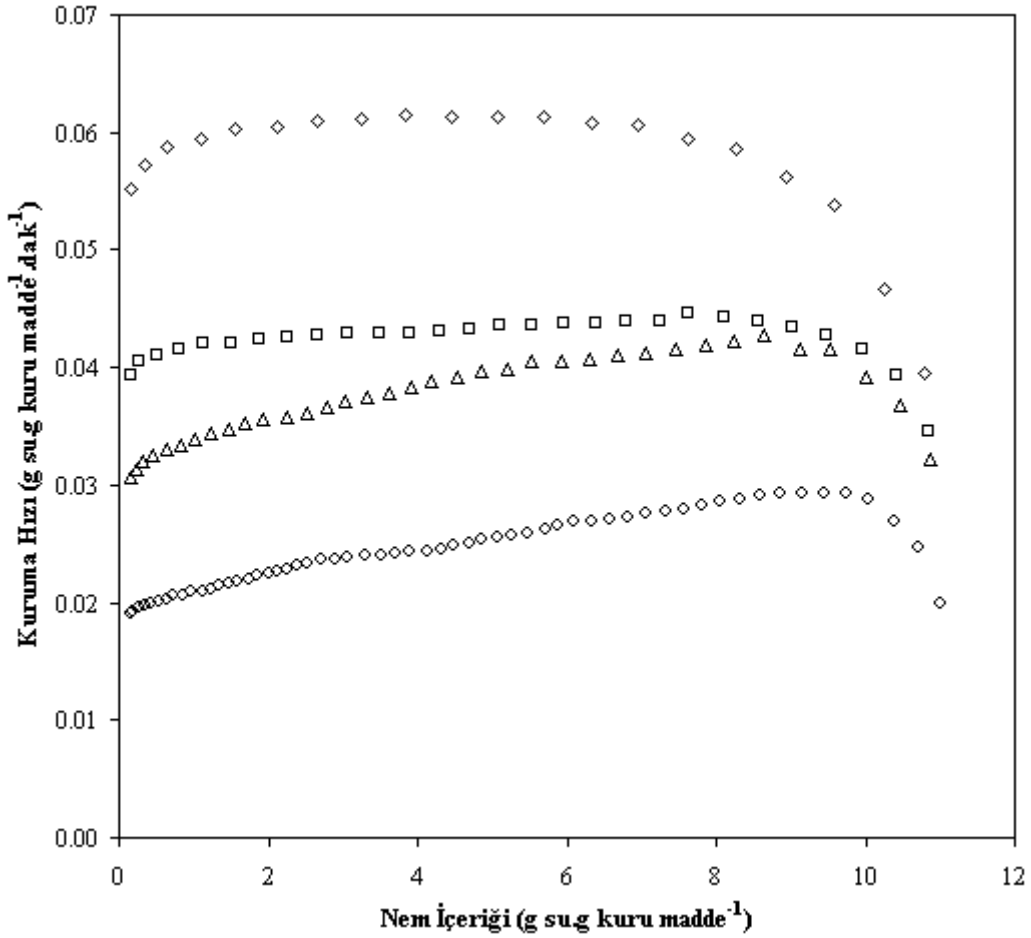
**Şekil 4.14.** Konvektif (◇50°C ve △75°C) kurutma yöntemiyle kurutulan domates örneklerinin kuruma hızlarının nem içerikleriyle değişimi

Konvektif kurutma yönteminde uygulanan farklı sıcaklıklarla kurutulan domateslerden elde edilen kuruma hızı değerleri karşılaştırıldığında, 75°C sıcaklıkla kurutulan domates örneklerinin 50°C sıcaklıkla kurutulan domates örneklerine göre daha yüksek kuruma hızlarına sahip oldukları belirlenmiştir. Sonuç olarak domateslerin konvektif kurutma yöntemiyle kurutulmasında uygulanan sıcaklıklar arttıkça daha yüksek kuruma hız değerleri elde edilmiştir. Doymaz (2007) yapmış olduğu domatesin kurtulması çalışmasında kuruttuğu örnekler için uygulamış olduğu hava sıcaklıklarının artmasıyla elde ettiği kuruma hız değerlerinin önemli ölçüde arttığını tespit etmiştir.



**Şekil 4.15.** Mikrodalga (◊90W, △160W, □350W ve ◇500W) yöntemiyle kurutulan domates örneklerinin kuruma hızlarının nem içerikleriyle değişimi

Mikrodalga kurutma yöntemiyle 90, 160, 350 ve 500W mikrodalga güçlerinde kurutulan domates örneklerinin kuruma hızlarının zamanla değişimi Şekil 4.15’de verilmiştir. Sonuçlar incelendiğinde 90W mikrodalga gücüyle kurutulan domates örnekleri en düşük kuruma hız değerlerine sahipken, 500W mikrodalga gücüyle kurutulan domatesler en yüksek kuruma hız değerlerine sahiptir. Domateslerin mikrodalga kurutma yöntemiyle kurutulmasında uygulanan mikrodalga güçleri arttıkça elde edilen kuruma hız değerleri artmıştır. Elde edilen bu sonuçlar, daha önce farklı ürünlerde mikrodalga kurutma uygulamaları sonucu elde edilen sonuçlarla uyum içerisinde olduğunu göstermektedir (Soysal ve ark. 2006; Özbek ve Dadalı 2007, Inchuen ve ark. 2008).



**Şekil 4.16.** Mikrodalga-konvektif kombinasyonu (○90W-50°C, △90W-75°C, □160W-50°C ve ◇160W-75°C) yöntemiyle kurutulan domates örneklerinin kuruma hızlarının nem içerikleriyle değişimi

Mikrodalga-konvektif kombinasyonu kurutma yöntemiyle 90W-50°C, 90W-75°C, 160W-50°C ve 160W-75°C mikrodalga güçleri ve sıcaklıklarında kurutulan domates örneklerinin kuruma hızlarının zamanla değişimi Şekil 4.16'da verilmiştir. Sonuçlar incelendiğinde 90W-50°C mikrodalga gücü ve sıcaklığında kurutulan domates örneklerinin en düşük kuruma hız değerlerine sahip oldukları görülürken, 160W-75°C mikrodalga gücü ve sıcaklığında kurutulan domates örneklerinin en yüksek kuruma hız değerlerine sahip oldukları görülmektedir. Mikrodalga-konvektif kombinasyonu kurutma yöntemiyle domateslerin kurutulmasında uygulanan tüm kurutma şartları için yüksek mikrodalga güç ve sıcaklıklarda yüksek kuruma hızı değerleri elde edilmiştir. Heredia ve ark. (2007) kiraz domatesi örneklerini farklı kurutma teknikleri kullanarak kurutmuş ve mikrodalga-sıcak hava kombinasyonu kurutma yöntemiyle kurutulan

örneklerden elde ettiği kuruma hız değerlerinin diğer kurutma yöntemleriyle kurutulan örneklerden elde ettiği kuruma hız değerlerine göre daha yüksek olduğunu bildirmiştir.

#### **4.2.3. Domates ürününün kuruma eğrilerinin modellenmesi**

Konvektif, mikrodalga ve mikrodalga-konvektif kombinasyonu kurutma yöntemleriyle domates örneklerinin kurutulması sırasında elde edilen nem oranı değerlerinin kuruma zamanları ile değişimi Bölüm 3.2.4’de verilen 10 farklı ince tabaka kurutma modeli ve Bölüm 3.2.4.1’de verilen Midilli ve Wang ve Singh modelleri esas alınarak geliştirilen model ile incelenmiştir. Tüm kurutma şartları için kullanılan modellerin kurutma katsayıları,  $R^2$ ,  $\chi^2$  ve RMSE istatistiksel parametreleri kullanılarak analiz edilmiştir. Konvektif, mikrodalga ve mikrodalga-konvektif kombinasyonu kurutma yöntemleriyle kurutulan domateslerin nem oranı değerlerinin kuruma zamanı ile değişimi süresince kullanılan ince tabaka kurutma modellerinden elde edilen kurutma katsayıları ve istatistiksel parametreler tablolar halinde sunulmuştur.

Çizelge 4.5 incelendiğinde domatesin konvektif kurutma yöntemiyle 50 ve 75°C sıcaklıklarla kurutulmasında elde edilen nem oranı değerlerinin zamanla değişimini istatistiksel parametrelere göre en iyi açıklayan modelin 9 numaralı Midilli modeli olduğu görülmektedir. Bu modele göre 50°C sıcaklık uygulaması için  $R^2=0,9986$ ,  $RMSE=0,0109$  ve  $\chi^2=1,1663 \times 10^{-4}$  değerleri elde edilirken, 75°C sıcaklık uygulaması için  $R^2=0,9995$ ,  $RMSE=0,0063$  ve  $\chi^2=0,2983 \times 10^{-4}$  değerleri elde edilmiştir. Domatesin konvektif kurutma yöntemiyle kurutulmasında elde edilen bu değerler Midilli modelinin literatürde bulunan ve bu çalışmada kullanılan diğer modellere göre domatesin nem oranı değerlerinin zamana göre değişimini en iyi açıklayan model olduğunu göstermiştir.

**Çizelge 4.5.** Domates örneklerinin farklı sıcaklıklarla kurutulmasında uygulanan modellerden elde edilen katsayı ve istatistiksel analiz sonuçları

No	50°C				75°C			
	Model Katsayıları	R <sup>2</sup>	RMSE	$\chi^2$ (10 <sup>-4</sup> )	Model Katsayıları	R <sup>2</sup>	RMSE	$\chi^2$ (10 <sup>-4</sup> )
1	a=1,056 k=0,002269	0,9866	0,0333	11,1226	a=1,072 k=0,004114	0,9913	0,0273	7,6511
2	k=0,002151	0,9833	0,0372	13,8240	k=0,003844	0,9860	0,0346	12,1825
3	k=0,0005756 n=1,208	0,9949	0,0206	4,2228	k=0,001103 n=1,218	0,9983	0,0120	1,3409
4	k=0,002084 n=1,208	0,9949	0,0206	4,2228	k=0,003726 n=1,218	0,9983	0,0120	1,3409
5	a=1,142 k=0,00165 c=-0,1365	0,9982	0,0121	1,4587	a=1,131 k=0,003231 c=-0,09928	0,9989	0,0096	0,9127
6	a=31,88 k <sub>o</sub> =0,0004635 b=-31,08 k=0,0004426	0,9582	0,0589	34,5672	a=75,63 k <sub>o</sub> =0,006223 b=-74,72 k <sub>i</sub> =0,006279	0,9912	0,0275	7,3639
7	a=-0,00157 b=0,000000631	0,9978	0,0136	1,8201	a=-0,002812 b=0,000002031	0,9974	0,0150	2,0067
8	a=4,122 k=0,00148 b=0,8888	0,9932	0,0237	5,5594	a=109,4 k=0,001954 b=0,9937	0,9986	0,0110	1,1347
9	a=0,9711 k=0,0007093 n=1,155 b=-0,00004271	0,9986	0,0109	1,1663	a=0,9978 k=0,001553 n=1,146 b=-0,00005061	0,9995	0,0063	0,2983
10	a=1,726 k=0,002881	0,9947	0,0210	4,3858	a=1,754 k=0,005235	0,9980	0,0131	1,6162

Konvektif kurutmada, 50°C sıcaklıkla kurutulan domates örneklerinden deneysel olarak elde edilen nem oranı değerleriyle geliştirilen modelden elde edilen nem oranı değerlerinin istatistiki olarak incelenmesi sonucu geliştirilen modele ait a=-0,001048, k=0,002696, n=0,7271 ve b=0,002696 katsayı değerleri, R<sup>2</sup>=0,9996, RMSE=0,0055 ve  $\chi^2=0,2760 \times 10^{-4}$  değerleri belirlenirken, 75°C sıcaklık uygulamasıyla kurutulan domates örnekleri için a=-0,0002347, k=0,00177, n=1,105 ve b=0,0000002114 katsayı değerleri, R<sup>2</sup>=0,9996, RMSE=0,0058 ve  $\chi^2=0,2249 \times 10^{-4}$  değerleri belirlenmiştir. Elde edilen bu sonuçlar, kullanılan diğer 10 modelden elde edilen tüm istatistiki sonuçlarla beraber değerlendirildiğinde en iyi değerleri sağlamıştır. Sonuç olarak, geliştirilen model konvektif kurutmada uygulanan 50 ve 75°C sıcaklıklarla kurutulan domates örneklerinin nem oranı değerlerinin zamana göre değişimini en iyi derecede tanımlamıştır.

Çizelge 4.6 incelendiğinde mikrodalga kurutma yöntemiyle kurutulan domates örneklerinin çalışması yapılan mikrodalga gücü uygulamalarında değerlendirilen tüm modeller arasında en uygun istatistiksel parametreler 9 numaralı model olan Midilli modelinden elde edildiği görülmektedir. Bu modele göre 90W mikrodalga gücü uygulamasıyla kurutulan domates örnekleri için  $R^2=0,9996$ ,  $RMSE=0,0055$  ve  $\chi^2=0,2428 \times 10^{-4}$  değerleri elde edilirken, 160W mikrodalga gücü uygulaması için  $R^2=0,9990$ ,  $RMSE=0,0101$  ve  $\chi^2=0,8697 \times 10^{-4}$  değerleri, 350W mikrodalga gücü uygulaması için  $R^2=0,9985$ ,  $RMSE=0,0137$  ve  $\chi^2=1,2905 \times 10^{-4}$  değerleri ve son olarak 500W mikrodalga gücü uygulaması için  $R^2=0,9990$ ,  $RMSE=0,0120$  ve  $\chi^2=1,3443 \times 10^{-4}$  değerleri elde edilmiştir. Bu sonuçlar Midilli modelinin, literatürde bulunan ve bu çalışmada kullanılan diğer modellere göre mikrodalga yöntemiyle kurutulan domatesin nem oranı değerlerinin zamana göre değişimini en iyi açıklayan model olduğunu göstermiştir.

Mikrodalga kurutmada, 90W mikrodalga gücü uygulamasıyla kurutulan domates örneklerinden deneysel olarak elde edilen nem oranı değerleriyle geliştirilen modelden elde edilen nem oranı değerlerinin istatistiki olarak incelenmesi sonucu geliştirilen modele ait  $a=-0,0005358$ ,  $k=0,002456$ ,  $n=0,8605$  ve  $b=0,0000001656$  katsayı değerleri,  $R^2=0,9997$ ,  $RMSE=0,0051$  ve  $\chi^2=0,2202 \times 10^{-4}$  değerleri belirlenirken, 160W mikrodalga gücü uygulamasıyla kurutulan domates örnekleri için  $a=-0,006743$ ,  $k=-0,003305$ ,  $n=1,011$  ve  $b=-0,000008639$  katsayı değerleri,  $R^2=0,9999$ ,  $RMSE=0,0031$  ve  $\chi^2=0,0452 \times 10^{-4}$  değerleri, 350W mikrodalga gücü uygulamasıyla kurutulan domates örnekleri için  $a=-0,02226$ ,  $k=-0,02294$ ,  $n=0,8868$  ve  $b=-0,0001585$  katsayı değerleri,  $R^2=0,9996$ ,  $RMSE=0,0071$  ve  $\chi^2=0,3030 \times 10^{-4}$  değerleri ve 500W mikrodalga gücü uygulamasıyla kurutulan domates örnekleri için  $a=-0,04138$ ,  $k=-0,05174$ ,  $n=0,7991$  ve  $b=-0,0003506$  katsayı değerleri,  $R^2=0,9998$ ,  $RMSE=0,0051$  ve  $\chi^2=0,3289 \times 10^{-4}$  değerleri belirlenmiştir. Bu değerler diğer 10 modelden elde edilen tüm istatistiki değerlere göre en iyi sonuçları sağlamıştır. Sonuç olarak, geliştirilen model kullanılan literatürde bulunan ve bu çalışmada kullanılan Midilli modeli dahil olmak üzere diğer modellere göre mikrodalga yöntemiyle kurutulan domates örneklerinin nem oranı değerlerinin zamana göre değişimini en iyi şekilde açıklamıştır.



**Çizelge 4.6.** Domates örneklerinin mikrodalga güçleriyle kurutulmasında uygulanan modellerden elde edilen katsayı ve istatistiksel analiz sonuçları

No	90W				160W				350W				500W			
	Model Katsayıları	R <sup>2</sup>	RMSE	$\chi^2$ (10 <sup>-4</sup> )	Model Katsayıları	R <sup>2</sup>	RMSE	$\chi^2$ (10 <sup>-4</sup> )	Model Katsayıları	R <sup>2</sup>	RMSE	$\chi^2$ (10 <sup>-4</sup> )	Model Katsayıları	R <sup>2</sup>	RMSE	$\chi^2$ (10 <sup>-4</sup> )
1	a=1,06 k=0,002295	0,9764	0,0441	19,0679	a=1,12 k=0,006542	0,9552	0,0677	46,3899	a=1,143 k=0,01712	0,9150	0,1043	109,4952	a=1,128 k=0,02541	0,9079	0,1140	130,2798
2	k=0,002158	0,9718	0,0482	22,8443	k=0,005821	0,9385	0,0793	63,3428	k=0,01491	0,8943	0,1164	136,1694	k=0,02251	0,8958	0,1213	147,2127
3	k=0,0004504 n=1,251	0,9886	0,0306	9,1787	k=0,0003158 n=1,559	0,9924	0,0279	7,9107	k=0,0002759 n=1,949	0,9937	0,0284	7,5163	k=0,000513 n=1,995	0,9963	0,0228	5,4419
4	k=0,002115 n=1,251	0,9886	0,0306	9,1787	k=0,005689 n=1,559	0,9924	0,0279	7,9108	k=0,01491 n=1,949	0,9937	0,0284	7,5165	k=0,02242 n=1,995	0,9963	0,0228	5,4417
5	a=1,397 k=0,001165 c= -0,412	0,9995	0,0066	0,3894	a=1,852 k=0,002385 c=-0,8213	0,9971	0,0172	2,8057	a=5,597 k=0,001821 c=-4,546	0,9908	0,0343	11,3862	a=4,789 k=0,003233 c=-3,737	0,9857	0,0450	19,7307
6	a=1,089 k <sub>o</sub> =0,001487 b=-0,09907 k <sub>i</sub> =-0,000821	0,9995	0,0062	0,3265	a=66,44 k <sub>o</sub> =0,003116 b=-65,49 k <sub>i</sub> =0,003086	0,9441	0,0756	57,4960	a=19,71 k <sub>o</sub> =0,002589 b=-18,68 k <sub>i</sub> =0,00214	0,9812	0,0491	24,3029	a=10,9 k <sub>o</sub> =0,002902 b=-9,866 k <sub>i</sub> =0,001625	0,9802	0,0529	27,2761
7	a=-0,001572 b=0,000000605	0,9978	0,0135	1,8027	a=-0,00395 b=0,000002988	0,9970	0,0176	2,9115	a=-0,008588 b=-0,000001889	0,9880	0,0392	14,9621	a=-0,01309 b=0,000000066	0,9835	0,0483	22,8284
8	a=1,057 k=0,001614 b=-0,7422	0,9995	0,0066	0,3697	a=4,2 k=0,002885 b=0,7737	0,9759	0,0497	24,1998	a=4,048 k=0,005708 b=0,6349	0,9484	0,0813	60,6946	a=5,138 k=0,008942 b=0,7405	0,9362	0,0949	76,7713
9	a=1,003 k=0,002289 n=0,9256 b=-0,0002354	0,9996	0,0055	0,2428	a=0,9822 k=0,0006053 n=1,381 b=-0,0003965	0,9990	0,0101	0,8697	a=0,9951 k=0,0004993 n=1,745 b=-0,001098	0,9985	0,0137	1,2905	a=0,9991 k=0,0008194 n=1,824 b=-0,001107	0,9990	0,0120	1,3443
10	a=1,765 k=0,002991	0,9878	0,0316	9,7913	a=1,994 k=0,00917	0,9848	0,0395	15,8424	a=2,172 k=0,02602	0,9751	0,0565	31,5776	a=2,214 k=0,03988	0,9788	0,0546	30,0215

**Çizelge 4.7.** Domates örneklerinin farklı mikrodalga-konvektif kombinasyonlarıyla kurutulmasında uygulanan modellerden elde edilen katsayı ve istatistiksel analiz sonuçları

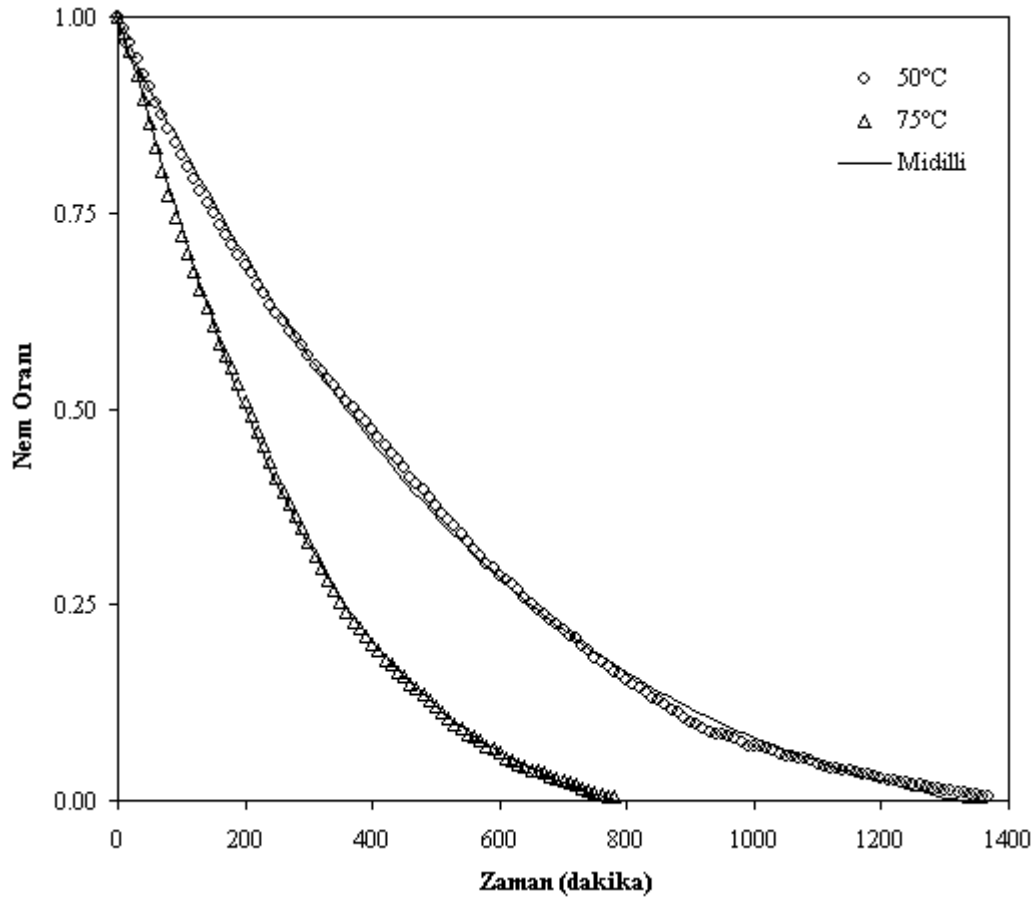
No	90W-50°C				90W-75°C				160W-50°C				160W-75°C			
	Model Katsayıları	R <sup>2</sup>	RMSE	$\chi^2$ (10 <sup>-4</sup> )	Model Katsayıları	R <sup>2</sup>	RMSE	$\chi^2$ (10 <sup>-4</sup> )	Model Katsayıları	R <sup>2</sup>	RMSE	$\chi^2$ (10 <sup>-4</sup> )	Model Katsayıları	R <sup>2</sup>	RMSE	$\chi^2$ (10 <sup>-4</sup> )
1	a=1,09 k=0,00416	0,9732	0,0492	24,2359	a=1,101 k=0,00657	0,9664	0,0569	32,3180	a=1,115 k=0,007365	0,9461	0,0730	54,3075	a=1,128 k=0,01052	0,9400	0,0808	64,9659
2	k=0,003805	0,9633	0,0575	32,9958	k=0,005946	0,9541	0,0665	44,4690	k=0,006541	0,9292	0,0837	71,0068	k=0,009254	0,9205	0,0931	86,2798
3	k=0,0005074 n=1,356	0,9922	0,0265	6,9797	k=0,0006202 n=1,435	0,9923	0,0273	7,3325	k=0,0003443 n=1,585	0,9872	0,0356	12,6639	k=0,0003569 n=1,694	0,9915	0,0304	9,5338
4	k=0,003724 n=1,356	0,9922	0,0265	6,9796	k=0,005818 n=1,435	0,9923	0,0273	7,3326	k=0,006539 n=1,585	0,9872	0,0356	12,6640	k=0,009222 n=1,694	0,9915	0,0304	9,5338
5	a=1,48 k=0,002025 c=-0,4674	0,9994	0,0072	0,3525	a=1,63 k=0,002816 c=-0,6106	0,9992	0,0086	0,6459	a=3,346 k=0,001321 c=-2,331	0,9992	0,0091	0,6789	a=3,177 k=0,002037 c=-2,145	0,9974	0,0168	2,4471
6	a=12,74 k <sub>0</sub> =0,0009251 b=-11,79 k <sub>1</sub> =0,0007883	0,9946	0,0221	4,6043	a=32,61 k <sub>0</sub> =0,001706 b=-32,67 k <sub>1</sub> =0,00163	0,9828	0,0407	17,0951	a=8,557 k <sub>0</sub> =0,006666 b=-7,563 k <sub>1</sub> =0,006691	0,9184	0,0898	81,8329	a=113,5 k <sub>0</sub> =0,01848 b=-112,5 k <sub>1</sub> =0,01863	0,9762	0,0509	26,0258
7	a=-0,00273 b=0,000001737	0,9996	0,0056	0,1751	a=-0,004163 b=0,000003748	0,9994	0,0075	0,5457	a=-0,004181 b=0,000001893	0,9990	0,0102	0,8659	a=-0,0058 b=0,00000309	0,9962	0,0202	3,7062
8	a=4,791 k=0,001321 b=0,6899	0,9993	0,0078	0,4159	a=6,203 k=0,002306 b=0,7974	0,9946	0,0229	5,2428	a=7,293 k=0,002428 b=0,8112	0,9787	0,0459	20,5744	a=5,021 k=0,003977 b=0,7648	0,9654	0,0614	35,4200
9	a=0,9988 k=0,001587 n=1,099 b=-0,000317	0,9995	0,0070	0,3110	a=0,9965 k=0,001706 n=1,178 b=-0,00051	0,9996	0,0061	0,2880	a=0,9998 k=0,001343 n=1,182 b=-0,001305	0,9993	0,0080	0,4544	a=0,9947 k=0,0008654 n=1,42 b=-0,001062	0,9994	0,0082	0,5617
10	a=1,865 k=0,005588	0,9896	0,0306	9,2726	a=1,924 k=0,009029	0,9881	0,0338	11,3354	a=1,997 k=0,01051	0,9783	0,0463	21,7367	a=2,061 k=0,01531	0,9802	0,0464	21,7112

Çizelge 4.7 incelendiğinde domatesin kurutulmasında uygulanan mikrodalga-konvektif kombinasyonu kurutma yöntemi için kullanılan 90W-50°C mikrodalga gücü ve sıcaklığı haricinde uygulanan tüm kurutma şartlarında değerlendirilen tüm modeller arasında en uygun  $R^2$ , RMSE ve  $\chi^2$  değerleri 9 numaralı Midilli modelinden elde edildiği görülmektedir. Mikrodalga-konvektif kombinasyonu kurutma yöntemi için kullanılan 90W-50°C mikrodalga gücü ve sıcaklığı şartlarında en uygun  $R^2$ , RMSE ve  $\chi^2$  değerleri 7 numaralı model olan Wang ve Singh modelinden elde edilmiş, Midilli modelinden ise ikinci en iyi değerler elde edilmiştir. Bu sonuçlara göre mikrodalga-konvektif kombinasyonu yöntemiyle kurutulan domates örneklerinden elde edilen nem oranı değerlerini değerlendirilen 10 model arasında Midilli modeli yeterli düzeyde açıklamıştır. Ancak 90W-50°C mikrodalga gücü ve sıcaklığı uygulaması için Wang ve Singh modeli Midilli modelinden daha uygun bulunmuştur.

Mikrodalga-konvektif kombinasyonu kurutmada, 90W-50°C mikrodalga gücü ve sıcaklığı uygulamasıyla kurutulan domates örneklerinden elde edilen nem oranı değerleriyle geliştirilen modelden elde edilen nem oranı değerlerinin istatistiki olarak incelenmesi sonucu  $a=-0,002751$ ,  $k=-0,003097$ ,  $n=0,0000000199$  ve  $b=0,000001767$  katsayı değerleri,  $R^2=0,9996$ ,  $RMSE=0,0056$  ve  $\chi^2=0,1737 \times 10^{-4}$  değerleri belirlenirken, 90W-75°C mikrodalga gücü ve sıcaklığı uygulamasıyla kurutulan domates örnekleri için  $a=-0,004862$ ,  $k=-0,004082$ ,  $n=0,5999$  ve  $b=0,000004585$  katsayı değerleri,  $R^2=0,9998$ ,  $RMSE=0,0048$  ve  $\chi^2=0,16033 \times 10^{-4}$  değerleri, 160W-50°C mikrodalga gücü ve sıcaklığı uygulamasıyla kurutulan domates örnekleri için  $a=-0,005815$ ,  $k=-0,004749$ ,  $n=0,7352$  ve  $b=0,000003378$  katsayı değerleri,  $R^2=0,9994$ ,  $RMSE=0,0079$  ve  $\chi^2=0,4411 \times 10^{-4}$  değerleri ve son olarak 160W-75°C mikrodalga gücü ve sıcaklığı uygulamasıyla kurutulan domates örnekleri için  $a=-0,01284$ ,  $k=-0,0109$ ,  $n=0,9057$  ve  $b=-0,00002957$  katsayı değerleri,  $R^2=0,9997$ ,  $RMSE=0,0053$  ve  $\chi^2=0,2213 \times 10^{-4}$  değerleri belirlenmiştir.

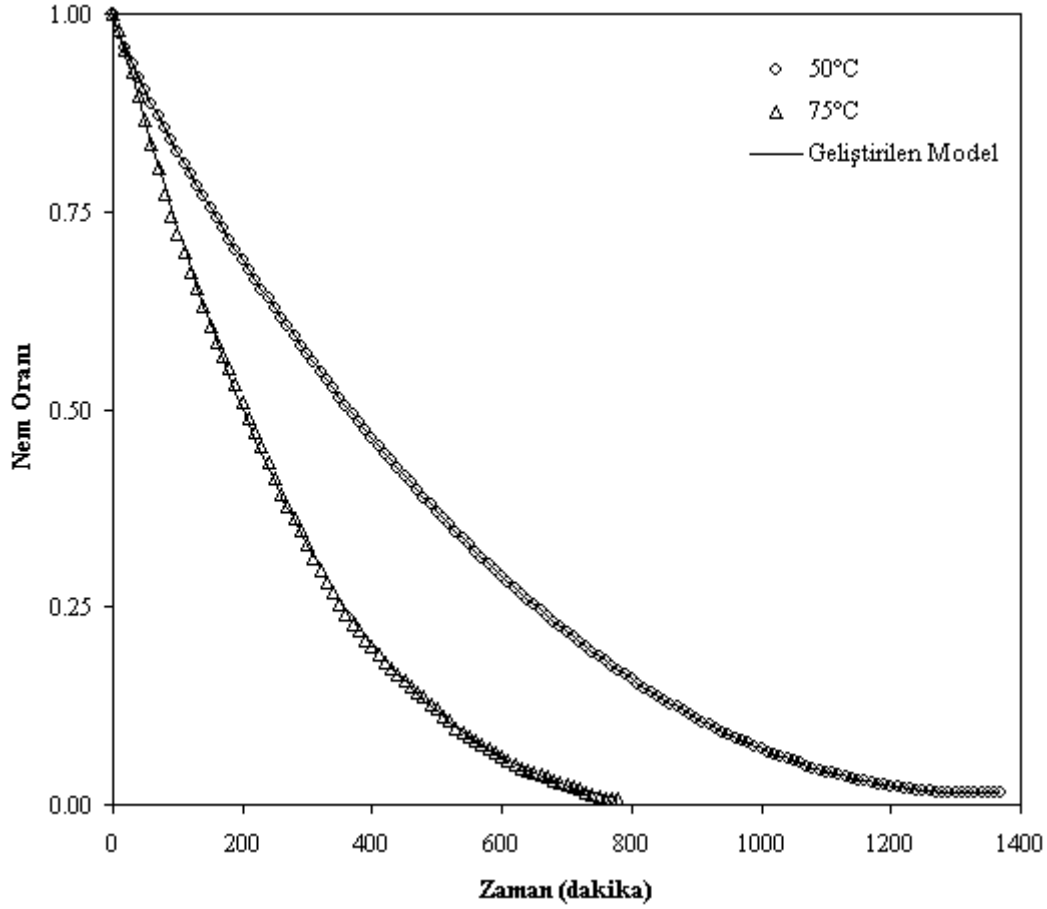
Geliştirilen modelden elde edilen bu sonuçlarla literatürde bulunan ve bu çalışmada kullanılan 10 farklı ince tabaka kurutma modelinden elde edilen sonuçlar istatistiksel olarak beraber değerlendirildiğinde, 90W-50°C mikrodalga gücü ve sıcaklığı uygulamasıyla kurutulan domates örnekleri için Geliştirilen model ile 7 numaralı Wang

ve Singh modellerinden eşit  $R^2$  ve RMSE değerleri elde edilmesine rağmen,  $\chi^2$  değeri göz önüne alındığında geliştirilen modelin daha iyi değerlere sahip olduğu belirlenmiştir. Domates örneklerinin 90W-50°C mikrodalga gücü ve sıcaklığıyla kurutulması sonucu deneysel olarak elde edilen nem oranı değerlerini geliştirilen model ve Wang ve Singh modeli uygulanan diğer 9 farklı ince tabaka modeline göre daha iyi açıklamıştır. Ancak bu iki model kendi aralarında karşılaştırıldığında geliştirilen model daha uygun bulunmuştur. Ayrıca domates örneklerinin diğer mikrodalga-konvektif kombinasyonu kurutma uygulamalarında en yüksek istatistiki değerlerin geliştirilen modelden elde edildiği tespit edilmiştir. Sonuç olarak, geliştirilen model literatürde bulunan ve bu çalışmada uygulanan diğer 10 farklı ince tabaka kurutma modeline göre mikrodalga-konvektif kombinasyonu yöntemiyle kurutulan domates örneklerinin nem oranı değerlerinin zamana göre değişimini en iyi şekilde açıklamıştır.



**Şekil 4.17.** Farklı sıcak hava koşullarıyla kurutulan domates örneklerinin deneysel nem oranı değerleri ile Midilli modelinden elde edilen tahmini nem oranı değerlerinin zamanla değişimi

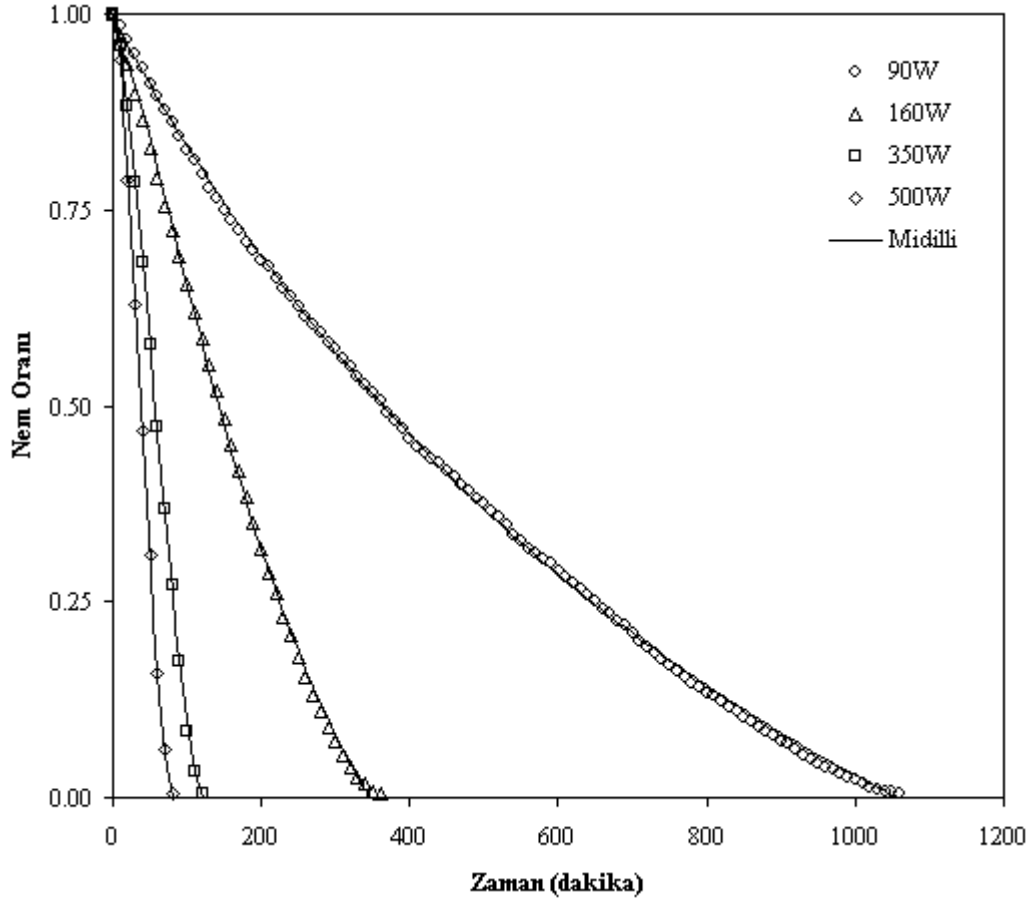
Şekil 4.17’de konvektif kurutma yönteminde 50 ve 75°C sıcaklıkların uygulanmasıyla kurutulan domates örneklerinden deneysel olarak elde edilen nem oranı değerlerinin zamanla değişiminin Midilli modeli ile açıklanması sergilenmiştir. Şekilden anlaşılacağı gibi literatürde bulunan ve bu çalışmada kullanılan 10 farklı ince tabaka kurutma modeli arasında en uygun model olan Midilli modelinden elde edilen tahmini sonuçlarla deneysel sonuçlar birbirine oldukça yakındır.



**Şekil 4.18.** Farklı sıcak hava koşullarıyla kurutulan domates örneklerinin deneysel nem oranı değerleri ile geliştirilen modelden elde edilen tahmini nem oranı değerlerinin zamanla değişimi

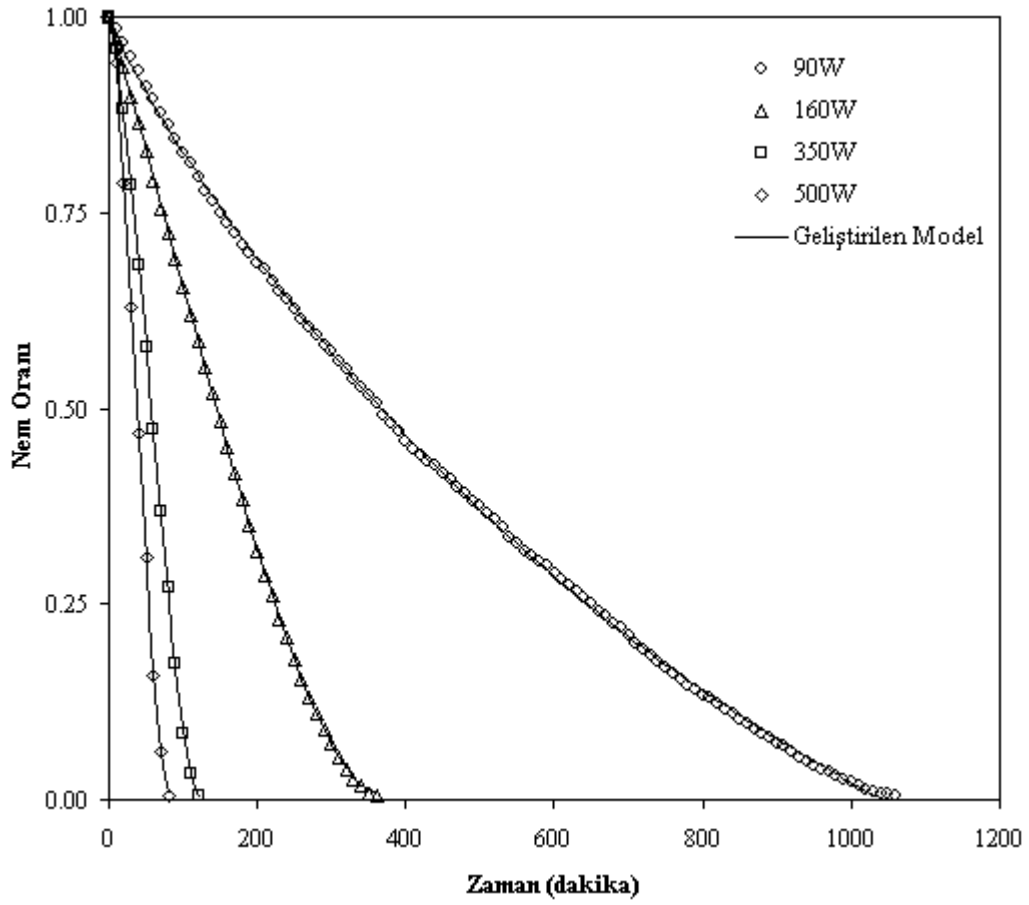
Şekil 4.18’de konvektif kurutma yönteminde 50 ve 75°C sıcaklıkların uygulanmasıyla kurutulan domates örneklerinden deneysel olarak elde edilen nem oranı değerlerinin zamanla değişiminin geliştirilen model ile açıklanması sergilenmiştir. Şekilden de anlaşılacağı gibi geliştirilen modelden elde edilen tahmini sonuçlarla deneysel sonuçlar birbirine oldukça yakındır. Sonuç olarak geliştirilen model domates örneklerinin konvektif yöntemle uygulanan sıcaklıklarla kurutulmasında literatürde bulunan ve bu

çalışmada kullanılan Midilli modeli ve diğer 9 farklı ince tabaka kurutma modelinden daha iyi tanımlamıştır. Bu sonuçlar geliştirilen modelin literatürde bulunan ince tabaka modelleri arasına girebileceğini ya da alternatif bir model olarak kullanılabilceğini göstermiştir.



**Şekil 4.19.** Farklı mikrodalga güçleriyle kurutulan domates örneklerinin deneysel nem oranı değerleri ile Midilli modelinden elde edilen tahmini nem oranı değerlerinin zamanla değişimi

Şekil 4.19’de mikrodalga yönteminde 90, 160, 350 ve 500W mikrodalga güçleriyle kurutulan domates örneklerinden deneysel olarak elde edilen nem oranı değerlerinin zamanla değişiminin literatürde bulunan ve bu çalışmada kullanılan 10 farklı ince tabaka kurutma modeli arasında en uygun model olarak tespit edilen Midilli modeli ile açıklanması sergilenmiştir. Şekilden anlaşılacağı gibi Midilli modelinden elde edilen tahmini sonuçlarla deneysel sonuçlar birbirine oldukça yakındır.

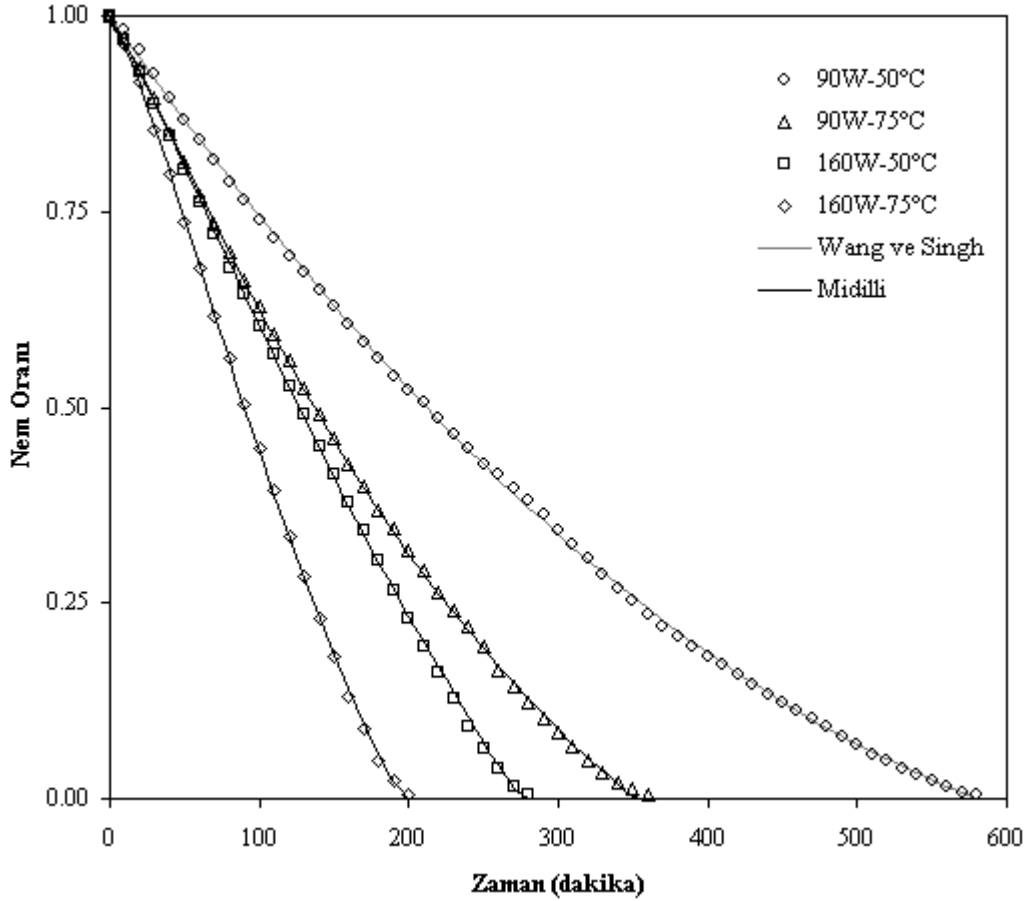


**Şekil 4.20.** Farklı mikrodalga güçleriyle kurutulan domates örneklerinin deneysel nem oranı değerleri ile geliştirilen modelden elde edilen tahmini nem oranı değerlerinin zamanla değişimi

Şekil 4.20’de mikrodalga yönteminde 90, 160, 350 ve 500W mikrodalga güçleriyle kurutulan domates örneklerinden deneysel olarak elde edilen nem oranı değerlerinin zamanla değişiminin geliştirilen model ile açıklanması sergilenmiştir. Şekilden anlaşılacağı gibi geliştirilen modelden elde edilen tahmini sonuçlarla deneysel sonuçlar birbirine oldukça yakındır. Sonuç olarak geliştirilen model domates örneklerinin mikrodalga yöntemde uygulanan güçlerle kurutulmasında Midilli modeli ve diğer 9 modelden daha iyi tanımlamıştır.

Şekil 4.21’de ise mikrodalga-konvektif kombinasyonu kurutma yöntemiyle 90W-50°C mikrodalga gücü ve sıcaklığıyla kurutulan domates örneklerinden deneysel olarak elde edilen nem oranı değerlerinin zamanla değişimi Wang ve Singh modeliyle açıklanırken, 90W-75°C, 160W-50°C ve 160W-75°C mikrodalga gücü ve sıcaklıklarıyla kurutulan

domates örneklerinden deneysel olarak elde edilen nem oranı değerlerinin zamanla değişiminin Midilli modeli ile açıklanması sergilenmiştir. Şekilde görüldüğü gibi Wang ve Singh modeliyle 90W-50°C, Midilli modeliyle 90W-75°C, 160W-50°C ve 160W-75°C mikrodalga gücü ve sıcaklıklarıyla kurutulan domates örneklerinden elde edilen tahmini sonuçlarla deneysel sonuçlar birbirine oldukça yakın oldukları görülmektedir.



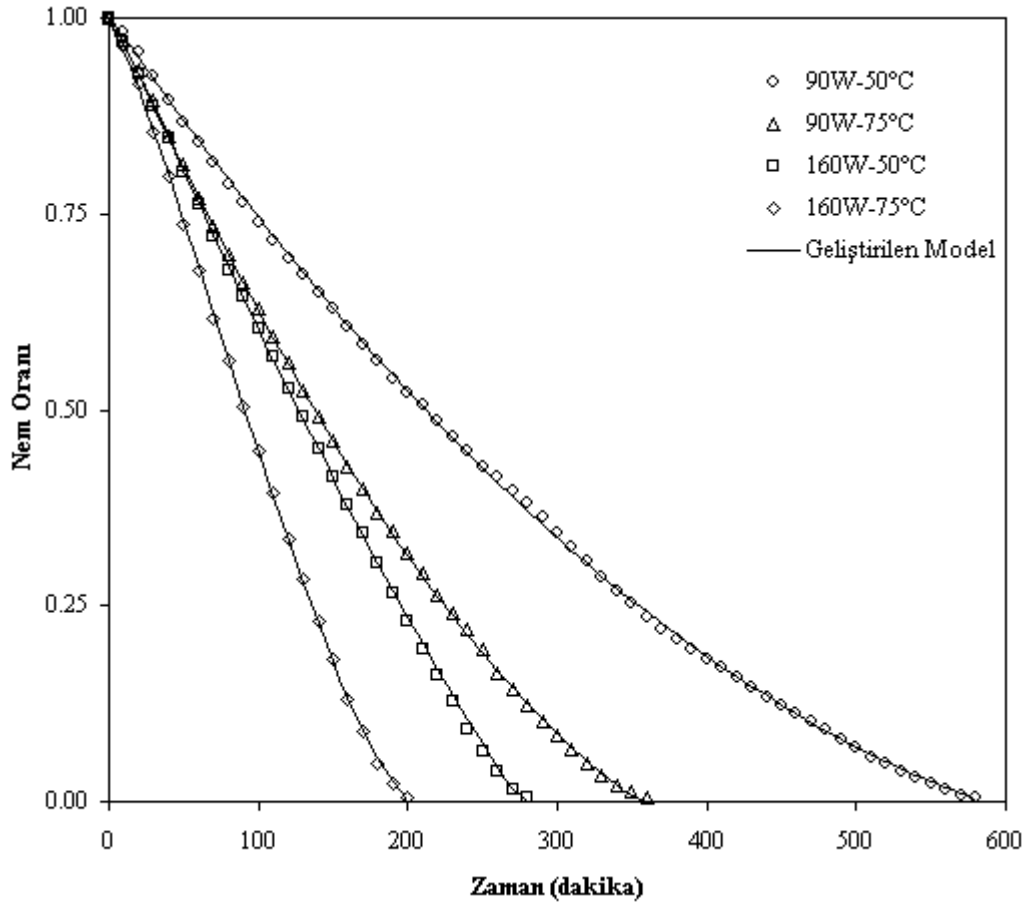
**Şekil 4.21.** Mikrodalga-konvektif kombinasyonu kurutma yöntemiyle kurutulan domates örneklerinin deneysel nem oranı değerleri ile Wang ve Singh ve Midilli modellerinden elde edilen tahmini nem oranı değerlerinin zamanla değişimi

Daha önce yapılan çalışmalar incelendiğinde, Farhang ve ark. (2010) Alfalfa (*Medicago sativa* L.) bitkisinin ve Fadhel ve ark. (2011) muz dilimlerinin kurutulmuş ince tabaka kurutma modelleriyle modellenmesi çalışmalarında en uygun model olarak Wang ve Singh modelini bildirmişlerdir. Ertekin ve Yıldız (2004) patlıcan, Meisami-Asl ve ark. (2010) elma dilimleri, Taheri-Garavanda ve ark. (2011a) domates ve Akhondi ve ark. (2011) safran çiçeğinin kurutulmuş modellenmesi çalışmalarında Midilli modelinin elde ettikleri deneysel verilerini en iyi tanımlayan model olduğunu bildirmişlerdir.



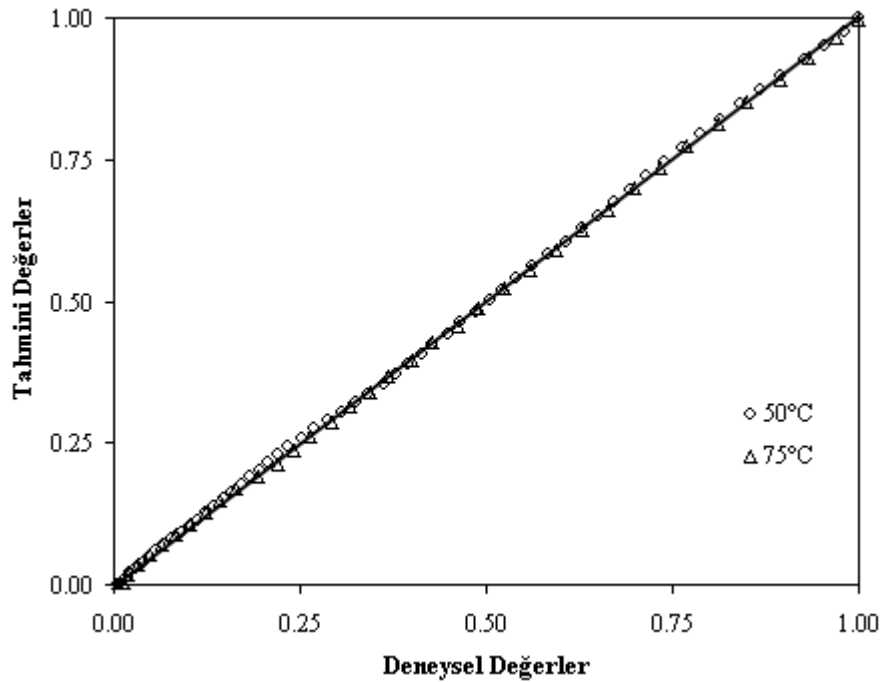
Literatürdeki bu sonuçlar, domates örneklerinin farklı kurutma şartları altında kurularak modellenmesi çalışmasından elde edilen sonuçlarla uyum içerisinde olduğunu göstermektedir.

Şekil 4.22’de mikrodalga-konvektif kombinasyonu yönteminde 90W-50°C, 90W-75°C, 160W-50°C ve 160W-75°C mikrodalga gücü ve sıcaklığıyla kurutulan domates örneklerinden deneysel olarak elde edilen nem oranı değerleri ile bu değerleri açıklayan geliştirilen modelden elde edilen tahmini nem oranı değerlerinin zamanla değişimi sergilenmektedir. Şekilden anlaşılacağı gibi, geliştirilen modelden elde edilen tahmini değerlerle deneysel olarak elde edilen değerlerin birbirine oldukça yakın oldukları görülmektedir.

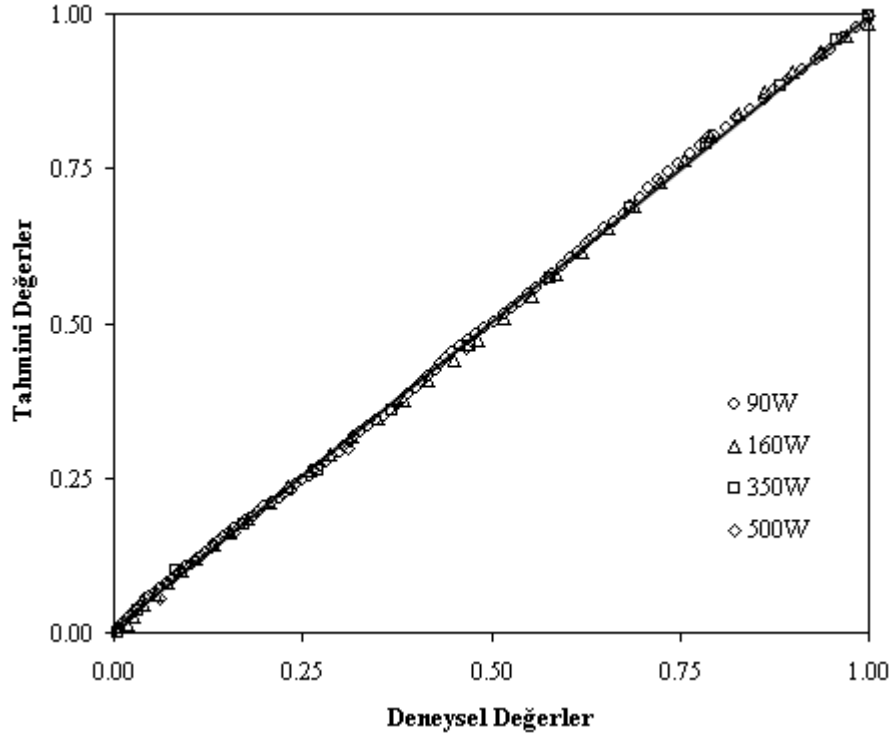


**Şekil 4.22.** Mikrodalga-konvektif kombinasyonu kurutma yöntemiyle kurutulan domates örneklerinin deneysel nem oranı değerleri ile geliştirilen modelden elde edilen tahmini nem oranı değerlerinin zamanla değişimi

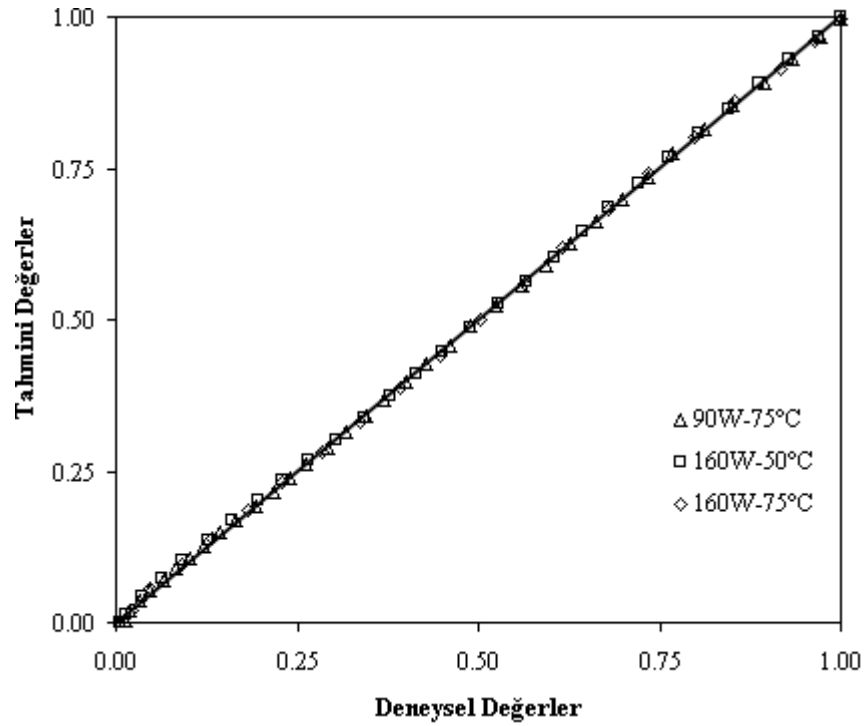
Konvektif yöntemde 50 ve 75°C sıcaklıklarla, mikrodalga yöntemde 90, 160, 350 ve 500W mikrodalga güçleriyle ve mikrodalga-konvektif kombinasyonu kurutma yönteminde 90W-75°C, 160W-50°C ve 160W-75°C mikrodalga gücü ve sıcaklıklarıyla kurutulan domates örneklerinden deneysel olarak elde edilen nem oranı değerleriyle bu değerler için literatürde bulunan ve bu çalışmada kullanılan 10 farklı model arasında en uygun model olan Midilli modelinden elde edilen tahmini nem oranı değerlerinin karşılaştırılması Şekiller 4.23-25’de sunulurken, 90W-50°C mikrodalga gücü ve sıcaklığı uygulamasında en uygun model olan Wangh ve Singh modelinden elde edilen tahmini nem oranı değerler ile deneysel olarak elde edilen nem oranı değerlerinin karşılaştırılması Şekil 4.26’da sunulmuştur. Şekil 4.27-29’da konvektif, mikrodalga ve mikrodalga-konvektif kombinasyonu kurutma yöntemiyle farklı sıcaklık ve mikrodalga güçleriyle kurutulan domateslerden deneysel olarak elde edilen nem oranı değerleri ile literatürde bulunan ve bu çalışmada kullanılan 10 farklı modelden daha uygun değerlere sahip geliştirilen modelden elde edilen tahmini nem oranı değerlerinin karşılaştırılması verilmiştir. Verilerin 45° açıyla çizilmiş bir çizginin etrafında toplandığı görülmektedir.



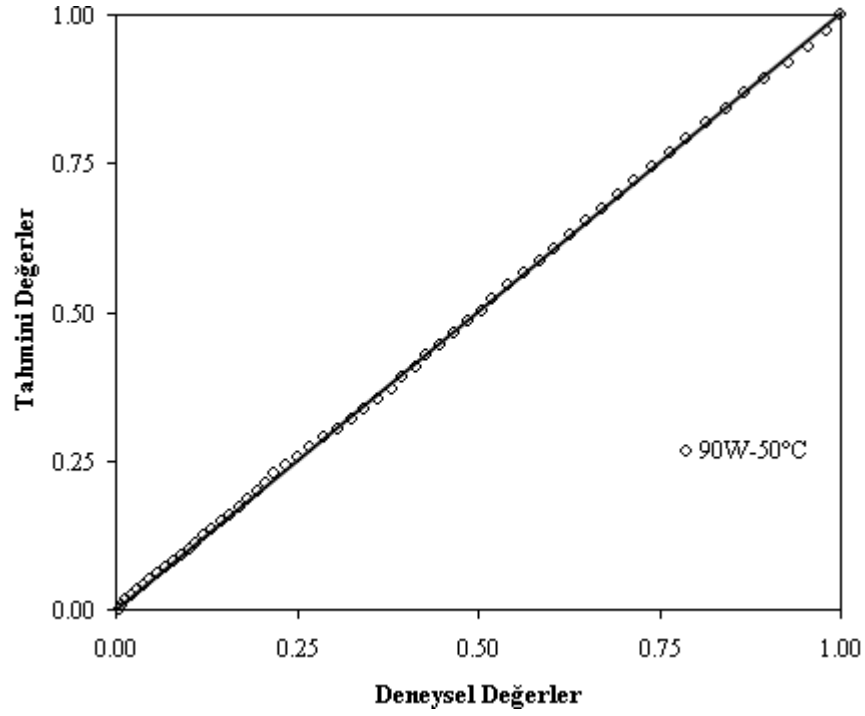
**Şekil 4.23.** Farklı sıcak hava koşullarıyla kurutulan domates örneklerinin deneysel nem oranı değerleri ile Midilli modelinden elde edilen tahmini nem oranı değerlerinin karşılaştırılması



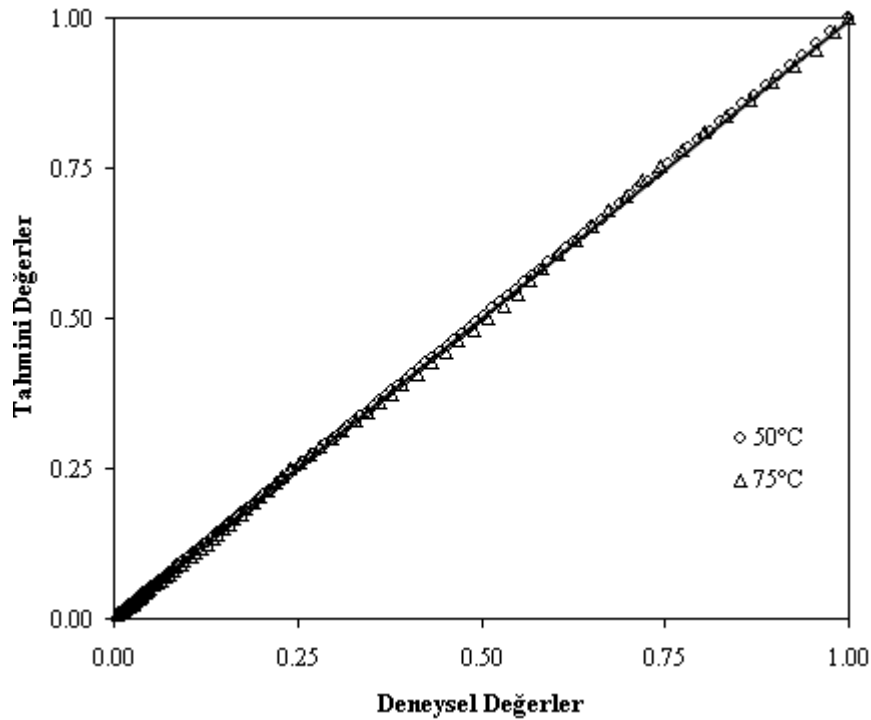
**Şekil 4.24.** Farklı mikrodalga güçleriyle kurutulmuş domates örneklerinin deneysel nem oranı değerleri ile Midilli modelinden elde edilen tahmini nem oranı değerlerinin karşılaştırılması



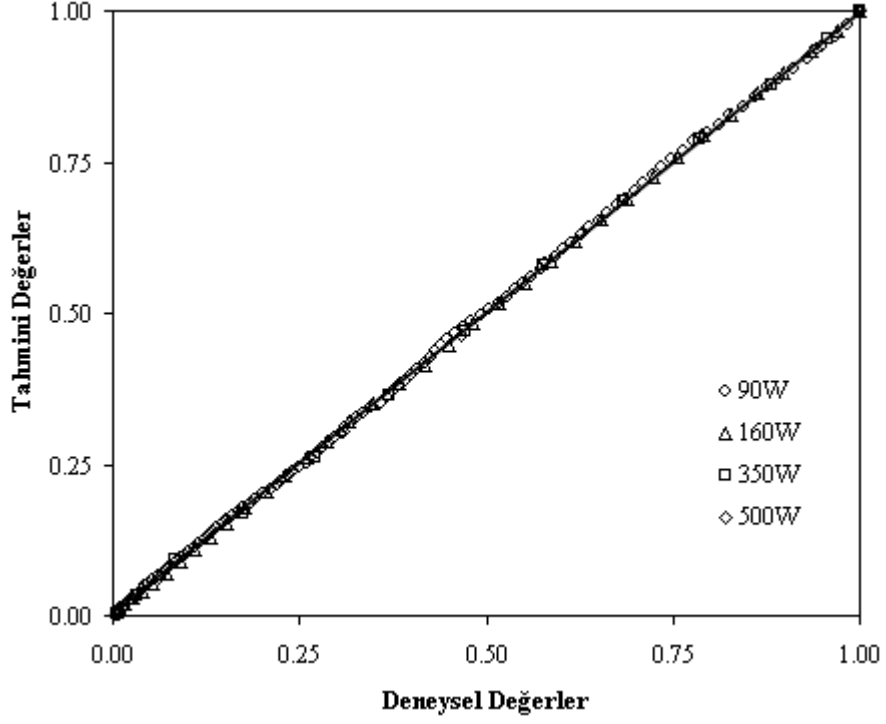
**Şekil 4.25.** Farklı mikrodalga-konvektif kombinasyonlarıyla kurutulmuş domates örneklerinin deneysel nem oranı değerleri ile Midilli modelinden elde edilen tahmini nem oranı değerlerinin karşılaştırılması



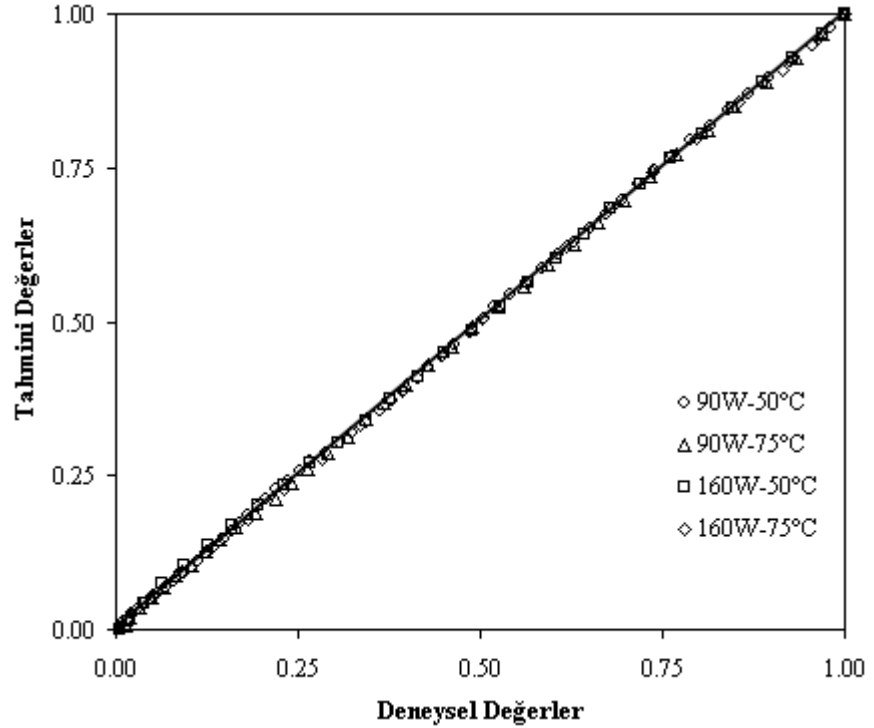
**Şekil 4.26.** Mikrodalga-konvektif kombinasyonu kurutma yöntemiyle kurutulan domates örneklerinin deneysel nem oranı değerleri ile Wang ve Singh modelinden elde edilen tahmini nem oranı değerlerinin karşılaştırılması



**Şekil 4.27.** Farklı sıcaklıklarla kurutulan domates örneklerinin deneysel nem oranı değerleri ile geliştirilen modelden elde edilen tahmini nem oranı değerlerinin zamanla karşılaştırılması



**Şekil 4.28.** Farklı mikrodalga güçleriyle kurutulmuş domates örneklerinin deneysel nem oranı değerleri ile geliştirilen modelden elde edilen tahmini nem oranı değerlerinin karşılaştırılması



**Şekil 4.29.** Farklı mikrodalga-konvektif kombinasyonlarıyla kurutulmuş domates örneklerinin deneysel nem oranı değerleri ile geliştirilen modelden elde edilen tahmini nem oranı değerlerinin karşılaştırılması

Sonuç olarak, domatesin kurutma sonuçlarını literatürde bulunan ve bu çalışmada uygulanan var olan modeller arasında 90W-50°C mikrodalga gücü ve sıcaklığı için Wang ve Singh modeli, diğer mikrodalga ve sıcaklıklar için Midilli modeli en iyi şekilde tanımlamıştır. Ayrıca geliştirilen model ile bu çalışmada kullanılan modeller beraber değerlendirildiğinde uygulanan tüm kurutma şartları için geliştirilen model en iyi sonuçları sağlamıştır.

#### **4.2.4. Domates ürününün renk analiz sonuçları**

Taze ve farklı kurutma koşullarında kurutulmuş domates örneklerinin renk parametreleri;  $L^*$ ,  $a^*$ ,  $b^*$ ,  $C$  ve  $\alpha$  değerleri Çizelge 4.8’de verilmiştir. Beklenildiği gibi en yüksek renk değerleri taze domateslerden elde edilmiştir ve bu değerler uygulanan tüm kurutma şartlarından elde edilen kurutulmuş domates örneklerinin renk değerlerinden önemli ölçüde farklıdır ( $P<0,01$ ). Taze domates örneklerine uygulanan farklı kurutma koşullarının renk parametrelerinde genel olarak bir azalma meydana getirdiği gözlemlenmiştir. Üç farklı kurutma yöntemiyle kurutulan domates örneklerinin parlaklık değerleri incelendiğinde, uygulanan yöntemler arasında en fazla düşüş mikrodalga kurutma yöntemiyle kurutulan domates örneklerinde gerçekleşmiştir. Taze domates örneklerinde  $L^*$  (parlaklık) değeri 36,697 iken, 500W mikrodalga güç uygulamasıyla kurutulan örneklerde bu değer 23,883’e kadar düşmüş olup,  $L^*$  değerindeki bu azalma istatistiki olarak önemli bulunmuştur ( $P<0,01$ ). Kurutulmuş örneklerin  $L^*$  değerlerinde en az düşüş 32,340 değeriyle konvektif kurutma yönteminde 50°C sıcaklıkla kurutulan domateslerden elde edilmiştir. Yalnızca mikrodalga kurutma yöntemiyle kurutulan domates örneklerinden elde edilen renk değerleriyle mikrodalga-konvektif kombinasyonu kurutma yöntemiyle kurutulan domates örneklerinden elde edilen renk değerleri karşılaştırıldığında, 90W mikrodalga uygulaması sonucu elde edilen örneklerin parlaklık değeri 26,210 iken, 90W-50°C kombine uygulaması sonucu elde edilen parlaklık değeri 27,547 olmuştur. Ayrıca 160W mikrodalga uygulaması sonucu elde edilen örneklerin parlaklık değeri 25,510 iken, 160W-50°C kombine uygulaması sonucu elde edilen parlaklık değeri ise 26,080 olarak belirlenmiştir. Elde edilen bu sonuçlara göre yalnızca mikrodalga kurutma yöntemiyle kurutulan domates örneklerinin renk kayıplarının, mikrodalga-konvektif kombinasyonu kurutma yöntemiyle kurutulan domates örneklerinin renk kayıplarından daha fazla olmasının

nedeni yalnızca mikrodalga kurutma yönteminde kurutma süresinin mikrodalga-konvektif kombinasyonu kurutma yöntemine göre daha uzun olmasından kaynaklanmaktadır. Kuruma süresinin uzaması ile renkteki değişme daha da artmıştır. Kurutulmuş ürünlerin L\* değerindeki düşüşe paralel olarak a\* (yeşillik/kırmızılık) ve b\* (sarılık/mavilik) değerlerinde de bir azalma meydana gelmiştir. Taze domates örneklerinin a\* ve b\* değerleri sırasıyla 35,700 ve 32,197 iken, uygulanan 500W mikrodalga güç seviyesinde bu değerler 20,387 ve 13,150'ye kadar düşmüş olup, a ve b değerlerindeki bu azalma istatistiki olarak önemli bulunmuştur (P<0,01). L\*, a\* ve b\* parametreleri birlikte incelendiğinde uygulanan üç farklı kurutma yönteminde renk kaybı en az konvektif yöntemde gözlemlenirken, mikrodalga-konvektif kombinasyonu yöntemi tek başına mikrodalga ile kurutmada daha başarılı bulunmuştur.

**Çizelge 4.8.** Farklı kurutma yöntemleriyle kurutulan domates örneklerinin renk değerleri

Kurutma Yöntemi	Renk Parametreleri				
	L*	a*	b*	C	$\alpha,^\circ$
Taze	36,697(0,076) <sup>a</sup>	35,700(0,066) <sup>a</sup>	32,197(0,437) <sup>a</sup>	48,075(0,250) <sup>a</sup>	42,066(0,435) <sup>a</sup>
Konvektif					
50°C	32,340(0,089) <sup>b</sup>	31,380(0,406) <sup>b</sup>	25,763(0,506) <sup>b</sup>	40,602(0,602) <sup>b</sup>	39,405(0,343) <sup>b</sup>
75°C	28,727(0,290) <sup>c</sup>	27,487(0,166) <sup>c</sup>	20,490(0,239) <sup>c</sup>	34,284(0,275) <sup>c</sup>	36,721(0,156) <sup>c</sup>
Mikrodalga					
90W	26,210(0,106) <sup>e</sup>	26,810(0,115) <sup>d</sup>	18,877(0,144) <sup>d</sup>	32,789(0,177) <sup>d</sup>	35,167(0,089) <sup>d</sup>
160W	25,510(0,516) <sup>f</sup>	27,373(0,435) <sup>cd</sup>	20,360(0,489) <sup>c</sup>	34,115(0,640) <sup>c</sup>	36,657(0,228) <sup>c</sup>
350W	24,517(0,095) <sup>g</sup>	21,323(0,065) <sup>g</sup>	14,183(0,055) <sup>f</sup>	25,610(0,084) <sup>g</sup>	33,647(0,022) <sup>f</sup>
500W	23,883(0,031) <sup>h</sup>	20,387(0,015) <sup>h</sup>	13,150(0,147) <sup>g</sup>	24,260(0,087) <sup>h</sup>	32,839(0,283) <sup>g</sup>
Mikrodalga-Konvektif Kombinasyonu					
90W-50°C	27,547(0,076) <sup>d</sup>	27,533(0,537) <sup>c</sup>	20,200(0,070) <sup>c</sup>	34,150(0,413) <sup>c</sup>	36,289(0,585) <sup>c</sup>
90W-75°C	26,383(0,068) <sup>e</sup>	26,803(0,045) <sup>d</sup>	18,300(0,026) <sup>d</sup>	32,455(0,051) <sup>de</sup>	34,341(0,017) <sup>e</sup>
160W-50°C	26,080(0,027) <sup>e</sup>	25,883(0,023) <sup>e</sup>	18,237(0,073) <sup>d</sup>	31,663(0,061) <sup>e</sup>	35,185(0,085) <sup>d</sup>
160W-75°C	25,350(0,211) <sup>f</sup>	23,340(0,435) <sup>f</sup>	17,390(0,439) <sup>e</sup>	29,106(0,610) <sup>f</sup>	36,705(0,191) <sup>c</sup>

Her bir renk parametresi sütunun istatistiği ayrı ayrı uygulanmıştır ve aynı sütunda farklı harfler taşıyan ortalamalar arasındaki farklılıklar önemlidir (P<0,01).

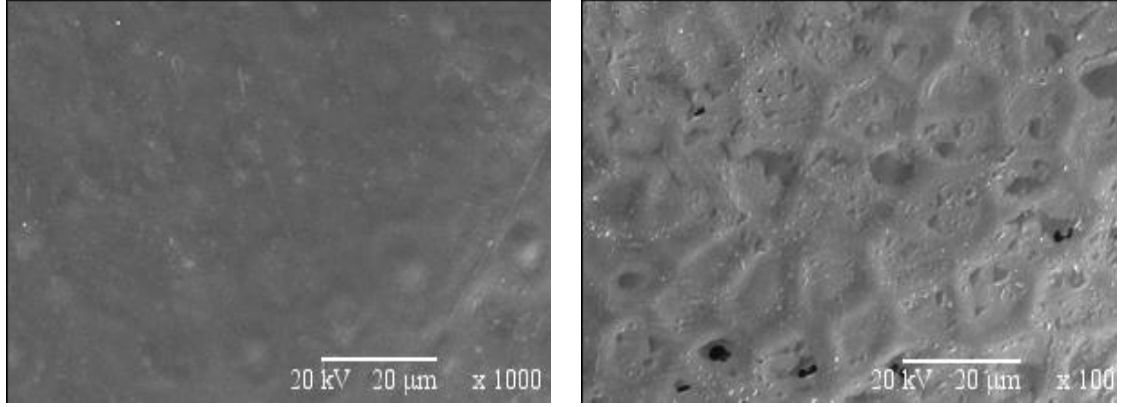
Domates örneklerinin kırmızı rengi kurutma süresince zamana bağlı olarak koyulaşmış ve kahverengi bir renk almıştır. Taze örneklerin C ve  $\alpha$  değerleri sırasıyla 48,075 ve 42,066 olarak hesaplanmıştır. En düşük C ve  $\alpha$  değerleri 500W mikrodalga güç seviyesinde gerçekleşmiştir. Kurutmanın C ve  $\alpha$  değerleri üzerinde önemli bir etkisi olmuş ve 500W mikrodalga güç seviyesinde bu değerler sırasıyla yaklaşık %50 ve %23 oranında azalmıştır. Konvektif kurutma yönteminde 50°C sıcaklıkla kurutulmuş domates örneklerinin C ve  $\alpha$  değerleri taze domates örneklerine en yakın değerler olarak bulunmuştur. Sonuç olarak domatesin kurutulmasında tüm kurutma şartları göz önüne alındığında taze domates örneklerinin renk parametrelerine en yakın değerler 50°C sıcaklıkla kurutulan domates örneklerinden elde edilirken, en uzak değerler 500W mikrodalga uygulamasıyla kurutulan örneklerden elde edilmiştir.

Daha önce yapılan çalışmalar incelendiğinde, Demiray (2009) tepsili kurutma kabinini kullanarak farklı kurutma sıcaklıklarında (60, 70, 80, 90 ve 100°C) kuruttuğu domateslerin L, a ve b değerlerinde zamana bağlı olarak belirgin bir şekilde azalma olduğunu, bu azalmanın da kurutma ortam sıcaklığındaki artışa bağlı olarak daha da arttığını bildirmiştir. Çelen (2010) ise mikrodalga kurutma yöntemiyle farklı mikrodalga güçlerinde (90, 180, 360 ve 600W) kuruttuğu domates örneklerinin L, a, b ve C değerlerinde düşüş olduğunu, renk kaybının en fazla 600W, en az kaybın ise ürünün daha yavaş ısındığı ve daha homojen kurumanın sağlandığı 90W mikrodalga uygulamasında olduğunu bildirmiştir. Workneh ve ark. (2011) sıcak hava ve mikrodalga-sıcak hava kombinasyonu kurutma yöntemiyle kuruttukları domates örneklerinde artan sıcaklık ve mikrodalga güçlerine bağlı olarak L ve a değerlerinde düşüş olduğunu belirlerken, b değerinde ise artış olduğunu tespit etmişlerdir.

#### **4.2.5. Domates ürününün mikroyapı analiz sonuçları**

Şekiller 4.30-32'de konvektif, mikrodalga ve mikrodalga-konvektif kombinasyonu kurutma yöntemleri kullanılarak kurutulan domates örneklerine ait taramalı elektron mikroskobu görüntüleri sunulmuştur.

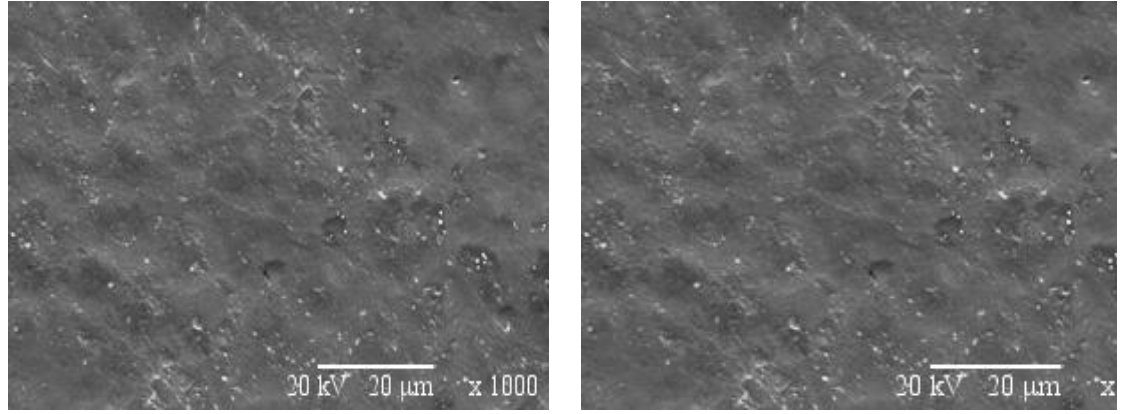




a)

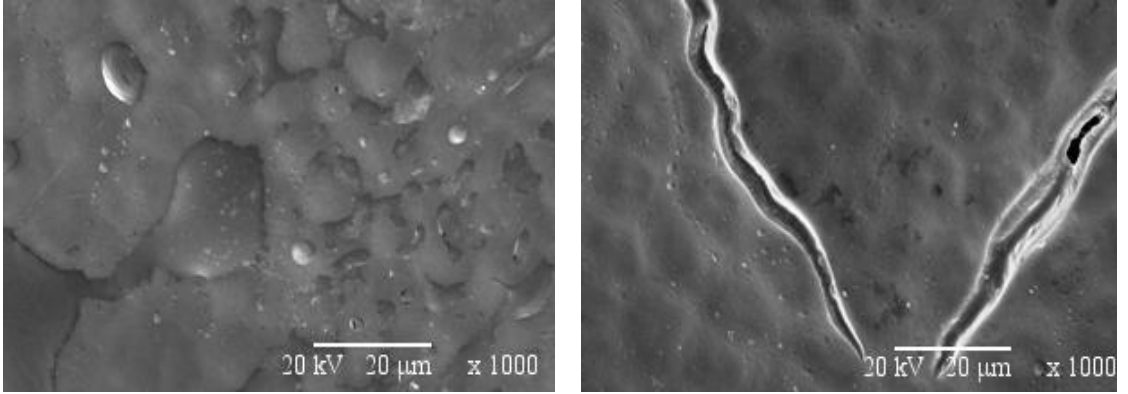
b)

**Şekil 4.30.** Konvektif (50°C (a) ve 75°C (b)) yöntemle kurutulmuş domates örneklerinin taramalı elektron mikroskobu görüntüleri



a)

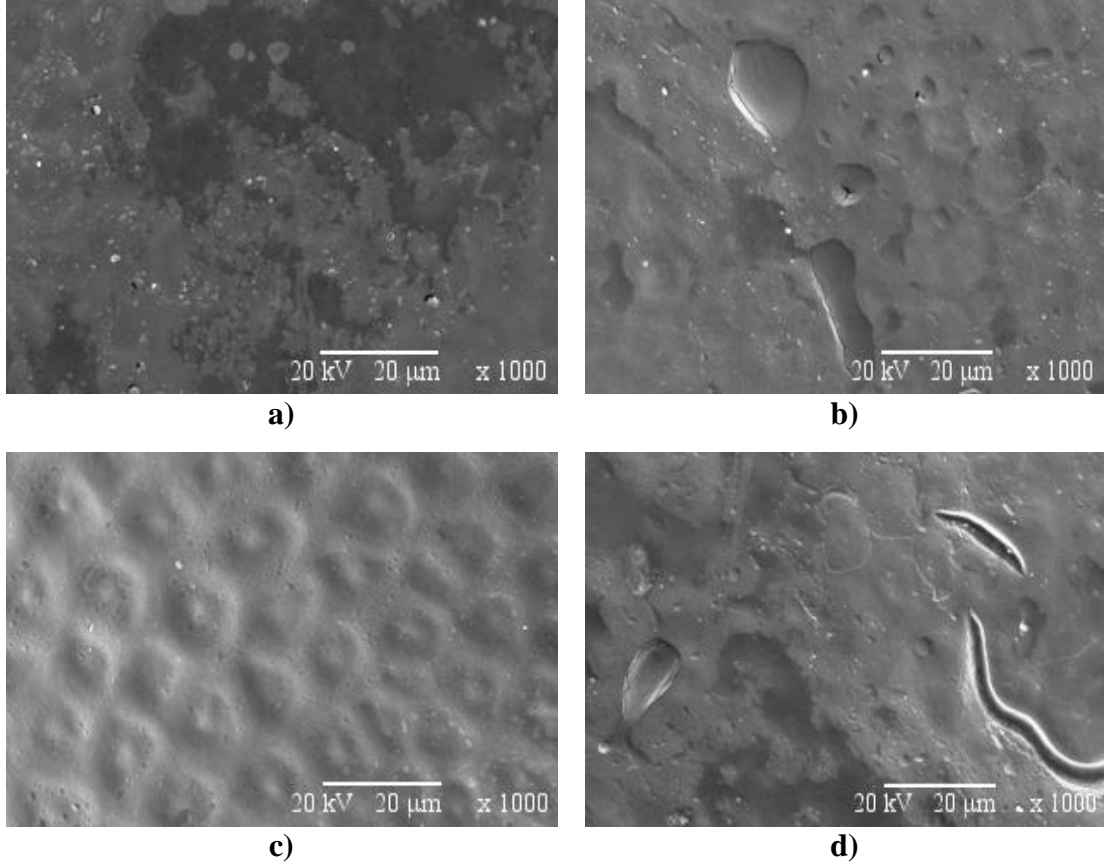
b)



c)

d)

**Şekil 4.31.** Mikrodalga (90W (a), 160W (b), 350W (c), 500W (d)) yöntemiyle kurutulmuş domates örneklerinin taramalı elektron mikroskobu görüntüleri



**Şekil 4.32.** Mikrodalga-konvektif (90W-50°C (a), 90W-75°C (b), 160W-50°C (c) ve 160W-75°C (d)) kombinasyonu yöntemiyle kurutulmuş domates örneklerinin taramalı elektron mikroskobu görüntüleri

Elde edilen görüntüler incelendiğinde konvektif kurutma yöntemiyle 75°C sıcaklıkla kurutulan örneklerin dış yüzeylerinde 50°C sıcaklıkla kurutulan domatesin dış yüzeylerine göre daha fazla çökmenin olduğu görülmektedir. Domates örneklerinin mikrodalga kurutma yöntemiyle kurutulması uygulamalarında ise 350 ve 500W mikrodalga güçlerinde kurutulan domateslerin dış yüzeylerinin 90 ve 160W mikrodalga güçlerinde kurutulan domateslerin yüzeylerine göre belirgin şekilde çatlak ve kırılmaların olduğu görülmektedir. Mikrodalga-konvektif kombinasyonu kurutma yöntemiyle kurutulan domateslerin taramalı elektron mikroskobu görüntüleri incelendiğinde uygulanan mikrodalga güçleri ve sıcaklıklar arttıkça domateslerin yüzeylerinde meydana gelen zararların arttığı görülmektedir.

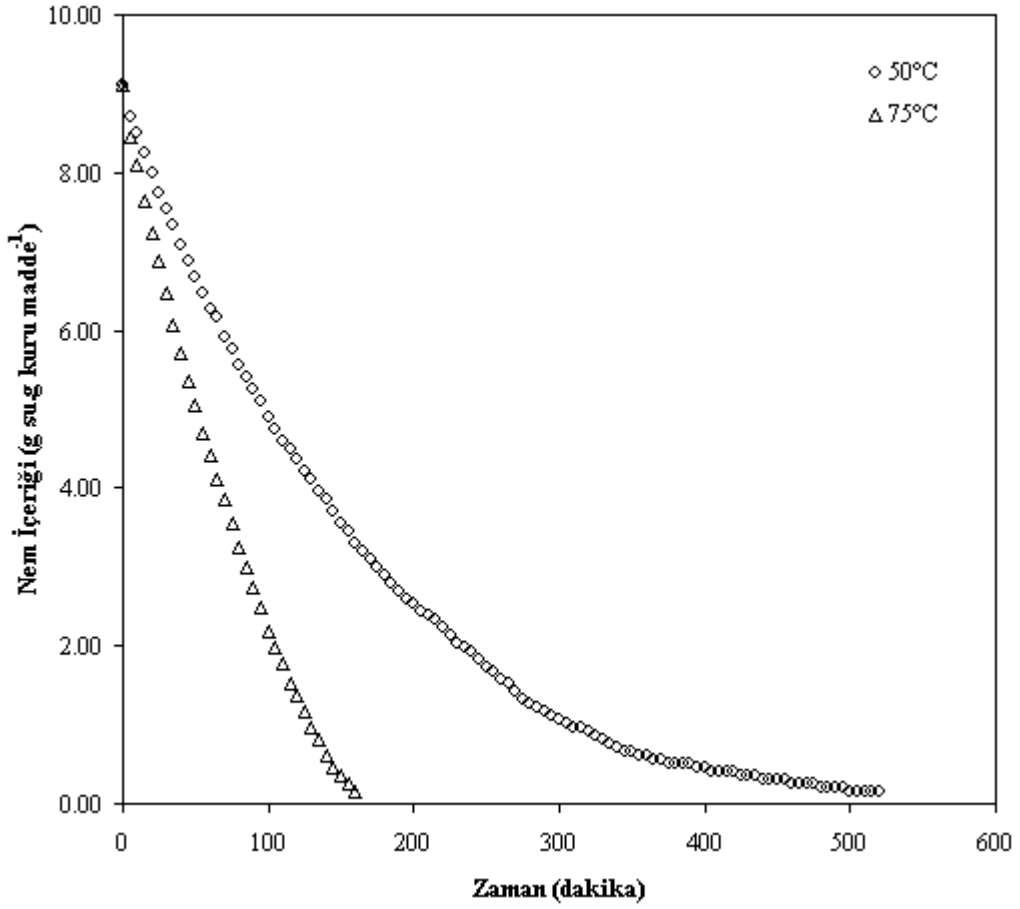
Askari ve ark. (2009) farklı kurutma tekniklerinin domates üzerinde etkilerini kurutulmuş oldukları ürünlerin mikroyapılarını inceleyerek ortaya koymuşlardır. Deneylerinin

sonucunda sıcak hava kurutma yöntemiyle kurutulan domates örneklerinin yüzeylerinin zarar gördüğünü, ancak sıcak hava-mikrodalga uygulamasında bu zararın yüzeylerde çökmelere neden olduğunu bildirmişlerdir. Ayrıca Askari ve ark. (2006) farklı kurutma tekniklerinin elma üzerinde etkilerini de incelemişler, mikrodalga kurutmanın elmanın hücre duvarlarında zarara neden olduğunu bildirmişlerdir. Daha önce farklı araştırmacılar farklı ürünler üzerinde yapmış oldukları çalışmalar sonucunda yüksek sıcaklıkların kurutulan ürünlerin yapılarını bozduğunu bildirmişlerdir (Bondaruk ve ark. 2007, Witrowa-Rajchert ve Rzaca 2009, Thuwapanichayanan ve ark. 2011). Sonuç olarak domatesin kurutulması için uygulanan tüm kurutma şartlarında yüksek sıcaklık ve mikrodalga güçleriyle kurutulan domateslerin yüzeylerinde çökme ve çatlakların olduğu belirlenmiştir.

### **4.3. Mantar Kurutma**

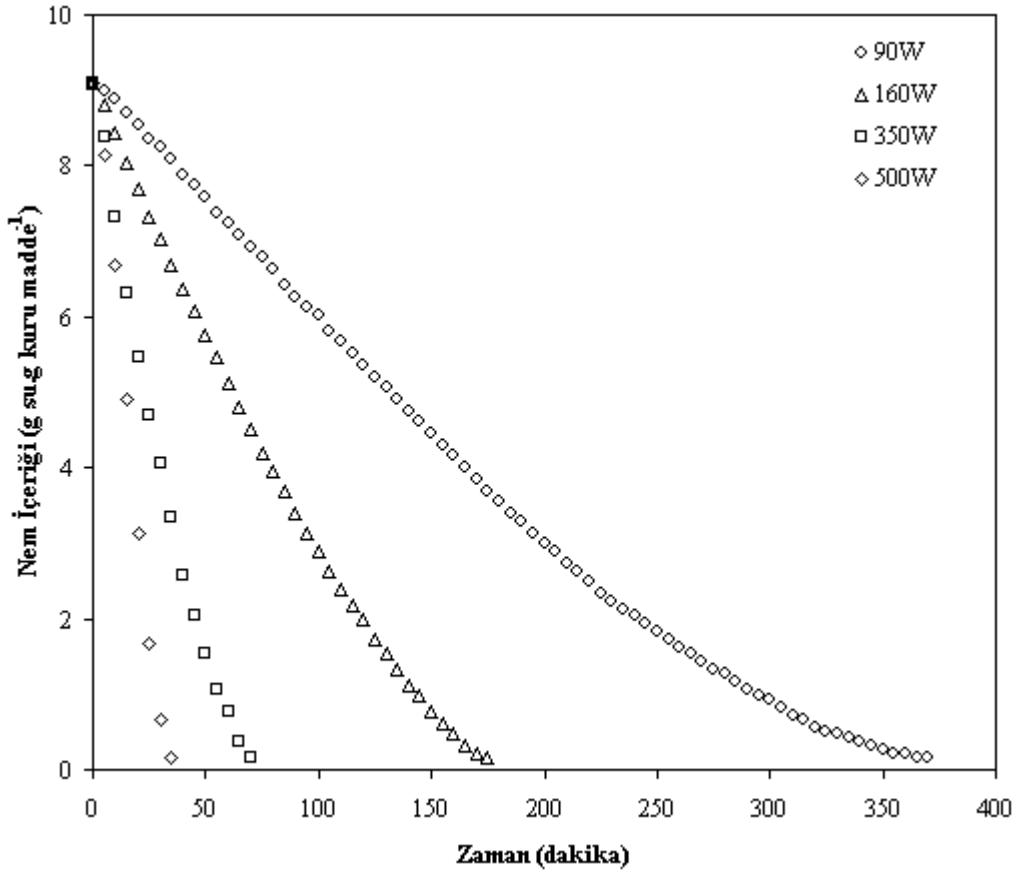
#### **4.3.1. Mantar ürününün nem içeriği değişimi**

Şekil 4.33'de konvektif kurutmada 2 farklı sıcaklık ile kurutulan mantar örneklerinin nem içeriklerinin zamanla değişimi sunulmuştur. Konvektif kurutmada toplam kurutma süreleri dikkate alındığında 50°C sıcaklıkla kurutulan örnekler için 520 dakika ve 75°C sıcaklıkla kurutulan örnekler için ise 160 dakika kuruma süreleri tespit edilmiştir. Deneyle sonucunda uygulanan sıcaklıklar arttıkça kurutulan mantar örneklerinin kuruma sürelerinin azaldığı belirlenmiştir. Daha önce yapılan mantar kurutma çalışmalarında benzer sonuçlar elde edilmiştir (Arıcı 2006, Giri ve Prasad 2007, Artnaseaw ve ark. 2010).



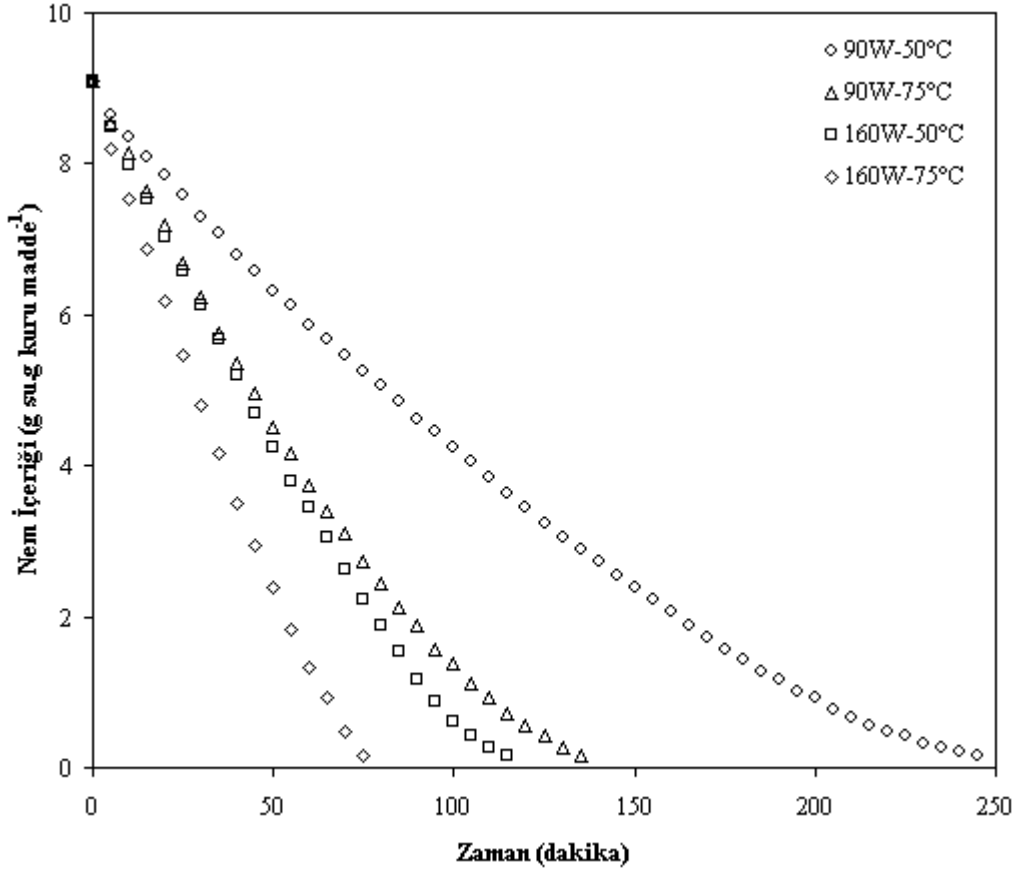
**Şekil 4.33.** Farklı sıcaklıklarla kurutulmuş mantar örneklerinin nem içeriklerinin zamanla değişimi

Şekil 4.34'de mikrodalga yöntemiyle kurutmada 4 farklı mikrodalga gücü ile kurutulmuş mantar örneklerinin nem içeriklerinin zamanla değişimi sunulmuştur. Mikrodalga kurutma yöntemiyle kurutulmuş mantar örneklerinin toplam kuruma süreleri incelendiğinde 90, 160, 350 ve 500 W mikrodalga güçleriyle kurutulmuş mantar örnekleri için sırasıyla 370, 175, 70 ve 35 dakika kuruma süreleri belirlenmiştir. Mantar küplerinin mikrodalga kurutma yöntemiyle kurutulmasında elde edilen deneysel sonuçlara göre uygulanan mikrodalga güç seviyelerinin artmasıyla kurutulmuş ürünlerin kuruma sürelerinin azaldığı tespit edilmiştir. Ayrıca en kısa kuruma süresi 500W mikrodalga gücü uygulamasıyla kurutulmuş mantar örneklerinden elde edilirken, en uzun kuruma süresi 90W mikrodalga gücü uygulamasıyla kurutulmuş örneklerden elde edilmiştir.



**Şekil 4.34.** Farklı mikrodalga güçleriyle kurutulan mantar örneklerinin nem içeriklerinin zamanla değişimi

Şekil 4.35’de mikrodalga-konvektif kombinasyonu kurutma yöntemiyle kurutmada 2 farklı mikrodalga gücü ve 2 farklı sıcaklık kombinasyonu ile kurutulan mantar örneklerinin nem içeriklerinin zamanla değişimi sunulmuştur. Mantar örneklerinin mikrodalga-konvektif kombinasyonu kurutma yöntemiyle kurutulmasında toplam kuruma süreleri dikkate alındığında 90W-50°C, 90W-75°C, 160W-50°C ve 160W-75°C mikrodalga gücü ve sıcaklıklarıyla kurutulan mantar örnekleri için sırasıyla 245, 135, 115 ve 75 dakika kuruma süreleri meydana gelmiştir. Deneysel sonuçlara göre uygulanan mikrodalga güç ve sıcaklıkların artmasıyla kurutulan ürünlerin toplam kuruma sürelerinin azaldığı belirlenmiştir. Mikrodalga-konvektif kombinasyonu kurutma yöntemiyle kurutulan mantarların kuruma süreleri karşılaştırıldığında, en kısa kuruma süresinin beklenildiği gibi 160W-75°C mikrodalga gücü ve sıcaklığında kurutulan örneklerden elde edilirken, en uzun kuruma süresi 90W-50°C mikrodalga gücü ve sıcaklığında kurutulan örneklerden elde edilmiştir.

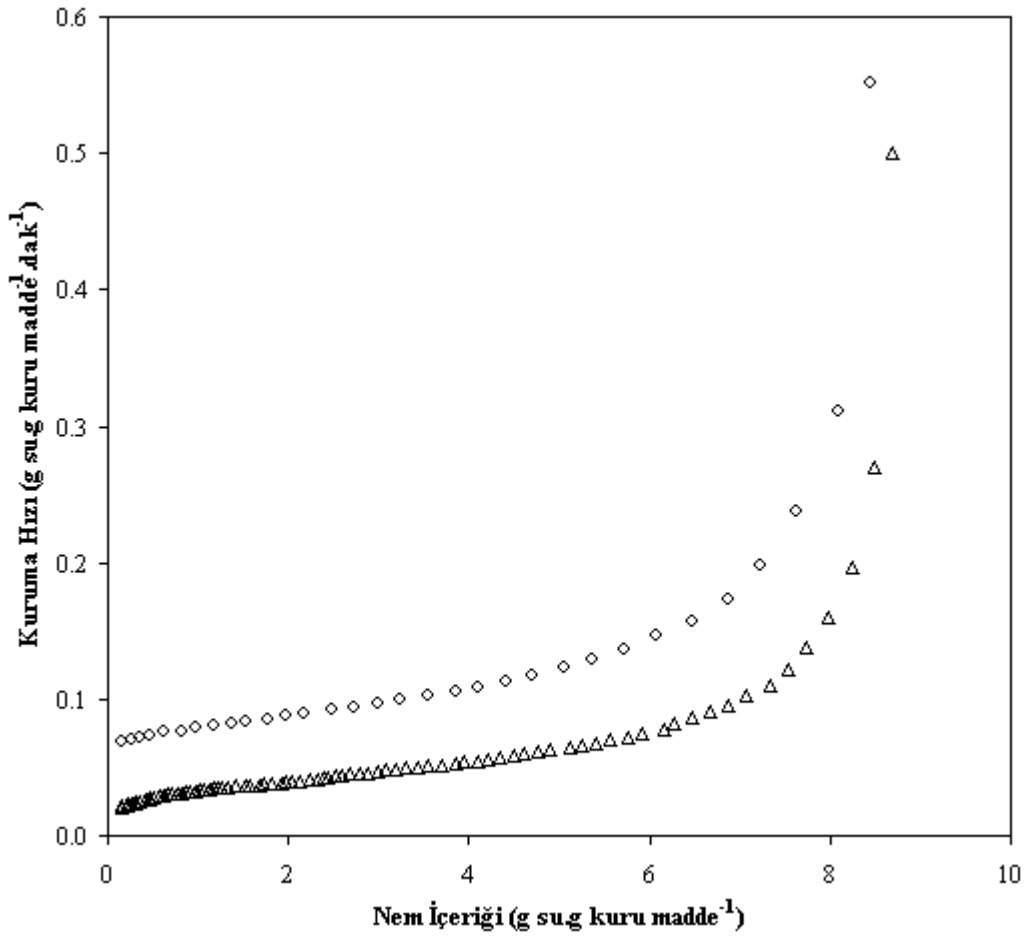


**Şekil 4.35.** Farklı mikrodalga-konvektif kombinasyonlarıyla kurutulan mantar örneklerinin nem içeriklerinin zamanla değişimi

Mantar küplerinin kurutulmasında konvektif, mikrodalga ve mikrodalga-konvektif kombinasyonu kurutma yöntemleri toplam kuruma süreleri bakımından karşılaştırıldıklarında, mikrodalga-konvektif kombinasyonu kurutma yönteminin yalnızca mikrodalga ve yalnızca konvektif kurutma yöntemine göre büyük oranda zaman kazanımı sağladığı belirlenmiştir. Örneğin, 90W-50°C mikrodalga gücü ve sıcaklığın kullanıldığı mikrodalga-konvektif kombinasyonu kurutma yöntemiyle kurutulan mantar örneklerinin kurutma sürelerinin 90W mikrodalga gücünün kullanıldığı yalnızca mikrodalga yöntemi uygulamasından 1,51 kat ve 50°C sıcaklığın kullanıldığı yalnızca konvektif yöntemi uygulamasından 2,12 kat kısa sürdüğü tespit edilmiştir. Benzer sonuçlar diğer kurutma şartları için de elde edilmiştir.

#### 4.3.2. Mantar ürününün kuruma hızı

Konvektif kurutma yöntemiyle 50 ve 75°C sıcaklıklarda kurutulan mantar örneklerinin kuruma hızlarının zamanla değişimi Şekil 4.36'da verilmiştir. Sonuçlar incelendiğinde mantar küplerinin kuruma davranışlarının azalan hız periyodunda gerçekleştiği görülmektedir. Elde edilen bu sonuçlarla daha önce Arumuganathan ve ark. (2009) tarafından yapılan mantar kurutma çalışmasından elde ettikleri sonuçlar arasında iyi bir uyum olduğu görülmektedir.

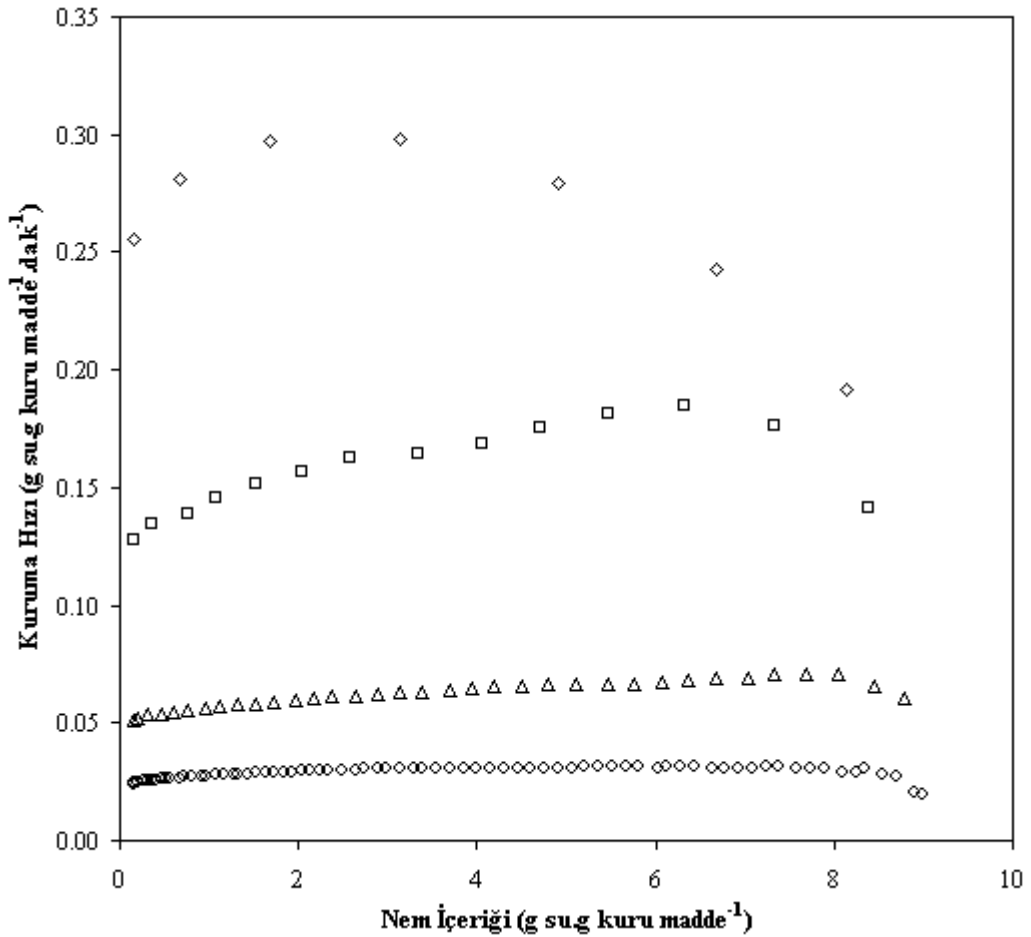


Şekil 4.36. Konvektif (Δ50°C ve ◊75°C) kurutma yöntemiyle kurutulan mantar örneklerinin kuruma hızlarının nem içerikleriyle değişimi

Konvektif kurutma yönteminde uygulanan sıcaklıklarla kurutulan mantarlardan elde edilen kuruma hızı değerleri karşılaştırıldığında, 75°C sıcaklıkla kurutulan mantarların 50°C sıcaklıkla kurutulan mantarlara göre daha yüksek kuruma hız değerlerine sahip oldukları belirlenmiştir. Sonuç olarak mantarların konvektif kurutma yöntemiyle

kurutulmasında uygulanan sıcaklıklar arttıkça elde edilen kuruma hız değerleri de artmıştır. Cao ve ark. (2003) yapmış oldukları mantar kurutma çalışmasında benzer sonuçları bildirmişlerdir. Bu sonuçlar yapılan çalışmanın daha önce yapılan çalışmalarla uyum içersinde olduğunu göstermektedir.

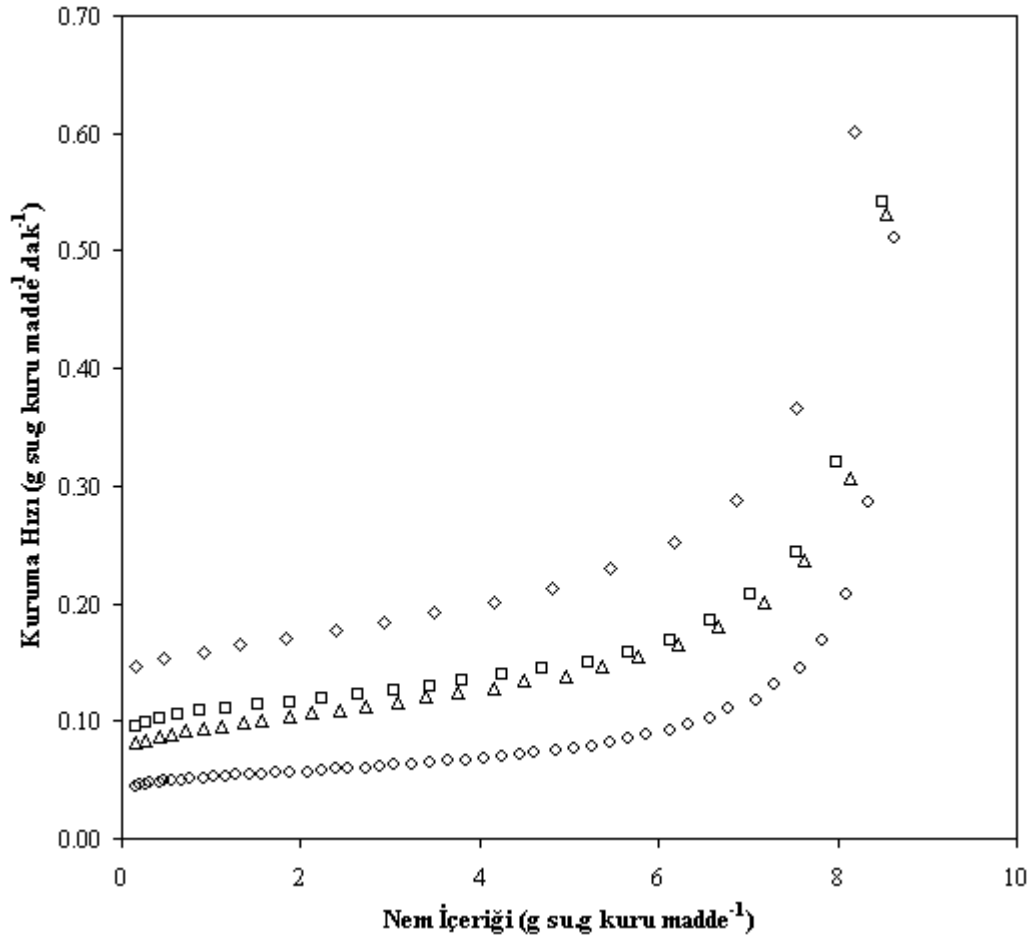
Mikrodalga kurutma yöntemiyle 90, 160, 350 ve 500W mikrodalga güçlerinde kurutulan mantar küplerinin kuruma hız değerlerinin zamanla değişimi Şekil 4.37’de verilmiştir. Sonuçlar incelendiğinde, 90W mikrodalga gücüyle kurutulan mantar örneklerinden en düşük kuruma hız değerleri elde edilirken 500W mikrodalga gücüyle kurutulan mantar örneklerinden en yüksek kuruma hız değerleri elde edilmiştir. Sonuç olarak mantar küplerinin mikrodalga kurutma yöntemiyle kurutulmasında uygulanan mikrodalga güçleri arttıkça elde edilen kuruma hız değerleri de artmıştır.



Şekil 4.37. Mikrodalga (◊90W, △160W, □350W ve ◊500W) yöntemiyle kurutulan mantar örneklerinin kuruma hızlarının nem içerikleriyle değişimi



Mikrodalga-konvektif kombinasyonu kurutma yöntemiyle 90W-50°C, 90W-75°C, 160W-50°C ve 160W-75°C mikrodalga güçleri ve sıcaklıklarında kurutulan mantar küplerinin kuruma hız değerlerinin zamanla değişimi Şekil 4.38’de verilmiştir. Sonuçlar incelendiğinde, mantar örneklerinin kuruma davranışlarının azalan hız periyodunda gerçekleştiği görülmektedir. Ayrıca 90W-50°C mikrodalga gücü ve sıcaklığında kurutulan mantar örneklerinin en düşük kuruma hız değerlerine sahip oldukları görülürken, 160W-75°C mikrodalga gücü ve sıcaklığında kurutulan mantar örneklerinin en yüksek kuruma hız değerlerine sahip oldukları görülmektedir. Sonuç olarak mantar örneklerinin mikrodalga-konvektif kombinasyonu kurutma yöntemiyle kurutulmasında uygulanan tüm kurutma şartları için, mikrodalga güç ve sıcaklıkları arttıkça mantar örneklerinden elde edilen kuruma hız değerleri de artmıştır.



**Şekil 4.38.** Mikrodalga-konvektif kombinasyonu (○90W-50°C, △90W-75°C, □160W-50°C ve ◇160W-75°C) yöntemiyle kurutulan mantar örneklerinin kuruma hızlarının nem içerikleriyle değişimi

### 4.3.3. Mantar ürününün kuruma eğrilerinin modellenmesi

Mantar küplerinin konvektif, mikrodalga ve mikrodalga-konvektif kombinasyonu kurutma yöntemleriyle kurutulması sırasında elde edilen nem oranı değerlerinin kuruma zamanları ile değişimi Bölüm 3.2.4’de verilen 10 farklı ince tabaka kurutma modeli ve Bölüm 3.2.4.1’de verilen Midilli ve Wang ve Singh modelleri esas alınarak geliştirilen model ile incelenmiştir. Tüm kurutma şartları için kullanılan modellerin kurutma katsayıları,  $R^2$ ,  $\chi^2$  ve RMSE istatistiksel parametreleri kullanılarak analiz edilmiştir. Konvektif, mikrodalga ve mikrodalga-konvektif kombinasyonu kurutma yöntemiyle kurutulan mantarların nem oranı değerlerinin kuruma zamanları ile değişimi süresince kullanılan ince tabaka kurutma modellerinden elde edilen kurutma katsayıları ve istatistiksel parametreler tablolar halinde verilmiştir.

**Çizelge 4.9.** Mantar örneklerinin farklı sıcaklıklarla kurutulmasında uygulanan modellerden elde edilen katsayı ve istatistiksel analiz sonuçları

No	50°C				75°C			
	Model Katsayıları	$R^2$	RMSE	$\chi^2$ ( $10^{-4}$ )	Model Katsayıları	$R^2$	RMSE	$\chi^2$ ( $10^{-4}$ )
1	a=1,034 k=0,00699	0,9941	0,0214	4,5108	a=1,063 k=0,01503	0,9749	0,0474	23,9687
2	k=0,00677	0,9930	0,0232	5,2872	k=0,01411	0,9703	0,0515	28,1109
3	k=0,003498 n=1,127	0,9976	0,0136	1,8323	k=0,003896 n=1,295	0,9909	0,0285	8,7259
4	k=0,006608 n=1,127	0,9976	0,0136	1,8323	k=0,0138 n=1,295	0,9909	0,0285	8,7259
5	a=1,062 k=0,005912 c=-0,05937	0,9989	0,0092	0,7833	a=1,418 k=0,007618 c=-0,4236	0,9996	0,0057	0,3385
6	a=20,79 k <sub>0</sub> =0,006088 b=-19,81 k <sub>1</sub> =0,006058	0,9922	0,0245	5,8824	a=21,91 k <sub>0</sub> =0,003396 b=-20,97 k <sub>1</sub> =0,003117	0,9958	0,0194	3,6379
7	a=-0,004761 b=0,00000572	0,9885	0,0298	8,9853	a=-0,01024 b=0,00002538	0,9993	0,0081	0,6471
8	a=3,126 k=0,004516 b=0,8327	0,9993	0,0075	0,5076	a=2,942 k=0,00583 b=0,5537	0,9996	0,0060	0,3743
9	a=0,9728 k=0,003424 n=1,117 b=-0,00005281	0,9993	0,0076	0,5321	a=0,9888 k=0,008069 n=1,051 b=-0,001191	0,9996	0,0062	0,3972
10	a=1,621 k=0,008538	0,9979	0,0127	1,5895	a=1,809 k=0,02004	0,9895	0,0306	10,1291

Çizelge 4.9 incelendiğinde konvektif kurutmada 50°C sıcaklıkla kurutulan mantar örnekleri için 8 numaralı model olan Difüzyon Yaklaşımı modeli ve 9 numaralı model olan Midilli modellerinden elde edilen  $R^2$  (0,9993) değeri her iki model için eşit çıkmıştır. Bu değer diğer modellerden elde edilen  $R^2$  değerlerinden daha yüksektir. Ancak Difüzyon Yaklaşımı ve Midilli modellerinden elde edilen RMSE ve  $\chi^2$  istatistiksel parametre değerleri karşılaştırıldığında, Difüzyon Yaklaşımı modelinin Midilli modeline göre daha uygun olduğu belirlenmiştir. Sonuç olarak konvektif kurutma yönteminde 50°C sıcaklıkla kurutulan mantar küplerinin nem oranı değerlerini uygulanan 10 farklı ince tabaka modeli arasında Difüzyon Yaklaşımı ve Midilli modelleri diğer modellere göre daha iyi açıklar. Bu iki model kendi aralarında karşılaştırıldığında ise Difüzyon Yaklaşımı modelinin daha uygun olduğu belirlenmiştir. Sonuçlar konvektif kurutma yönteminde 75°C sıcaklıkla kurutulan mantar örnekleri için analiz edildiğinde 5 numaralı Logaritmik modeli, 8 numaralı Difüzyon Yaklaşımı modeli ve 9 numaralı Midilli modellerinden elde edilen  $R^2$  (0,9996) değeri her üç model için eşit çıkmıştır. Bu değer diğer modellerden elde edilen  $R^2$  değerlerinden daha yüksektir. Ancak eşit  $R^2$  değerine sahip bu modeller RMSE ve  $\chi^2$  istatistiksel parametre değerleriyle karşılaştırıldıklarında, Logaritmik modelin diğer modellerden daha uygun olduğu belirlenmiştir. Sonuç olarak konvektif kurutma yönteminde 75°C sıcaklık ile kurutulan mantar küplerinin nem oranı değerlerini uygulanan 10 farklı ince tabaka kurutma modeli arasında Logaritmik, Difüzyon Yaklaşımı ve Midilli modelleri diğer modellere göre daha iyi açıklar. Bu 3 model kendi aralarında karşılaştırıldığında ise Logaritmik model en uygun modeldir.

Konvektif kurutmada 50°C sıcaklıkla kurutulan mantar örneklerinden deneysel olarak elde edilen nem oranı değerleriyle geliştirilen modelden elde edilen nem oranı değerlerinin istatistiki olarak incelenmesi sonucu geliştirilen modele ait  $a=-0,0008036$ ,  $k=0,006525$ ,  $n=0,9444$  ve  $b=0,000001258$  katsayı değerleri,  $R^2=0,9997$ ,  $RMSE=0,0049$  ve  $\chi^2=0,1940 \times 10^{-4}$  değerleri belirlenirken, 75°C sıcaklık uygulamasıyla kurutulan mantar örnekleri için  $a=-0,009377$ ,  $k=0,01335$ ,  $n=0,2605$  ve  $b=0,00002161$  katsayı değerleri,  $R^2=0,9998$ ,  $RMSE=0,0040$  ve  $\chi^2=0,1269 \times 10^{-4}$  değerleri belirlenmiştir. Geliştirilen modelden elde edilen bu değerler literatürde bulunan ve bu çalışmada uygulanan 10 modelden elde edilen değerler ile karşılaştırıldığında, elde edilen tüm

istatistiki değerlere göre en iyi sonuçları geliştirilen model sağlamıştır. Sonuç olarak, geliştirilen model konvektif kurutmada uygulanan 50 ve 75°C sıcaklıklarla kurutulan mantar örneklerinin nem oranı değerlerinin zamana göre değişimini en iyi derecede tanımlamıştır.

Çizelge 4.10 incelendiğinde mikrodalga kurutma yöntemiyle 90, 160, 350 ve 500W mikrodalga güçlerinde kurutulan mantar örneklerinin tüm mikrodalga gc uygulamalarında literatürde bulunan ve bu çalışmada değerlendirilen 10 adet ince tabaka modeli arasında en uygun  $R^2$ , RMSE ve  $\chi^2$  istatistiksel parametre değerlerinin 9 numaralı Midilli modelinden elde edildiği görülmektedir.

Mikrodalga kurutmada, 90W mikrodalga gc kullanılarak kurutulan mantar örneklerinden deneysel olarak elde edilen nem oranı değerleriyle geliştirilen modelden elde edilen tahmini nem oranı değerlerinin istatistiki olarak incelenmesi sonucu geliştirilen modele ait  $a=-0,007824$ ,  $k=-0,006553$ ,  $n=0,8866$  ve  $b=-0,000004064$  katsayı değerleri,  $R^2=0,9999$ ,  $RMSE=0,0038$  ve  $\chi^2=0,0763 \times 10^{-4}$  değerleri belirlenirken, 160W mikrodalga gc uygulaması kullanılarak kurutulan mantar örnekleri için  $a=-0,009934$ ,  $k=-0,004616$ ,  $n=0,7149$  ve  $b=0,00001721$  katsayı değerleri,  $R^2=0,9996$ ,  $RMSE=0,0059$  ve  $\chi^2=0,1655 \times 10^{-4}$  değerleri, 350W mikrodalga gc uygulaması kullanılarak kurutulan mantar örnekleri için  $a=-0,009233$ ,  $k=0,007507$ ,  $n=1,202$  ve  $b=0,00007403$  katsayı değerleri,  $R^2=0,9994$ ,  $RMSE=0,0079$  ve  $\chi^2=0,6742 \times 10^{-4}$  değerleri ve 500W mikrodalga gc uygulaması kullanılarak kurutulan mantar örnekleri için  $a=-0,08468$ ,  $k=-0,07746$ ,  $n=0,8654$  ve  $b=-0,00195$  katsayı değerleri,  $R^2=0,9998$ ,  $RMSE=0,0055$  ve  $\chi^2=0,4444 \times 10^{-4}$  değerleri belirlenmiştir. Geliştirilen modelden elde edilen bu değerlerle literatürde bulunan ve bu çalışmada uygulanan diğer 10 modelden elde edilen değerler karşılaştırıldığında, tüm istatistiki değerlere göre en iyi değerler geliştirilen modelden sağlamıştır.

Sonuç olarak, geliştirilen model uygulanan diğer modellere göre mikrodalga yöntemiyle kurutulan mantar örneklerinin nem oranı değerlerinin zamana göre değişimini yeterli şekilde açıklamış ve daha sonra farklı ürünler için yapılacak kurutma çalışmaları için alternatif bir kurutma modeli olduğunu göstermiştir.

**Çizelge 4.10.** Mantar örneklerinin farklı mikrodalga güçleriyle kurutulmasında uygulanan modellerden elde edilen katsayı ve istatistiksel analiz sonuçları

No	90W				160W				350W				500W			
	Model Katsayıları	R <sup>2</sup>	RMSE	$\chi^2$ (10 <sup>-4</sup> )	Model Katsayıları	R <sup>2</sup>	RMSE	$\chi^2$ (10 <sup>-4</sup> )	Model Katsayıları	R <sup>2</sup>	RMSE	$\chi^2$ (10 <sup>-4</sup> )	Model Katsayıları	R <sup>2</sup>	RMSE	$\chi^2$ (10 <sup>-4</sup> )
1	a=1,129 k=0,006533	0,9617	0,0613	38,0012	a=1,099 k=0,01318	0,9638	0,0588	34,2114	a=1,085 k=0,03433	0,9689	0,0581	34,3362	a=1,107 k=0,06051	0,9143	0,1114	126,1757
2	k=0,005769	0,9427	0,0750	56,3161	k=0,01194	0,9520	0,0678	45,4726	k=0,03163	0,9612	0,0648	43,0468	k=0,05481	0,9097	0,1144	133,3442
3	k=0,0003664 n=1,528	0,9940	0,0242	5,9882	k=0,001632 n=1,443	0,9911	0,0292	8,1545	k=0,007099 n=1,421	0,9944	0,0246	6,0663	k=0,003608 n=1,923	0,9966	0,0222	4,7912
4	k=0,00564 n=1,528	0,9940	0,0242	5,9882	k=0,01172 n=1,443	0,9911	0,0292	8,1543	k=0,03077 n=1,421	0,9944	0,0246	6,0660	k=0,05368 n=1,923	0,9966	0,0222	4,7913
5	a=1,701 k=0,002685 c=-0,6628	0,9979	0,0144	2,0708	a=1,732 k=0,005183 c=-0,7171	0,9992	0,0087	0,5827	a=1,486 k=0,01704 c=-0,4624	0,9983	0,0137	1,8825	a=2,923 k=0,01321 c=-1,88	0,9837	0,0486	22,8698
6	a=80,34 k <sub>0</sub> =0,003755 b=-79,39 k <sub>1</sub> =0,003736	0,9327	0,0813	65,9209	a=31,08 k <sub>0</sub> =0,001532 b=-30,13 k <sub>1</sub> =0,001346	0,9933	0,0253	6,2336	a=13,8 k <sub>0</sub> =0,007013 b=-12,86 k <sub>1</sub> =0,005979	0,9865	0,0383	15,1336	a=6,956 k <sub>0</sub> =0,008346 b=-5,931 k <sub>1</sub> =0,003578	0,9790	0,0552	29,6254
7	a=-0,003972 b=0,000003206	0,9974	0,0159	2,4201	a=-0,008304 b=0,00001439	0,9994	0,0073	0,3648	a=-0,02248 b=0,0001164	0,9988	0,0113	1,4107	a=-0,03402 b=0,0001221	0,9837	0,0486	23,2014
8	a=4,463 k=0,001875 b=0,6257	0,9950	0,0222	4,7581	a=3,92 k=0,004176 b=0,6006	0,9975	0,0154	2,0428	a=3,682 k=0,01125 b=0,5897	0,9977	0,0159	2,4540	a=6,655 k=0,02117 b=0,8051	0,9481	0,0867	64,2386
9	a=0,9882 k=0,0007324 n=1,347 b=-0,0003579	0,9995	0,0070	0,4423	a=0,9938 k=0,003859 n=1,169 b=-0,001186	0,9995	0,0071	0,2808	a=1,001 k=0,01208 n=1,206 b=-0,001881	0,9993	0,0087	0,7145	a=0,9906 k=0,00435 n=1,81 b=-0,001891	0,9988	0,0135	1,2409
10	a=1,986 k=0,00905	0,9878	0,0346	12,1489	a=1,923 k=0,01817	0,9865	0,0359	12,4355	a=1,926 k=0,04785	0,9910	0,0312	9,8364	a=2,183 k=0,09453	0,9802	0,0535	28,8605

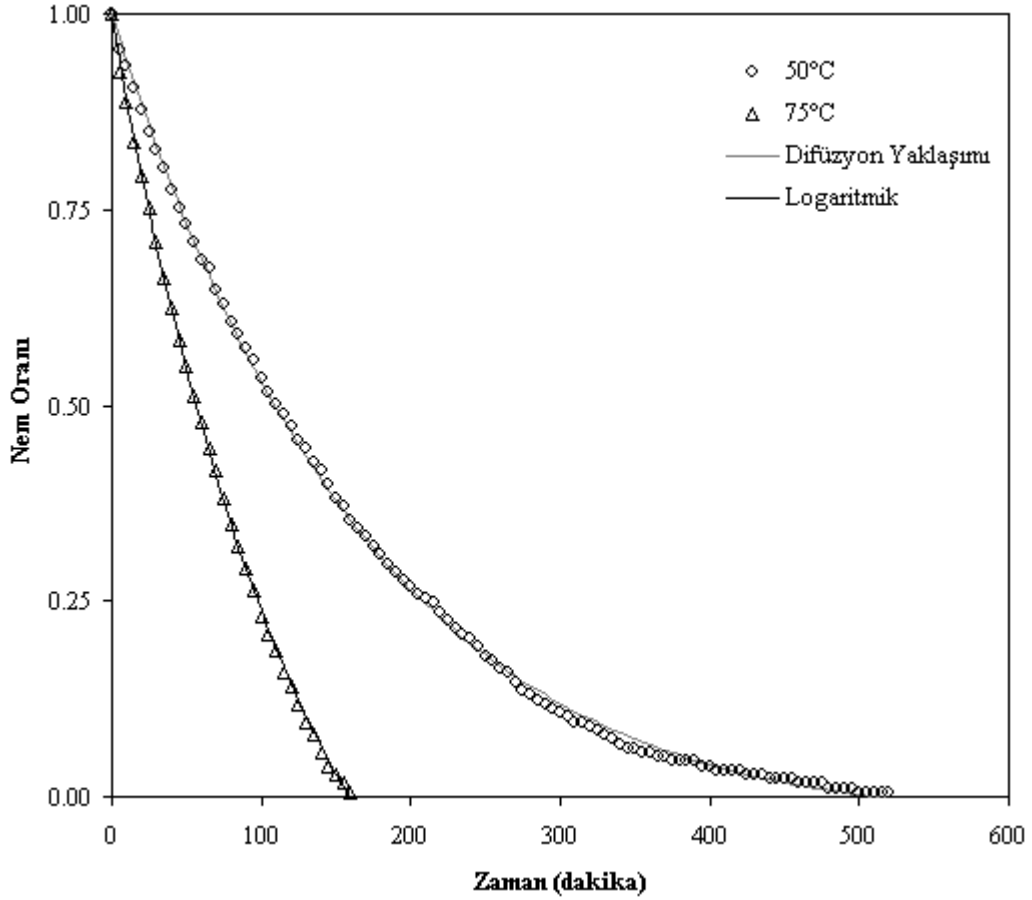
**Çizelge 4.11.** Mantar örneklerinin farklı mikrodalga-konvektif kombinasyonlarıyla kurutulmasında uygulanan modellerden elde edilen katsayı ve istatistiksel analiz sonuçları

No	90W-50°C				90W-75°C				160W-50°C				160W-75°C			
	Model Katsayıları	R <sup>2</sup>	RMSE	$\chi^2$ (10 <sup>-4</sup> )	Model Katsayıları	R <sup>2</sup>	RMSE	$\chi^2$ (10 <sup>-4</sup> )	Model Katsayıları	R <sup>2</sup>	RMSE	$\chi^2$ (10 <sup>-4</sup> )	Model Katsayıları	R <sup>2</sup>	RMSE	$\chi^2$ (10 <sup>-4</sup> )
1	a=1,072 k=0,00972	0,9672	0,0540	29,0645	a=1,087 k=0,01805	0,9712	0,0528	28,0830	a=1,093 k=0,01973	0,9558	0,0667	44,6654	a=1,08 k=0,02856	0,9559	0,0673	45,7623
2	k=0,009041	0,9610	0,0590	34,4205	k=0,01657	0,9624	0,0604	36,5545	k=0,01799	0,9460	0,0738	54,4554	k=0,02634	0,9492	0,0722	52,4126
3	k=0,001718 n=1,346	0,9880	0,0327	10,7346	k=0,003213 n=1,391	0,9941	0,0239	5,9404	k=0,002442 n=1,489	0,9893	0,0328	11,0493	k=0,004631 n=1,472	0,9889	0,0337	11,9640
4	k=0,008831 n=1,346	0,9880	0,0327	10,7345	k=0,01615 n=1,391	0,9941	0,0239	5,9405	k=0,01761 n=1,489	0,9893	0,0328	11,0490	k=0,02594 n=1,472	0,9889	0,0337	11,9642
5	a=1,572 k=0,004197 c=-0,5815	0,9992	0,0086	0,6789	a=1,467 k=0,008982 c=-0,4498	0,9989	0,0103	0,8673	a=1,911 k=0,006779 c=-0,9023	0,9982	0,0134	1,5647	a=2,065 k=0,008967 c=-1,062	0,9992	0,0093	0,6677
6	a=4,976 k <sub>o</sub> =0,002278 b=-4,027 k <sub>1</sub> =0,001379	0,9971	0,0159	2,3496	a=31,23 k <sub>o</sub> =0,003508 b=-30,31 k <sub>1</sub> =0,003282	0,9845	0,0388	14,6517	a=16,03 k <sub>o</sub> =0,001425 b=-15,08 k <sub>1</sub> =0,0008522	0,9920	0,0283	7,7286	a=5,06 k <sub>o</sub> =0,004889 b=-4,088 k <sub>1</sub> =0,001991	0,9975	0,0161	2,1914
7	a=-0,006434 b=0,000009525	0,9991	0,0088	0,7602	a=-0,01186 b=0,00003291	0,9996	0,0063	0,2592	a=-0,0123 b=0,00002977	0,9987	0,0114	1,0831	a=-0,01795 b=0,00006084	0,9995	0,0075	0,4282
8	a=3,48 k=0,00325 b=0,564	0,9991	0,0090	0,7495	a=4,809 k=0,005758 b=0,6933	0,9987	0,0111	0,9693	a=4,424 k=0,005155 b=0,5582	0,9978	0,0149	1,8862	a=11,35 k=0,01088 b=0,9025	0,9854	0,0388	35,9772
9	a=0,9785 k=0,003805 n=1,097 b=-0,0008803	0,9991	0,0088	0,7135	a=0,9889 k=0,005418 n=1,208 b=-0,0009781	0,9996	0,0059	0,2479	a=0,9818 k=0,004492 n=1,245 b=-0,001759	0,9988	0,0108	1,0337	a=0,9896 k=0,009192 n=1,155 b=-0,003461	0,9993	0,0083	0,5838
10	a=1,843 k=0,0131	0,9854	0,0361	12,9946	a=1,897 k=0,0247	0,9912	0,0293	8,8303	a=1,943 k=0,02763	0,9832	0,0412	17,2715	a=1,931 k=0,04036	0,9834	0,0413	17,6706

Mikrodalga-konvektif kombinasyonu kurutma yöntemiyle 90W-50°C, 90W-75°C, 160W-50°C ve 160W-75°C mikrodalga güç ve sıcaklıkları kullanılarak kurutulan mantar örneklerinden elde edilen nem oranı değerlerini açıklamada kullanılan 10 farklı ince tabaka kurutma modelinden elde edilen sonuçlar Çizelge 4.11’de sunulmuştur. Bu sonuçlara göre 90W-50°C mikrodalga gücü ve sıcaklığı için uygulanan tüm ince tabaka modelleri arasında 5 numaralı model olan Logaritmik model en uygun  $R^2$ , RMSE ve  $\chi^2$  değerlerine sahiptir. Mikrodalga-konvektif kombinasyonu kurutmada, 90W-75°C mikrodalga gücü ve sıcaklığı ile kurutulan mantar küplerinin nem oranı değerlerini uygulanan 10 farklı ince tabaka modeli arasında 7 numaralı model olan Wang ve Singh ve Midilli modelleri diğer modellere göre daha iyi açıklar. Bu iki model eşit  $R^2$  (0,9996) değerine sahiptir. Ancak RMSE ve  $\chi^2$  değerlerine göre Midilli modeli Wang ve Singh modeline göre daha uygundur. Ayrıca 160W-50°C mikrodalga gücü ve sıcaklığı için uygulanan tüm ince tabaka modelleri arasında 9 numaralı model olan Midilli modeli en uygun  $R^2$ , RMSE ve  $\chi^2$  değerlerine sahipken, 160W-75°C mikrodalga gücü ve sıcaklığı ile kurutulan mantar küplerinin nem oranı değerleri için uygulanan 10 farklı ince tabaka modeli arasında 7 numaralı model olan Wang ve Singh modeli diğer modellere göre en uygun  $R^2$ , RMSE ve  $\chi^2$  değerlerine sahiptir.

Mikrodalga-konvektif kombinasyonu kurutmada, 90W-50°C mikrodalga gücü ve sıcaklığıyla kurutulan mantar örneklerinden deneysel olarak elde edilen nem oranı değerleriyle geliştirilen modelden elde edilen nem oranı değerlerinin istatistiki olarak incelenmesi sonucu geliştirilen modele ait  $a=-0,006156$ ,  $k=0,01658$ ,  $n=0,003382$  ve  $b=0,000008575$  katsayı değerleri,  $R^2=0,9995$ ,  $RMSE=0,0064$  ve  $\chi^2=0,3439 \times 10^{-4}$  değerleri belirlenirken, 90W-75°C mikrodalga gücü ve sıcaklığı uygulamasıyla kurutulan mantar örnekleri için  $a=-0,01419$ ,  $k=-0,0056$ ,  $n=0,74$  ve  $b=0,00003745$  katsayı değerleri,  $R^2=0,9998$ ,  $RMSE=0,0042$  ve  $\chi^2=0,0842 \times 10^{-4}$  değerleri, 160W-50°C mikrodalga gücü ve sıcaklığı uygulaması ile kurutulan mantar örneklerinde  $a=-0,01516$ ,  $k=-0,001854$ ,  $n=1,297$  ve  $b=-0,00004944$  katsayı değerleri,  $R^2=0,9997$ ,  $RMSE=0,0057$  ve  $\chi^2=0,1705 \times 10^{-4}$  değerleri, son olarak 160W-75°C mikrodalga gücü ve sıcaklığı uygulamasıyla kurutulan mantar örnekleri için  $a=-0,01943$ ,  $k=-0,002511$ ,  $n=0,8198$  ve  $b=0,00006461$  katsayı değerleri,  $R^2=0,9994$ ,  $RMSE=0,0078$  ve  $\chi^2=0,4673 \times 10^{-4}$  değerleri belirlenmiştir. Geliştirilen modelden elde edilen bu değerlerle literatürde var

olan ve bu çalışmada kullanılan 10 modelden elde edilen değerler karşılaştırıldığında, tüm istatistiki değerlere göre 160W-75°C mikrodalga gücü ve sıcaklığı uygulaması haricinde en iyi değerler geliştirilen modelden sağlanmıştır. 160W-75°C mikrodalga gücü ve sıcaklığı uygulamasında en iyi değerler 7 numaralı model olan Wang ve Singh modelinden elde edilirken, geliştirilen modelden elde edilen değerler en iyi ikinci değerler olmuştur.



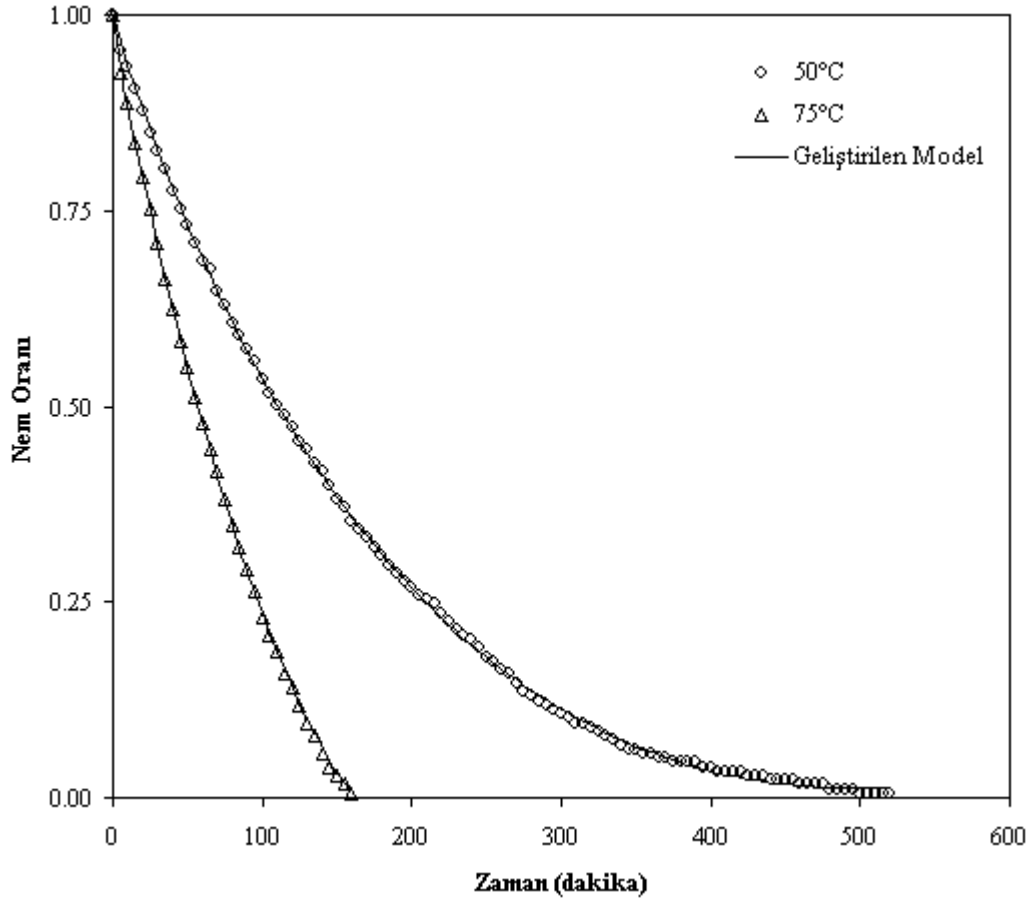
**Şekil 4.39.** Farklı sıcaklıklarla kurutulan mantar örneklerinin deneysel nem oranı değerleri ile Difüzyon Yaklaşımı ve Logaritmik modellerinden elde edilen tahmini nem oranı değerlerinin zamanla değişimi

Şekil 4.39’da, konvektif kurutma yönteminde 50°C sıcaklık kullanılarak kurutulan mantar küplerinden elde edilen nem oranı değerlerinin zamanla değişiminin Difüzyon Yaklaşımı modeliyle açıklanması sunulurken, 75°C sıcaklık kullanılarak kurutulan mantar küplerinden elde edilen nem oranı değerlerinin zamanla değişiminin Logaritmik modeliyle açıklanması sunulmuştur. Şekilden de anlaşılacağı gibi Difüzyon Yaklaşımı



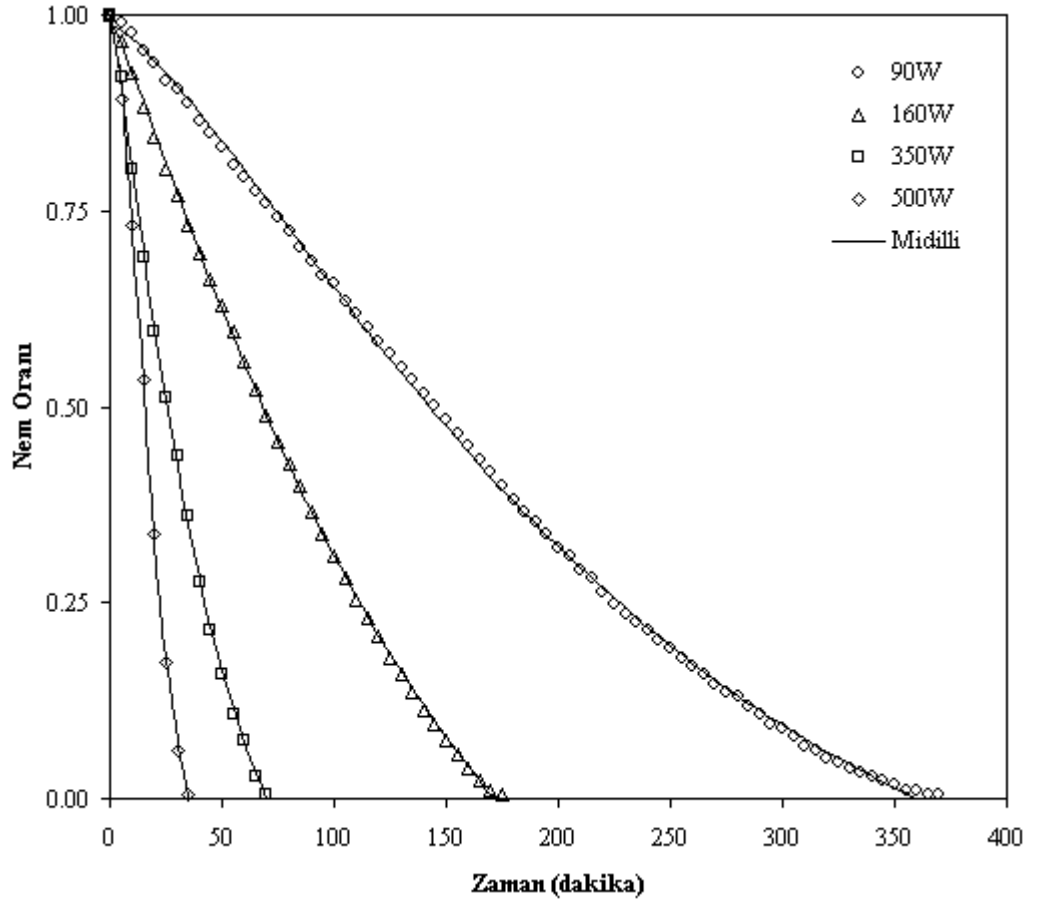
ve Logaritmik modellerinden elde edilen sonuçlar ile deneysel sonuçlar birbirine oldukça yakındır.

Daha önce yapılan çalışmalar incelendiğinde, Sacilik ve ark. (2006) yapmış oldukları organik domatesin kurutularak modellenmesi çalışmasında değerlendirmiş oldukları ince tabaka modeller arasında en uygun modelin Difüzyon Yaklaşımı modeli olduğunu tespit etmişlerdir. Xanthopoulos ve ark. (2007), Radhika ve ark. (2011) ve Taheri-Garavanda ve ark. (2011b) yapmış oldukları sırasıyla mantar, darı ve biber örneklerinin kurutularak modellenmesi çalışmalarında değerlendirmiş oldukları ince tabaka modeller arasında en uygun modelin Logaritmik modeli olduğunu bildirmişlerdir. Literatürdeki bu sonuçlar, mantar örneklerinin farklı kurutma şartları altında kurutularak modellenmesi çalışmasıyla elde edilen sonuçlarla uyum içerisinde olduğunu göstermektedir.



**Şekil 4.40.** Farklı sıcaklıklarla kurutulan mantar örneklerinin deneysel nem oranı değerleri ile geliştirilen modelden elde edilen tahmini nem oranı değerlerinin zamanla değişimi

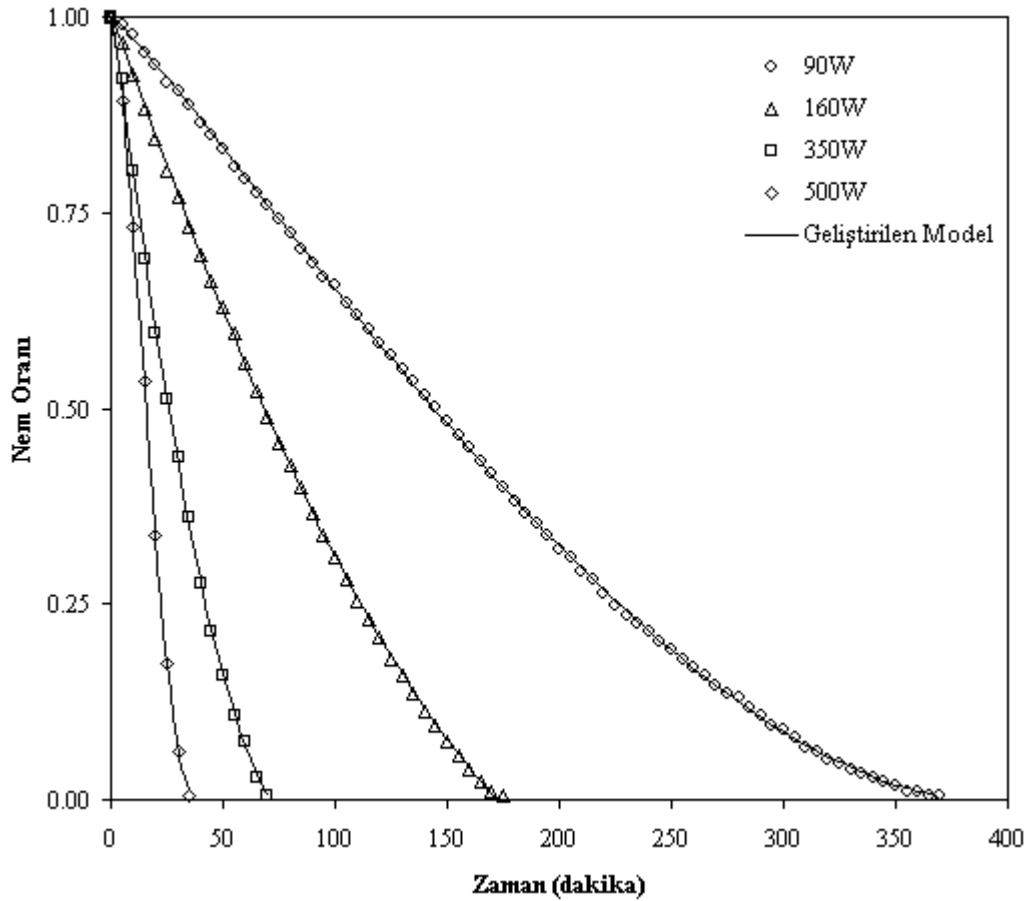
Şekil 4.40'da mantar örneklerinin konvektif yöntemle 50 ve 75°C sıcaklıklarla kurutulmasında deneysel olarak elde edilen nem oranı değerleri ile bu değerleri en iyi şekilde açıklayan geliştirilen modelden elde edilen tahmini nem oranı değerlerinin zamanla değişimi sergilenmektedir. Şekilden anlaşılacağı gibi, geliştirilen modelden elde edilen tahmini değerlerle deneysel olarak elde edilen değerlerin birbirine oldukça yakın oldukları görülmektedir.



**Şekil 4.41.** Farklı mikrodalga güçleriyle kurutulmuş mantar örneklerinin deneysel nem oranı değerleri ile Midilli modelinden elde edilen tahmini nem oranı değerlerinin zamanla değişimi

Şekil 4.41'de mikrodalga kurutma yönteminde 90, 160, 350 ve 500W mikrodalga güçleriyle kurutulmuş mantar örneklerinden deneysel olarak elde edilen nem oranı değerlerinin zamanla değişiminin Midilli modeli ile açıklanması sergilenmiştir. Şekilden anlaşılacağı gibi Midilli modelinden elde edilen tahmini sonuçlarla deneysel sonuçlar birbirine oldukça yakındır.

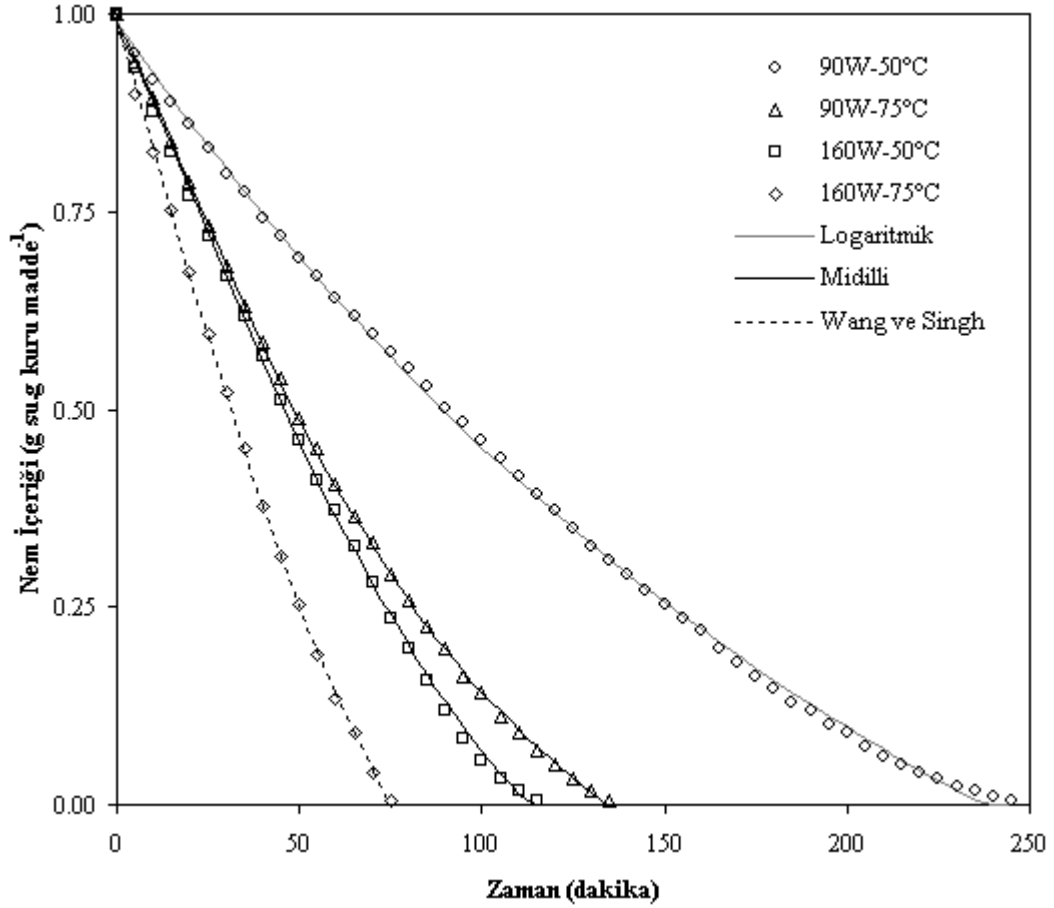
Daha önce yapılan çalışmalar incelendiğinde, Artnaseaw ve ark. (2010) mantar ve biber örneklerinin kurutularak modellenmesi çalışmasında değerlendirmiş oldukları ince tabaka modeller arasında en uygun modelin Midilli modeli olduğunu bildirmişlerdir. Ertekin ve Yıldız (2004) patlıcan, Meisami-asl ve ark. (2010) elma dilimleri, Taheri-Garavanda ve ark. (2011a) domates ve Akhondi ve ark. (2011) safran çiçeğinin kurutularak modellenmesi çalışmalarında, Midilli modelinin deneysel verilerini en iyi tanımlayan model olduğunu bildirmişlerdir. Literatürdeki bu sonuçlar, mantar örneklerinin farklı kurutma şartları altında kurutularak modellenmesi çalışmasıyla elde edilen sonuçlarla uyum içerisinde olduğunu göstermektedir.



**Şekil 4.42.** Farklı mikrodalga güçleriyle kurutulan mantar örneklerinin deneysel nem oranı değerleri ile geliştirilen modelden elde edilen tahmini nem oranı değerlerinin zamanla değişimi

Şekil 4.42’de mikrodalga kurutma yönteminde 90, 160, 350 ve 500W mikrodalga güçleriyle kurutulan mantar örneklerinden deneysel olarak elde edilen nem oranı değerlerinin zamanla değişiminin geliştirilen model ile açıklanması sergilenmiştir.

Şekilden anlaşılacağı gibi geliştirilen modelden elde edilen tahmini sonuçlarla deneysel sonuçlar birbirine oldukça yakındır. Sonuç olarak, geliştirilen model mantar örneklerinin konvektif yöntemde uygulanan sıcaklıklarla kurutulmasında Midilli modeli ve diğer 9 modelden daha iyi tanımlamıştır.

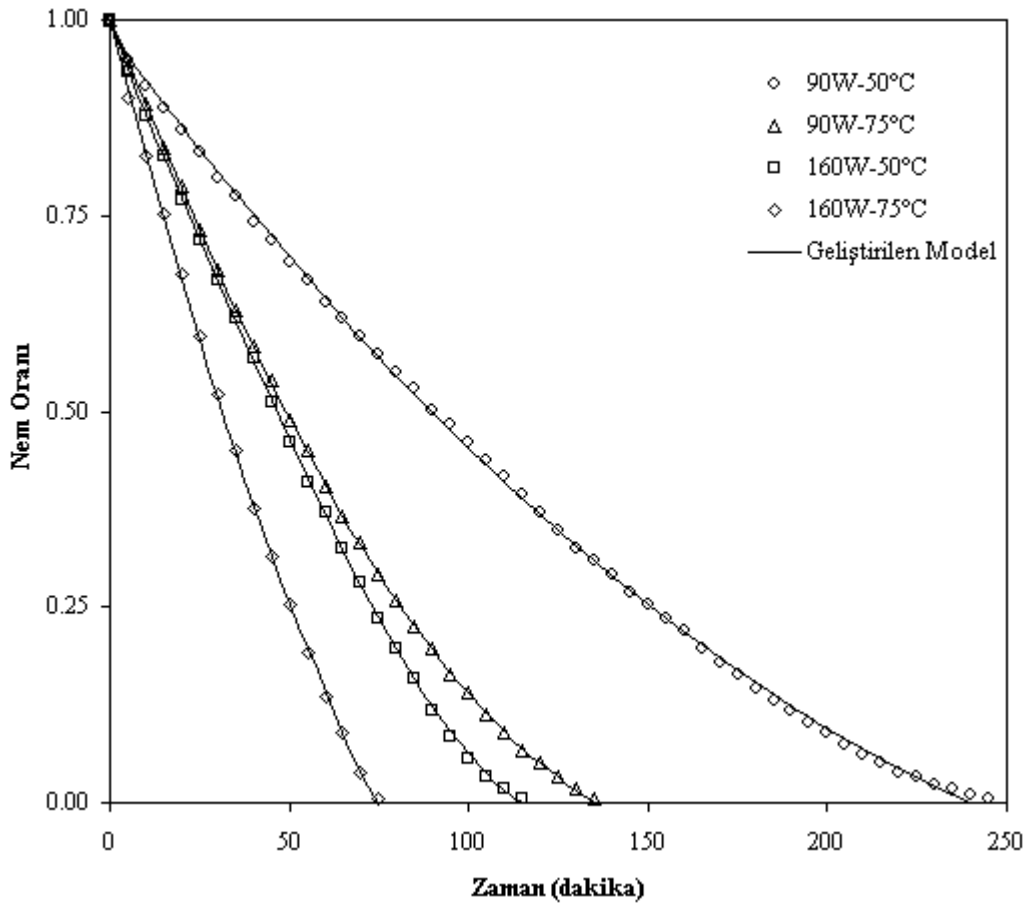


**Şekil 4.43.** Farklı mikrodalga-konvektif kombinasyonlarıyla kurutulmuş mantar örneklerinin deneysel nem oranı değerleri ile Logaritmik ve Midilli modellerinden elde edilen tahmini nem oranı değerlerinin zamanla değişimi

Şekil 4.43'de mikrodalga-konvektif kombinasyonu kurutma yöntemiyle 90W-50°C mikrodalga gücü ve sıcaklığıyla kurutulmuş mantar örneklerinden deneysel olarak elde edilen nem oranı değerlerinin zamanla değişimi Logaritmik modeliyle açıklanırken, 90W-75°C ve 160W-50°C mikrodalga güç ve sıcaklık uygulamalarıyla kurutulmuş mantar örneklerinden deneysel olarak elde edilen nem oranı değerlerinin zamanla değişimi Midilli modeliyle, son olarak 160W-75°C mikrodalga güç ve sıcaklıkla kurutulmuş mantar örneklerinden deneysel olarak elde edilen nem oranı değerlerinin

zamanla değişimini Wang ve Singh modeli ile açıklanması sergilenmiştir. Şekilde görüldüğü gibi Logaritmik modeliyle 90W-50°C, Midilli modeliyle 90W-75°C ve 160W-50°C ve Wang ve Singh modeliyle 160W-75°C mikrodalga gücü ve sıcaklıklarıyla kurutulan mantar örneklerinden elde edilen tahmini sonuçlarla deneysel sonuçlar birbirine oldukça yakın oldukları görülmektedir.

Daha önce yapılan çalışmalar incelendiğinde, Mirzaee ve ark. (2010) kayısının kurutularak modellenmesi çalışmasında değerlendirmiş oldukları ince tabaka modelleri arasında en uygun modellerin Logaritmik ve Midilli modelleri olduğunu bildirmişlerdir.

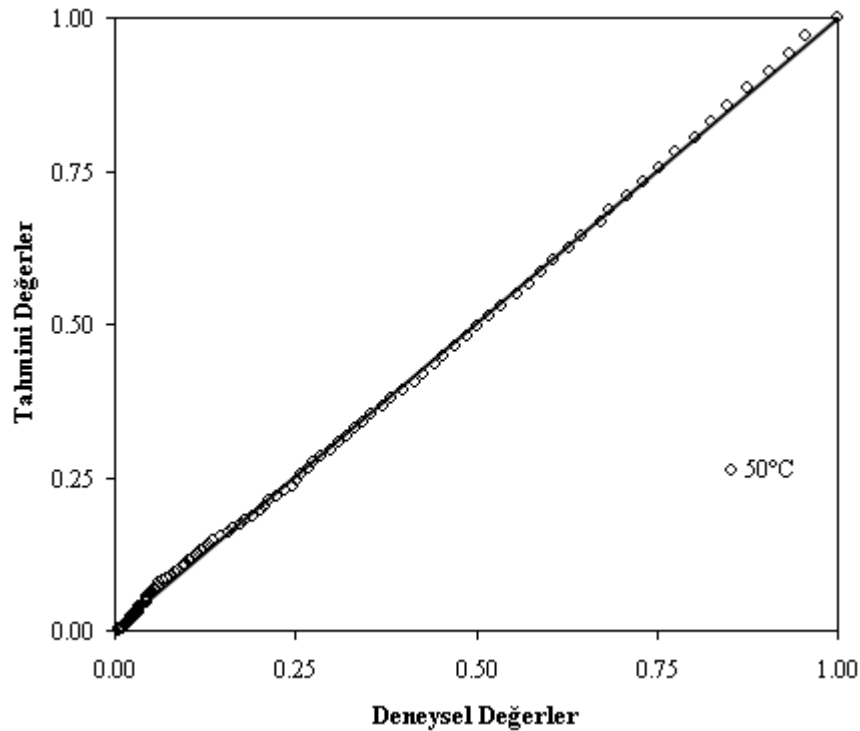


**Şekil 4.44.** Farklı mikrodalga-konvektif kombinasyonlarıyla kurutulan mantar örneklerinin deneysel nem oranı değerleri ile geliştirilen modelden elde edilen tahmini nem oranı değerlerinin zamanla değişimi

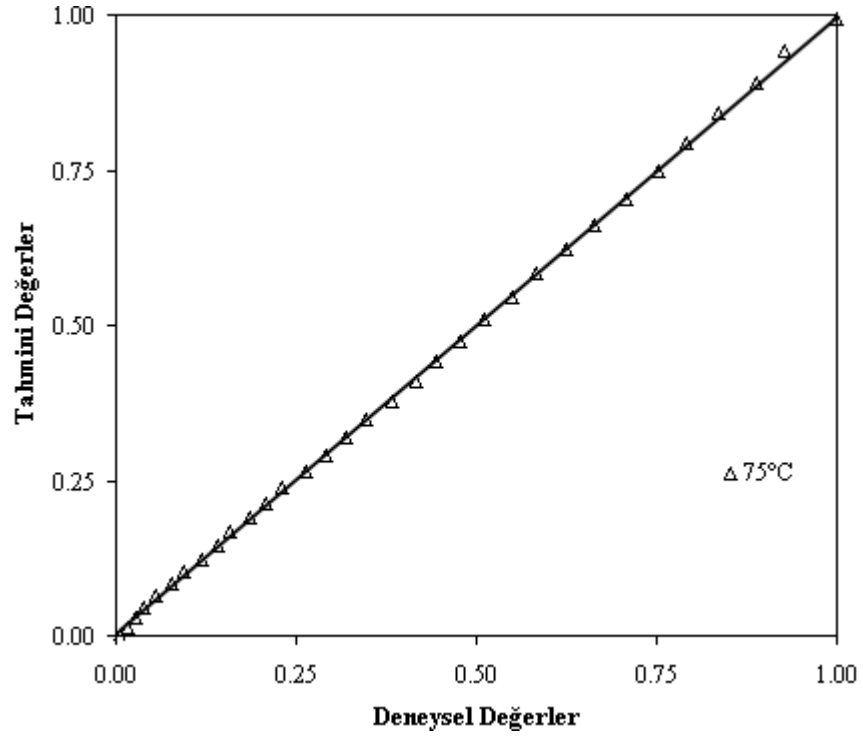
Şekil 4.44’de mantar örneklerinin kurutulmasında mikrodalga-konvektif kombinasyonu kurutma yönteminde 90W-50°C, 90W-75°C, 160W-50°C ve 160W-75°C mikrodalga gücü ve sıcaklıklarıyla kurutulan mantar örneklerinden deneysel olarak elde edilen nem

oranı değerleri ile bu değerleri açıklayan geliştirilen modelden elde edilen tahmini nem oranı değerlerinin zamanla değişimi sergilenmektedir. Şekilden anlaşılacağı gibi, geliştirilen modelden elde edilen tahmini değerlerle deneysel olarak elde edilen değerlerin birbirine oldukça yakın oldukları görülmektedir.

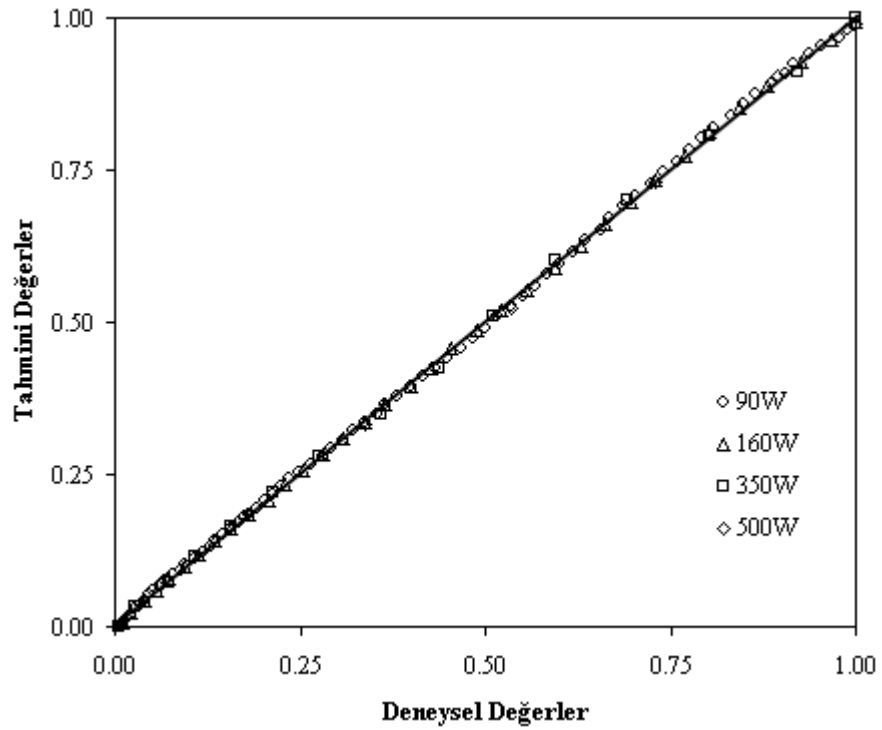
Şekiller 4.45-50'de konvektif yöntemle 50°C sıcaklıkta kurutulan mantar örnekleri için, Difüzyon Yaklaşımı modeli ve 75°C sıcaklıkta kurutulan örnekler için Logaritmik modeli, mikrodalga yöntemle 90, 160, 350 ve 500W mikrodalga güçlerinde kurutulan örnekler için Midilli modeli ve mikrodalga-konvektif kombinasyonu kurutma yöntemiyle 90W-50°C mikrodalga g ve sıcaklıkta kurutulan örnekler için Logaritmik modeli, 90W-75°C ve 160W-50°C mikrodalga g ve sıcaklıklarında Midilli ve 160W-75°C mikrodalga g ve sıcaklıklarında kurutulan mantar örneklerinden deneysel olarak elde edilen nem oranı değerlerinin Wangh ve Singh modelinden elde edilen tahmini nem oranı değerlerinin karşılaştırılması verilmiştir. Verilerin 45° açıyla çizilmiş bir çizginin etrafında oluştuğu görülmektedir.



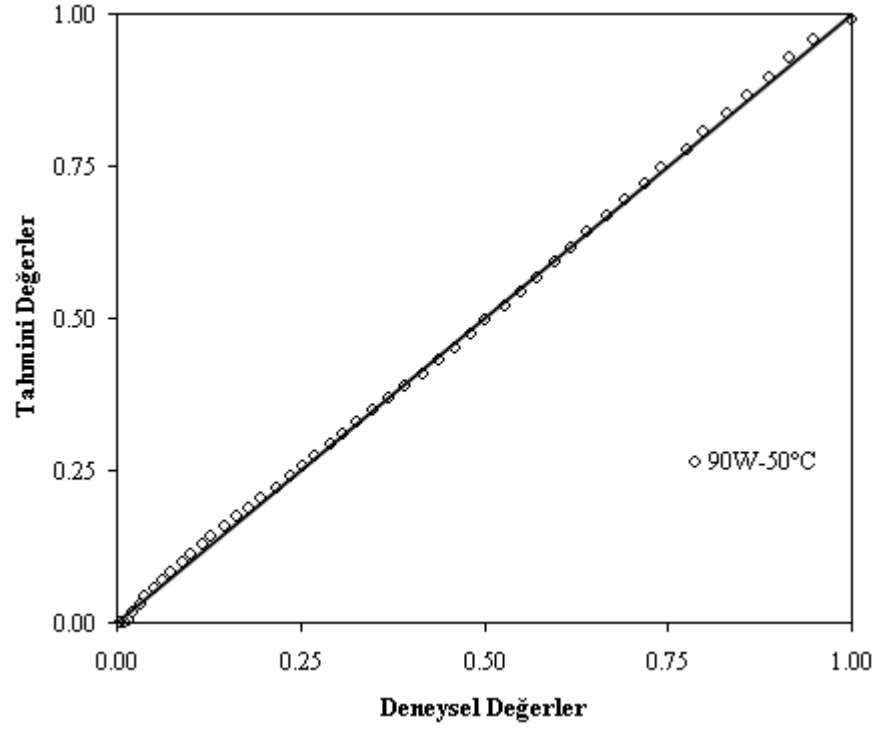
**Şekil 4.45.** Konvektif kurutma yöntemiyle kurutulan mantar örneklerinin deneysel nem oranı değerleri ile Difüzyon Yaklaşımı modelinden elde edilen tahmini nem oranı değerlerinin karşılaştırılması.



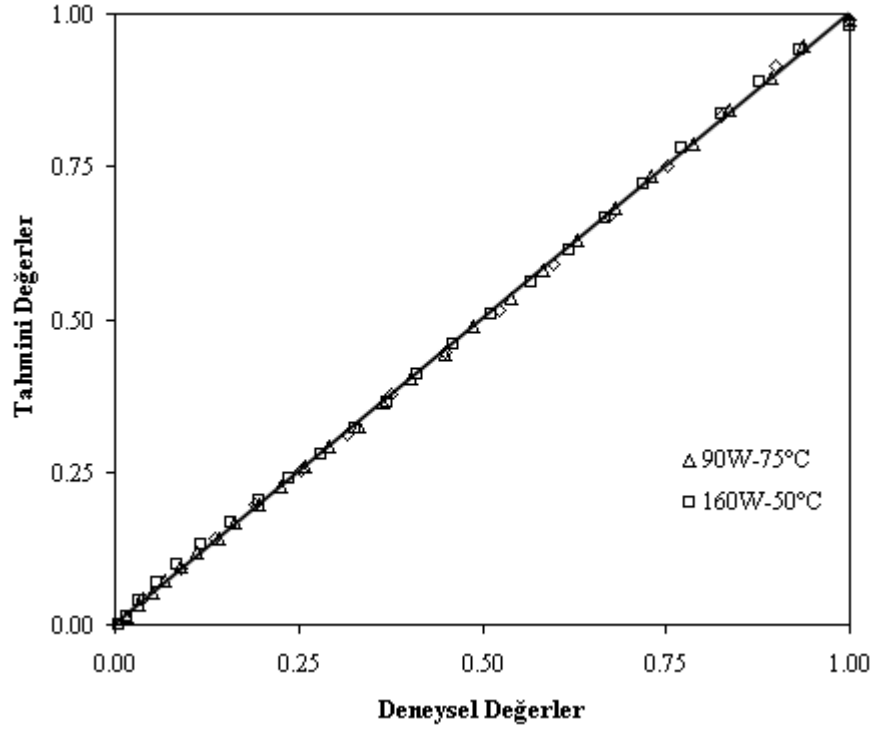
**Şekil 4.46.** Konvektif kurutma yöntemiyle kurutulan mantar örneklerinin deneysel nem oranı değerleri ile Logaritmik modelinden elde edilen tahmini nem oranı değerlerinin karşılaştırılması



**Şekil 4.47.** Farklı mikrodalga güçleriyle kurutulan mantar örneklerinin deneysel nem oranı değerleri ile Midilli modelinden elde edilen tahmini nem oranı değerlerinin karşılaştırılması.

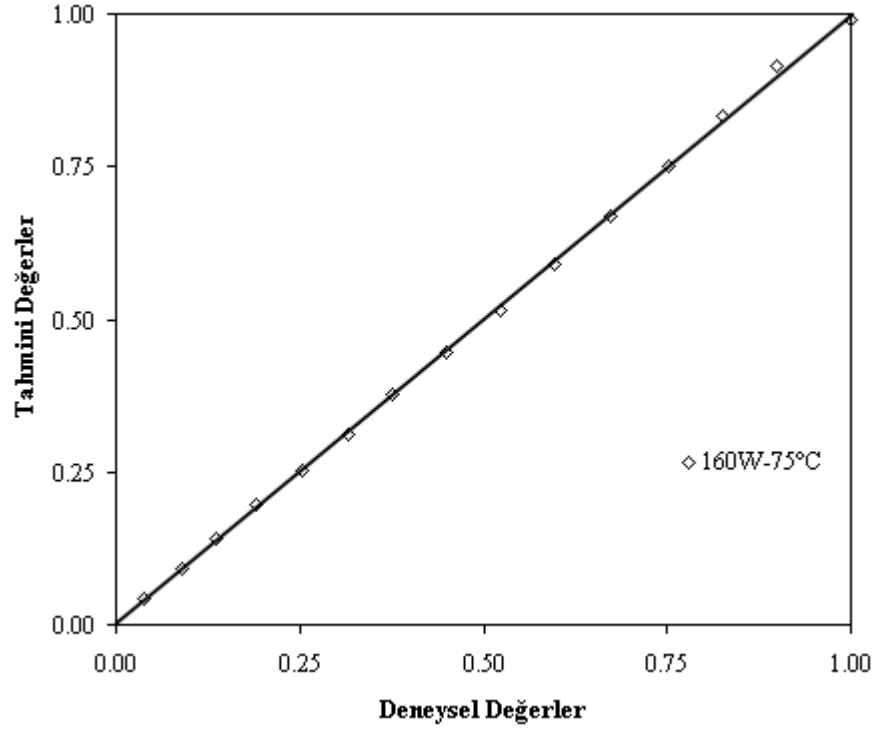


**Şekil 4.48.** Mikrodalga-konvektif kombinasyonu kurutma yöntemiyle kurutulan mantar örneklerinin deneysel nem oranı değerleri ile Logaritmik modelinden elde edilen tahmini nem oranı değerlerinin karşılaştırılması



**Şekil 4.49.** Farklı mikrodalga-konvektif kombinasyonlarıyla kurutulan mantar örneklerinin deneysel nem oranı değerleri ile Midilli modelinden elde edilen tahmini nem oranı değerlerinin karşılaştırılması

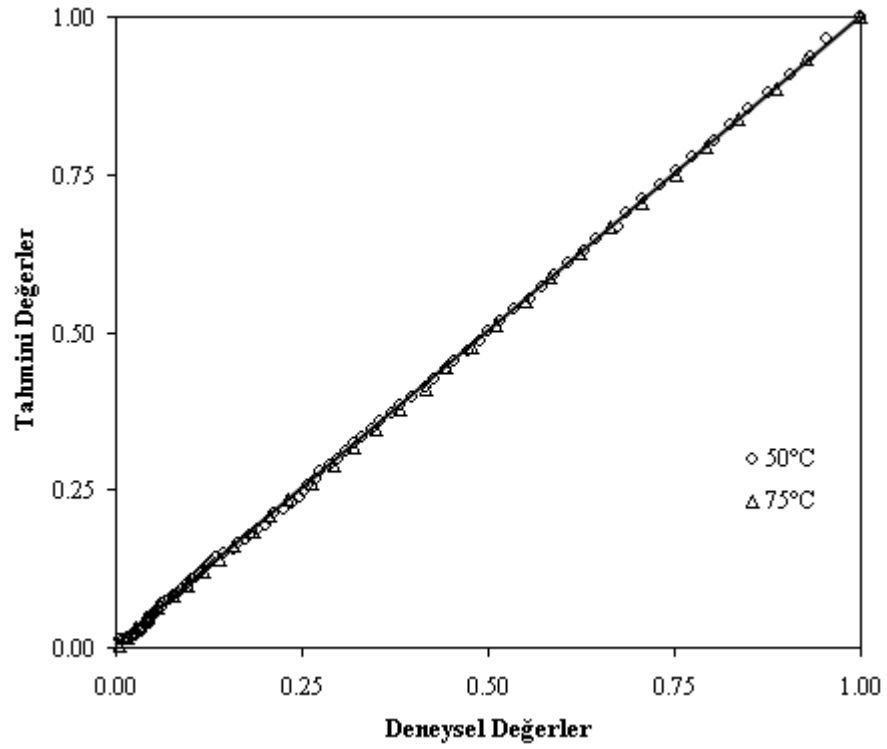




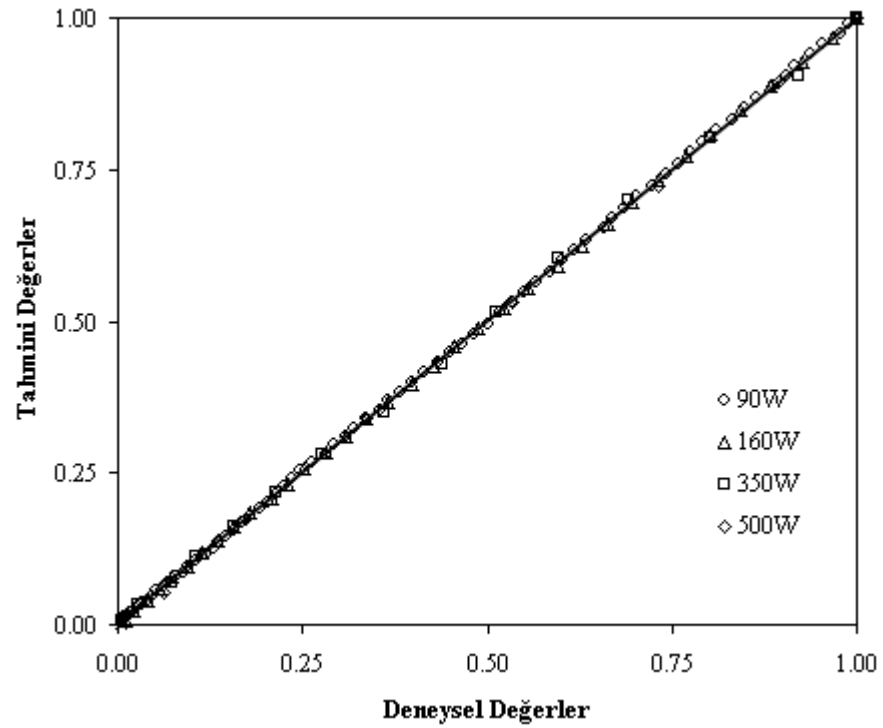
**Şekil 4.50.** Mikrodalga-konvektif kombinasyonu kurutma yöntemiyle kurutulan mantar örneklerinin deneysel nem oranı değerleri ile Wang ve Singh modelinden elde edilen tahmini nem oranı değerlerinin karşılaştırılması

Şekiller 4.51-53’de konvektif, mikrodalga ve mikrodalga-konvektif kombinasyonu kurutma yöntemleriyle farklı sıcaklık ve mikrodalga güçlerinde kurutulan mantar örneklerinden elde edilen deneysel olarak elde edilen nem oranı değerler ile geliştirilen modelden elde edilen tahmini nem oranı değerlerinin karşılaştırılması verilmiştir. Verilerin 45° açıyla çizilmiş bir çizginin etrafında toplandığı görülmektedir.

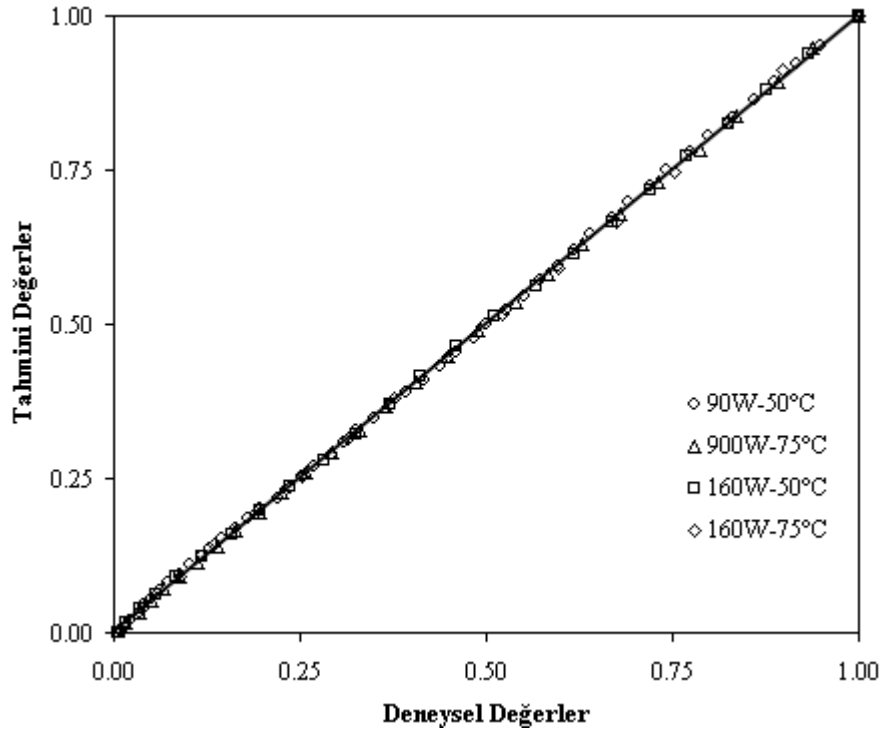
Sonuç olarak mantarın kurutma sonuçlarını literatürde bulunan ve bu çalışmada uygulanan modeller arasında konvektif yöntemle 50°C sıcaklıkta Difüzyon Yaklaşımı modeli ve 75°C sıcaklıkta Logaritmik modeli, mikrodalga yöntemle 90, 160, 350 ve 500W mikrodalga güçlerinde Midilli modeli ve mikrodalga-konvektif kombinasyonu kurutma yöntemiyle 90W-50°C mikrodalga gücü ve sıcaklıkta Logaritmik modeli, 90W-75°C ve 160W-50°C mikrodalga güç ve sıcaklıklarında Midilli ve 160W-75°C mikrodalga güç ve sıcaklığında Wang ve Singh modeli en iyi şekilde tanımlamaktadır. Ayrıca geliştirilen model ile bu çalışmada kullanılan modeller beraber değerlendirildiğinde uygulanan tüm kurutma şartları için 160W-75°C mikrodalga gücü ve sıcaklığı uygulaması haricinde geliştirilen model en iyi sonuçları sağlamıştır.



**Şekil 4.51.** Farklı sıcaklıklarla kurutulmuş mantar örneklerinin deneysel nem oranı değerleri ile geliştirilen modelden elde edilen tahmini nem oranı değerlerinin zamanla karşılaştırılması



**Şekil 4.52.** Farklı mikrodalga güçleriyle kurutulmuş mantar örneklerinin deneysel nem oranı değerleri ile geliştirilen modelden elde edilen tahmini nem oranı değerlerinin karşılaştırılması



**Şekil 4.53.** Farklı mikrodalga-konvektif kombinasyonlarıyla kurutulmuş mantar örneklerinin deneysel nem oranı değerleri ile geliştirilen modelden elde edilen tahmini nem oranı değerlerinin karşılaştırılması

#### 4.3.4. Mantar ürününün renk analiz sonuçları

Taze ve konvektif, mikrodalga, mikrodalga-konvektif kombinasyonu kurutma yöntemleriyle kurutulmuş mantar örneklerine ait renk parametrelerinin sonuçları Çizelge 4.12’de sunulmuştur. Genel olarak uygulanan bütün kurutma işlemleri sonucu mantar örneklerinin  $L^*$  değerinde bir düşme meydana gelirken,  $a^*$  ve  $b^*$  değerlerinde artış gözlemlenmiştir. Taze mantar örneklerinin  $L^*$ ,  $a^*$  ve  $b^*$  değerlerine en yakın değerler konvektif kurutma yönteminde  $50^\circ\text{C}$  sıcaklıkla kurutulmuş mantar örneklerinden elde edilirken, en uzak değerler ise  $500\text{W}$  mikrodalga güç seviyesiyle kurutulmuş mantar örneklerinden elde edilmiştir. Taze mantar örneklerinin  $L^*$ ,  $a^*$  ve  $b^*$  değerleri sırasıyla  $87,133$ ,  $2,103$  ve  $17,417$  iken,  $500\text{W}$  mikrodalga güç seviyesinde kurutma işlemi sonucu  $L^*$  değeri  $41,667$ ’ye düşerken,  $a^*$  ve  $b^*$  değerleri ise sırasıyla  $8,197$  ve  $20,123$ ’e yükselmiştir. Kurutma işlemi sonucu renk değerlerinde meydana gelen bu azalma ve artma istatistik olarak önemli bulunmuştur ( $P < 0,01$ ). Uygulanan üç farklı kurutma yöntemiyle kurutulmuş mantar örneklerinin renk kayıpları incelendiğinde en az renk kayıpları konvektif kurutma yönteminde  $50^\circ\text{C}$  sıcaklıkla kurutulmuş mantar örneklerinden

elde edilmiştir. Yalnızca mikrodalga ve mikrodalga-konvektif kombinasyonu kurutma yöntemleri karşılaştırıldıklarında, 90W mikrodalga uygulaması sonucu elde edilen örneklerin parlaklık değeri 60,467 iken, 90W-50°C mikrodalga gücü ve sıcaklığında 51,513 ve 90W-75°C mikrodalga gücü ve sıcaklığında ise 46,250 olmuştur. Ayrıca 160W mikrodalga uygulaması sonucu elde edilen örneklerin parlaklık değeri 53,290 iken, 160W-50°C mikrodalga gücü ve sıcaklığında 46,143 ve 160W-75°C mikrodalga gücü ve sıcaklığında ise 44,377 olarak belirlenmiştir. Bu sonuçlara göre mantar örneklerinin mikrodalga ile kurutma işlemi mikrodalga-konvektif kombinasyonu kurutma yönteminden daha başarılı bulunmuştur.

**Çizelge 4.12.** Farklı kurutma yöntemleriyle kurutulan mantar örneklerinin renk değerleri

Kurutma Yöntemi	Renk Parametreleri				
	L*	a*	b*	C	$\alpha, ^\circ$
Taze	87,133(0,474) <sup>a</sup>	2,103(0,119) <sup>j</sup>	17,417(0,568) <sup>d</sup>	17,543(0,578) <sup>h</sup>	83,160(0,162) <sup>a</sup>
Konvektif					
50°C	68,013(0,021) <sup>b</sup>	3,580(0,010) <sup>i</sup>	17,870(0,285) <sup>d</sup>	18,225(0,279) <sup>g</sup>	78,710(0,195) <sup>b</sup>
75°C	50,387(0,785) <sup>f</sup>	4,587(0,137) <sup>h</sup>	19,113(0,500) <sup>b</sup>	19,656(0,510) <sup>cde</sup>	76,544(0,279) <sup>c</sup>
Mikrodalga					
90W	60,467(0,091) <sup>c</sup>	4,617(0,012) <sup>gh</sup>	18,483(0,012) <sup>c</sup>	19,051(0,013) <sup>f</sup>	76,014(0,030) <sup>d</sup>
160W	53,290(0,053) <sup>d</sup>	4,753(0,015) <sup>f</sup>	18,717(0,006) <sup>bc</sup>	19,311(0,007) <sup>ef</sup>	75,789(0,043) <sup>d</sup>
350W	43,400(0,251) <sup>i</sup>	6,640(0,017) <sup>e</sup>	19,033(0,025) <sup>bc</sup>	20,158(0,019) <sup>bc</sup>	70,804(0,069) <sup>e</sup>
500W	41,667(0,421) <sup>j</sup>	8,197(0,032) <sup>a</sup>	20,123(0,055) <sup>a</sup>	21,729(0,063) <sup>a</sup>	67,872(0,024) <sup>i</sup>
Mikrodalga-Konvektif Kombinasyonu					
90W-50°C	51,513(0,437) <sup>e</sup>	4,720(0,020) <sup>fg</sup>	18,813(0,110) <sup>bc</sup>	19,396(0,111) <sup>def</sup>	75,954(0,036) <sup>d</sup>
90W-75°C	46,250(0,030) <sup>g</sup>	7,113(0,006) <sup>c</sup>	18,527(0,006) <sup>c</sup>	19,845(0,007) <sup>bcde</sup>	69,031(0,014) <sup>g</sup>
160W-50°C	46,143(0,182) <sup>g</sup>	7,510(0,046) <sup>b</sup>	18,790(0,079) <sup>bc</sup>	20,235(0,091) <sup>b</sup>	68,249(0,040) <sup>h</sup>
160W-75°C	44,377(0,091) <sup>h</sup>	6,940(0,027) <sup>d</sup>	18,630(0,010) <sup>bc</sup>	19,881(0,007) <sup>bcd</sup>	69,604(0,079) <sup>f</sup>

Her bir renk parametresi sütunun istatistiği ayrı ayrı uygulanmıştır ve aynı sütunda farklı harfler taşıyan ortalamalar arasındaki farklılıklar önemlidir ( $P < 0,01$ ).

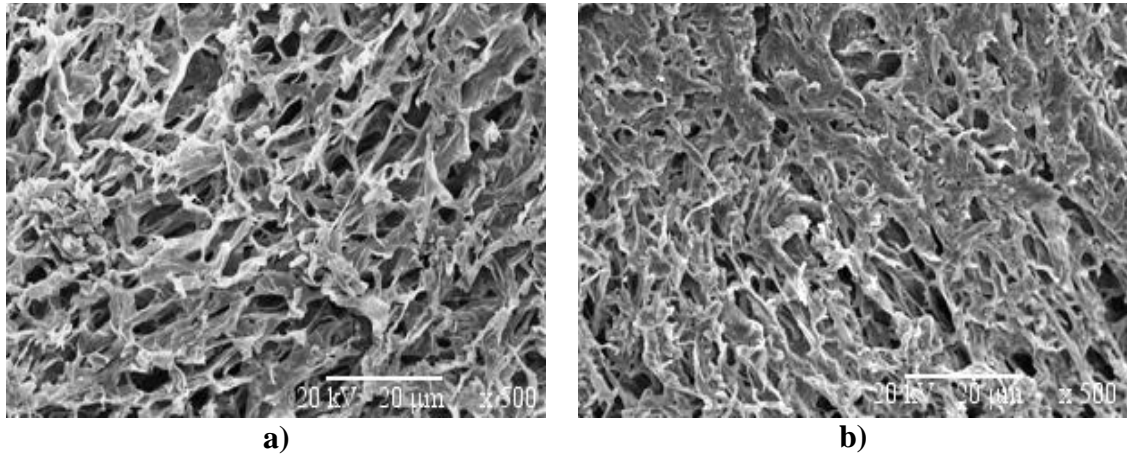
Taze mantar örneğinde renk doygunluğu ölçüsü olan Kroma (C) değeri 17,543 olarak hesaplanmış olup, bu değer uygulanan kurutma işlemleri sonucu artmıştır ve bu artış istatistiki olarak önemli bulunmuştur. En yüksek C değeri 500W mikrodalga güç seviyesinde gözlemlenmiştir. Renk tonunun ölçüsü olan Hue açısı ( $\alpha$ ) değeri ise taze

mantar örneklerinde 83,160 olarak hesaplanmıştır ve kurutma işlemi sonucu bu değer düşmüştür. En düşük  $\alpha$  değeri 500W mikrodalga güç seviyesi uygulamasında gerçekleşmiştir ve yaklaşık %18 oranında bir azalma saptanmıştır. Bu sonuçlar ışığında, uygulanan kurutma işlemlerinin mantar örneklerinin renk doygunluğunda artışa ve daha canlı renkte örnekler elde edilmesine, renk tonunda ise azalmaya neden olduğu tespit edilmiştir.

Daha önce yapılan çalışmalar incelendiğinde, Kurozawa ve ark. (2012) farklı sıcaklıklarda (40, 60 ve 80°C) kuruttıkları mantar örneklerinde artan sıcaklığa bağlı olarak Maillard reaksiyonu sonucu gerçekleşen kahverengileşmenin L değerlerinde azalmaya neden olduğunu belirlerken, elde ettikleri deneysel sonuçlara göre C değerlerinde artış meydana geldiğini bildirmişlerdir.

#### 4.3.5. Mantar ürününün mikroyapı analiz sonuçları

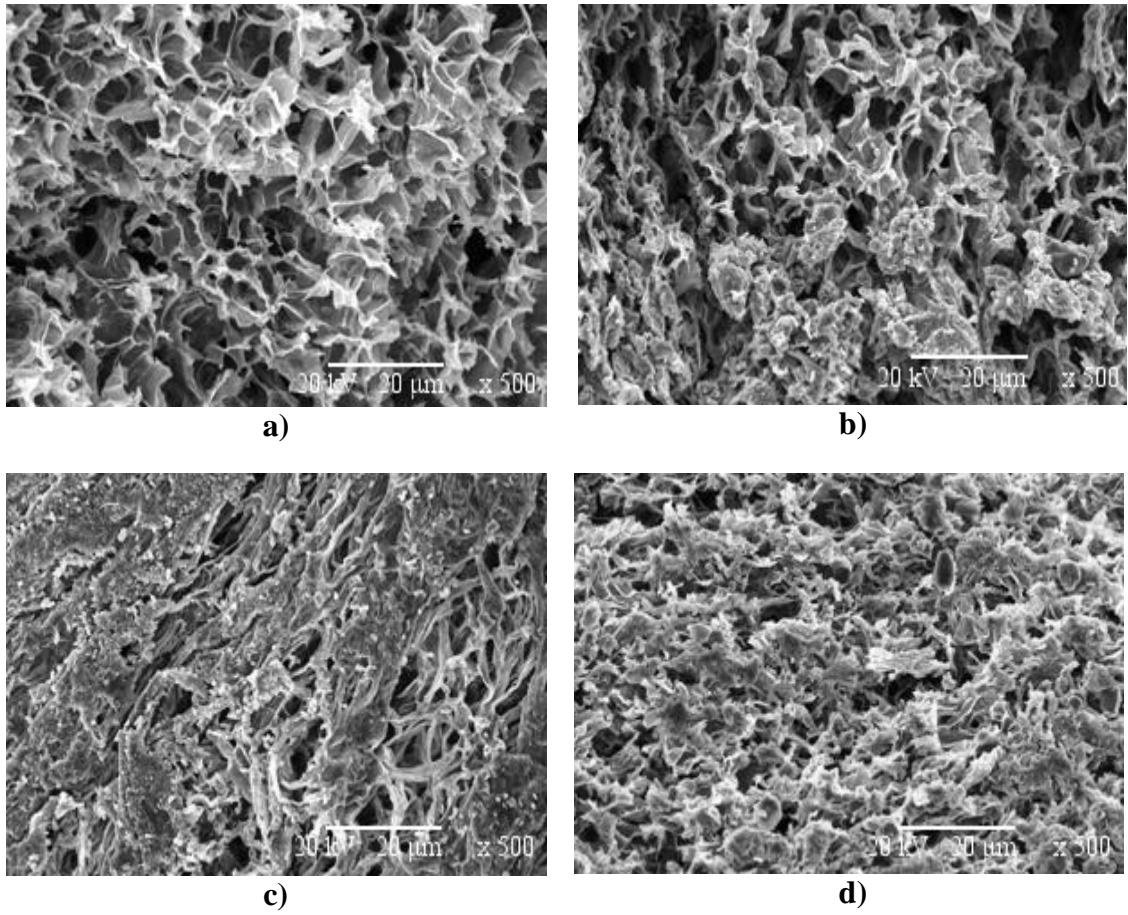
Konvektif, mikrodalga ve mikrodalga-konvektif kombinasyonu kurutma yöntemleri kullanılarak kurutulan mantar örneklerine ait taramalı elektron mikroskobu görüntüleri Şekiller 4.54-56'da sunulmuştur.



**Şekil 4.54.** Konvektif (50°C (a) ve 75°C (b)) yöntemle kurutulmuş mantar örneklerinin taramalı elektron mikroskobu görüntüleri

Elde edilen görüntüler incelendiğinde, konvektif kurutma yöntemiyle 50°C sıcaklıkla kurutulan örneklerin hücre yapıları 75°C sıcaklıkla kurutulan mantar örneklerinin hücre yapılarına göre daha homojen yayılım gösterdikleri belirlenmiştir. Ayrıca konvektif

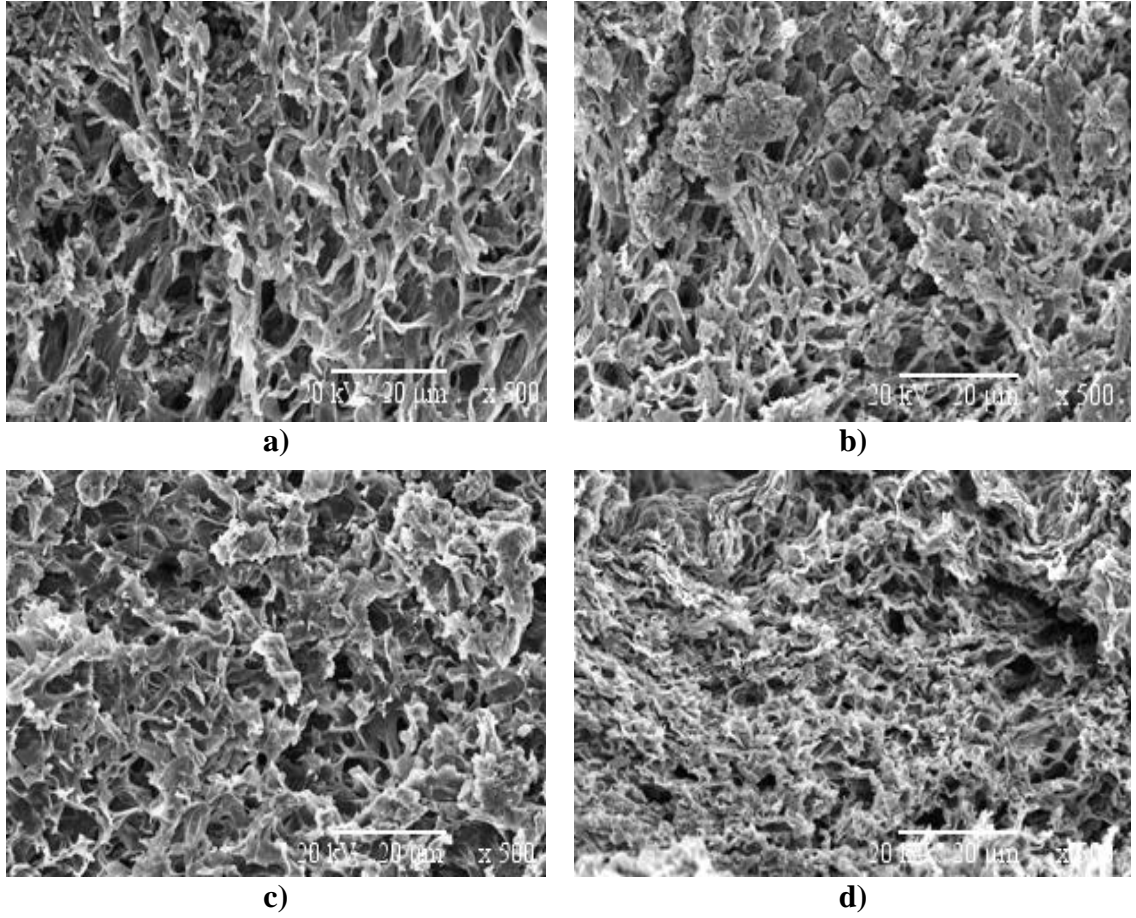
kurutmada uygulanan sıcaklığın artmasıyla kurutulan ürünlerin mikroyapılarında erime ve genişlemeler tespit edilmiştir. Mantar örneklerinin mikrodalga kurutma yöntemiyle kurutulması uygulamalarında ise 90 ve 160W mikrodalga güçlerinde kurutulan mantarların mikroyapılarının 350 ve 500W mikrodalga güçlerinde kurutulan mantarların mikroyapılarına göre daha homojen bir yapıda oldukları görülmektedir. Mikrodalga-konvektif kombinasyonu kurutma yöntemiyle kurutulan mantarların taramalı elektron mikroskop görüntüleri incelendiğinde uygulanan mikrodalga güçleri ve sıcaklıklar arttıkça mantarların mikroyapılarının homojen bir yayılımdan uzaklaştığı ve büzülme sonucu zarar gördükleri tespit edilmiştir.



**Şekil 4.55.** Mikrodalga (90W (a), 160W (b), 350W (c) ve 500W (d)) yöntemiyle kurutulmuş mantar örneklerinin taramalı elektron mikroskopu görüntüleri

Daha önce yapılan çalışmalar incelendiğinde, Giri ve Prasad (2007) mantar örneklerinin konvektif kurutma yöntemiyle kurutulmasında 60°C sıcaklıkla kuruttıkları örnekler için taramalı elektron mikroskop görüntülerini incelemişler ve

örneklerin dokularında meydana gelen zararları ortaya koymuşlardır. Rodríguez ve Lombraña (2005) mikrodalga ve mikrodalga-konvektif kurutma yöntemleriyle kurutmuş oldukları mantarların taramalı elektron mikroskobu görüntüleri incelemişler, mikrodalga-konvektif kurutma yöntemiyle kurutulan mantarların mikroyapılarının mikrodalga kurutma yöntemiyle kurutulan mantarların mikroyapılarına göre daha homojen bir yayılım sergiledikleri ve daha az zarar gördüklerini bildirmişlerdir.



**Şekil 4.56.** Mikrodalga-konvektif (90W-50°C (a), 90W-75°C (b), 160W-50°C (c) ve 160W-75°C (d)) kombinasyonu yöntemiyle kurutulmuş mantar örneklerinin taramalı elektron mikroskobu görüntüleri

Witrowa-Rajchert ve Rzaca ise (2009) elmanın kurutulmasında konvektif ve mikrodalga-konvektif kurutma yöntemleriyle kurutmuş oldukları örneklerden elde ettikleri taramalı elektron mikroskobu görüntülerini incelemişler, konvektif kurutma yöntemiyle kurutulan örneklerin mikroyapılarının zarar gördüğünü ancak mikrodalga-konvektif kurutma yöntemiyle kurutulan örneklerde bu zararın daha büyük olduğunu

bildirmişlerdir. Ayrıca yüksek sıcaklıkların kuruttukları örnekler üzerinde büyük zararlar gösterdiklerini tespit etmişlerdir.

Sonuç olarak, konvektif yöntemle 50 ve 75°C sıcaklık uygulamalarında, mikrodalga yöntemle 90, 160, 350 ve 500W mikrodalga güçleri uygulamalarında ve son olarak mikrodalga-konvektif kombinasyonu yöntemle 90W-50°C, 90W-75°C, 160W-50°C ve 160W-75°C mikrodalga güç ve sıcaklık şartlarında kurutulan mantar örneklerinin elektron mikroskobu görüntüleri incelendiğinde, yüksek sıcaklık ve mikrodalga güçleriyle kurutulan mantar örneklerinin mikroyapılarında çeşitli zararlar görüldüğü tespit edilmiştir.

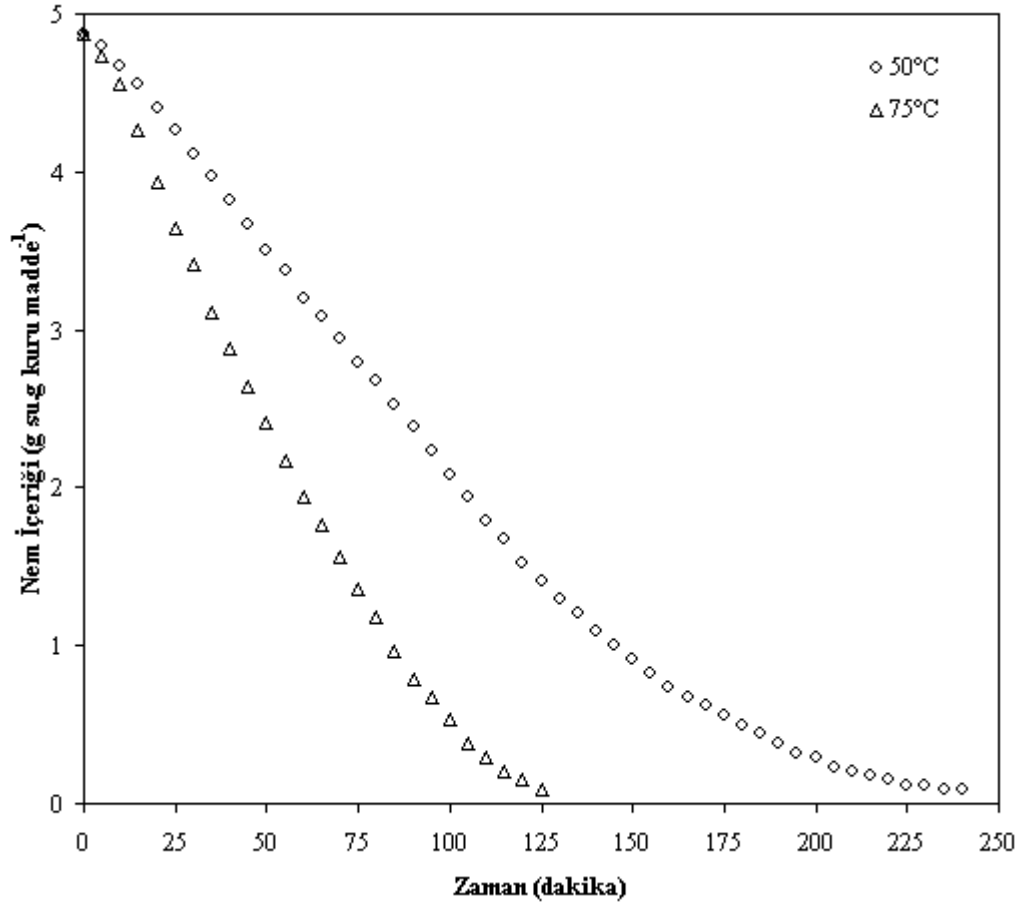
#### **4.4. Patates Kurutma**

##### **4.4.1. Patates ürününün nem içeriği değişimi**

Şekil 4.57’de konvektif kurutma yönteminde 2 farklı sıcaklık ile kurutulan patates küplerinin nem içeriklerinin zamanla değişimi sunulmuştur. Konvektif kurutma yöntemiyle kurutulan patates örneklerinin toplam kurutma süreleri dikkate alındığında, 50°C sıcaklık için 240 dakika ve 75°C sıcaklık için ise 125 dakika kuruma süreleri belirlenmiştir. Yapılan çalışmaların sonucunda, uygulanan sıcaklıklar arttıkça kurutulan örneklerin kuruma sürelerinin azaldığı tespit edilmiştir.

Daha önce yapılan çalışmalar incelendiğinde, Mengeş (2005), Leeratanarak ve ark. (2006) ve Troncoso ve Pedreschi (2007) sıcak havayla patates dilimlerini kurutmuşlar ve uyguladıkları sıcaklık dereceleri arttıkça kuruttukları patateslerin kuruma sürelerinin azaldığını tespit etmişlerdir.

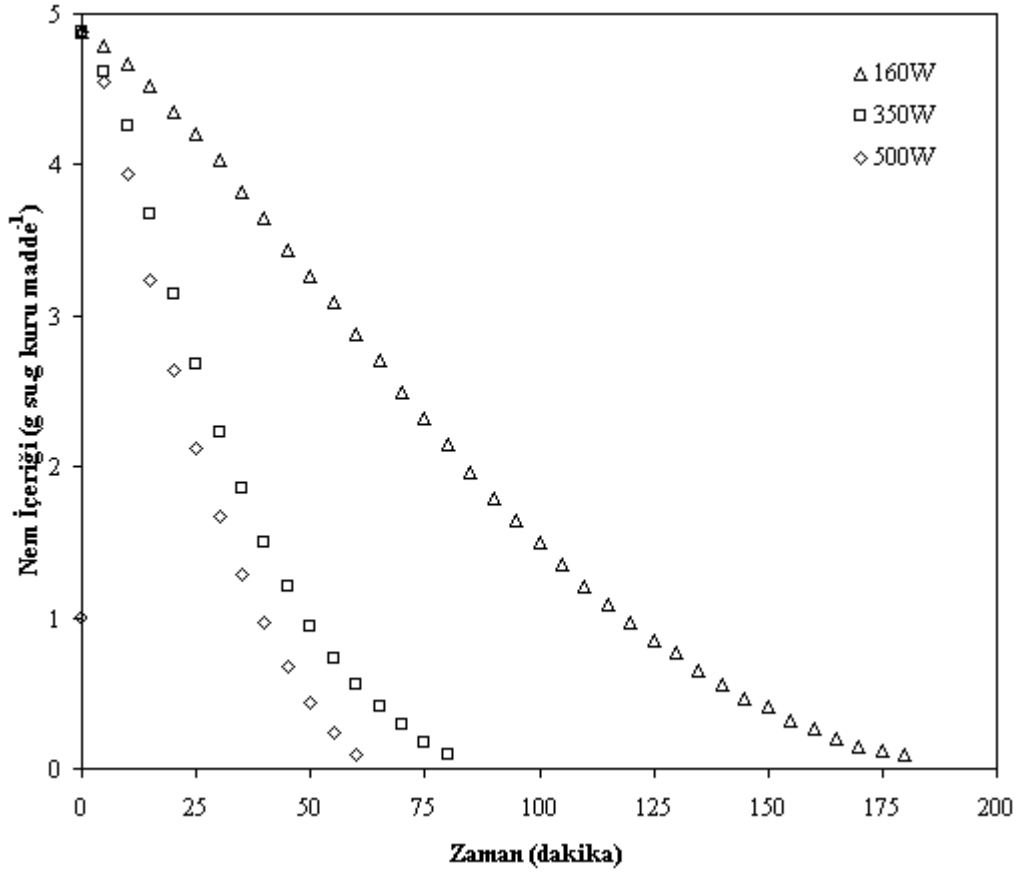




**Şekil 4.57.** Farklı sıcaklıklarla kurutulan patates örneklerinin nem içeriklerinin zamanla değişimi

Şekil 4.58’de mikrodalga kurutma yöntemi kullanılarak 3 farklı mikrodalga gücü ile kurutulan patates örneklerinin nem içeriklerinin zamanla değişimi sunulmuştur. Mikrodalga kurutma yöntemiyle kurutulan patates küplerinin toplam kuruma süreleri dikkate alındığında, 160W mikrodalga gücüyle kurutulan patates örnekleri için 180 dakika, 350W mikrodalga gücüyle kurutulan örnekler için 80 dakika ve 500W mikrodalga gücüyle kurutulan örnekler için 60 dakika kuruma süreleri belirlenmiştir. Sonuçlar incelendiğinde, deneylerde uygulanan mikrodalga güç seviyelerinin artmasıyla patateslerin kuruma sürelerinin azaldığı tespit edilmiştir. Elde edilen sonuçlara göre, en kısa kuruma süresinin 500W mikrodalga gücünde kurutulan patateslerden elde edilirken, en uzun kuruma süresinin 160W mikrodalga gücü uygulamasıyla kurutulan patateslerden elde edildiği belirlenmiştir. Lu ve ark. (1999) patatesin kurutulmasında

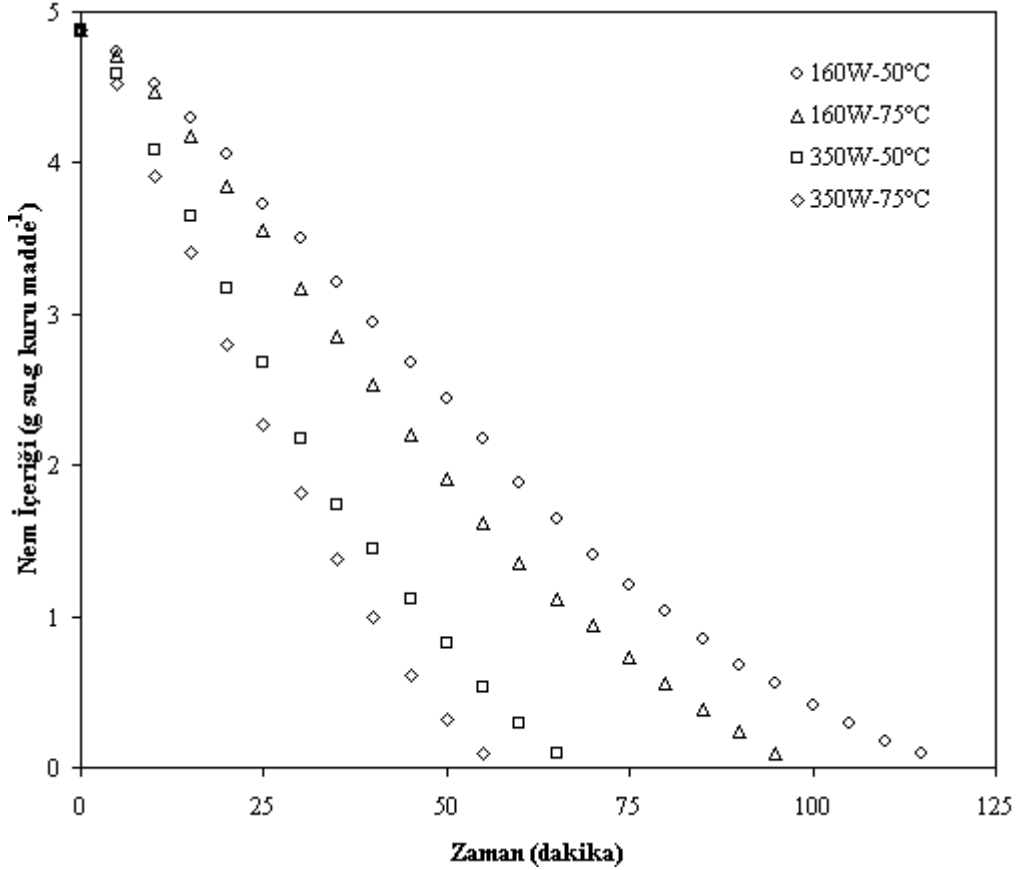
uyguladıkları mikrodalga güçlerinin artmasıyla kuruttukları örneklerin kuruma sürelerinin azaldığını bildirmişlerdir.



**Şekil 4.58.** Farklı mikrodalga güçleriyle kurutulan patates örneklerinin nem içeriklerinin zamanla değişimi

Şekil 4.59’da mikrodalga-konvektif kombinasyonu kurutma yöntemiyle 2 farklı mikrodalga gücü ve 2 farklı hava sıcaklığı kombinasyonu ile kurutulan patates küplerinin nem içeriklerinin zamanla değişimi sunulmuştur. Mikrodalga-konvektif kombinasyonu kurutma yöntemiyle kurutulan patateslerin toplam kuruma süreleri dikkate alındığında 160W-50°C, 160W-75°C, 350W-50°C ve 350W-75°C mikrodalga güçleri ve sıcaklıklarıyla kurutulan patates örnekleri için sırasıyla 115, 95, 65 ve 55 dakika kuruma süreleri belirlenmiştir. Patates küplerinin kurutulmasında elde edilen deneysel sonuçlara göre uygulanan mikrodalga güçlerinin ve sıcaklıkların artmasıyla kurutulan patateslerin toplam kuruma sürelerinin azaldığı belirlenmiştir. Mikrodalga-konvektif kombinasyonu kurutma yöntemiyle kurutulan patateslerin toplam kuruma süreleri karşılaştırıldığında, en kısa kuruma süresinin beklenildiği gibi 350W-75°C

mikrodalga gücü ve sıcaklığı uygulamasıyla kurutulan patateslerden elde edilirken, en uzun kuruma süresinin 160W-50°C mikrodalga gücü ve sıcaklığı uygulamasıyla kurutulan patateslerden elde edilmiştir.



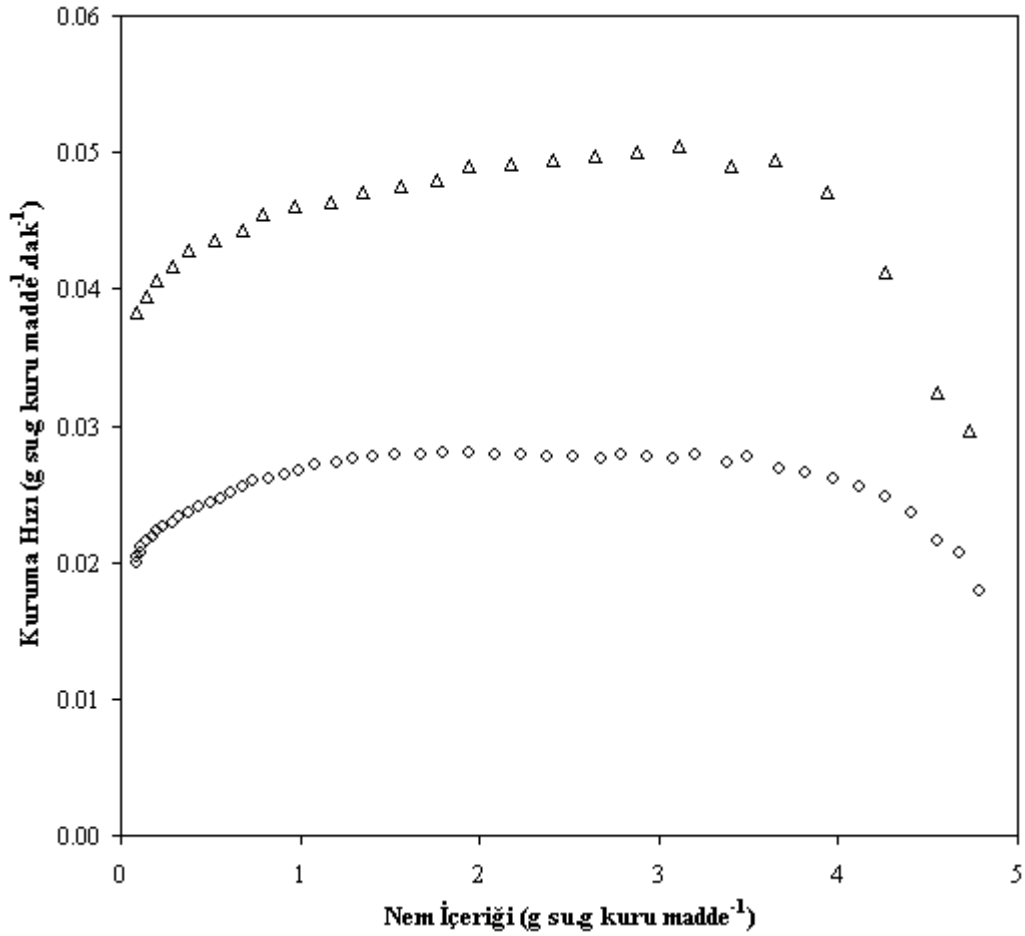
**Şekil 4.59.** Farklı mikrodalga-konvektif kombinasyonlarıyla kurutulan patates örneklerinin nem içeriklerinin zamanla değişimi

Konvektif, mikrodalga ve mikrodalga-konvektif kombinasyonu kurutma yöntemleriyle kurutulan patateslerin toplam kuruma süreleri karşılaştırıldığında, mikrodalga-konvektif kombinasyonu kurutma yöntemiyle kurutulan patates örneklerinin yalnızca mikrodalga ve yalnızca konvektif yöntemle kurutulan patates örneklerine göre oldukça zaman kazanımı sağlamıştır. Örneğin, 160W-50°C mikrodalga gücü ve sıcaklığın kullanıldığı mikrodalga-konvektif kombinasyonu kurutma yöntemiyle kurutulan patateslerin kuruma süresinin 160W mikrodalga gücünün kullanıldığı yalnızca mikrodalga kurutma yöntemiyle kurutulan patateslerden 1,57 kat ve 50°C sıcaklığın kullanıldığı yalnızca konvektif kurutmada yöntemiyle kurutulan patateslerden 2,09 kat kısa sürdüğü belirlenmiştir. Benzer sonuçlar diğer kurutma şartları için de geçerlidir. Reyes ve ark.

(2007) patatesin kurutulması çalışmalarında mikrodalga yardımcı sıcak hava kurutmanın patatesin kuruma süresini önemli ölçüde azalttığını bildirmişlerdir.

#### 4.4.2. Patates ürününün kuruma hızı değişimi

Konvektif kurutma yöntemiyle 50 ve 75°C sıcaklıklarda kurutulan patates küplerinin kuruma hız değerlerinin zamanla değişimi Şekil 4.60'da verilmiştir.

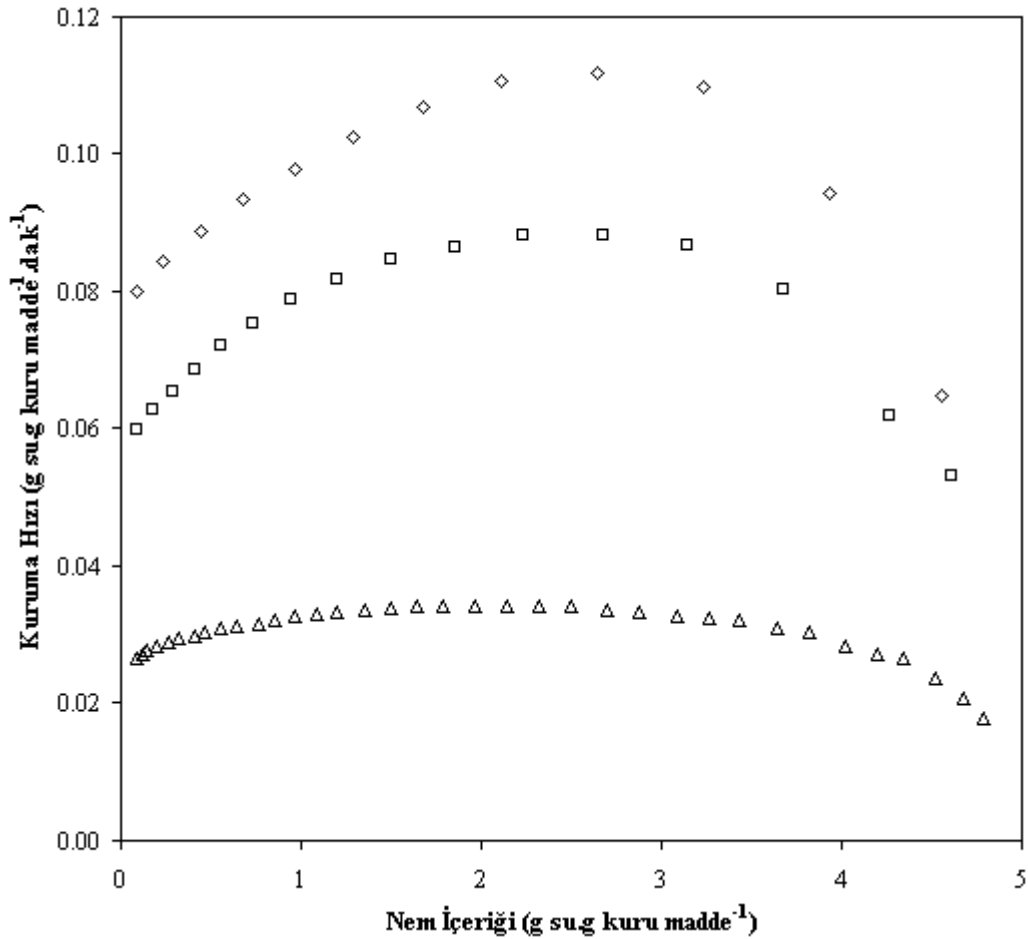


Şekil 4.60. Konvektif (Δ50°C ve ◊75°C) kurutma yöntemiyle kurutulan patates örneklerinin kuruma hızlarının nem içerikleriyle değişimi

Şekilden açıkça anlaşılacağı gibi 75°C sıcaklıkla kurutulan patates örneklerinin 50°C sıcaklıkla kurutulan patates örneklerine göre daha yüksek kuruma hız değerlerine sahip oldukları belirlenmiştir. Sonuç olarak patateslerin konvektif kurutma yöntemiyle kurutulmasında uygulanan sıcaklıklar arttıkça elde edilen kuruma hız değerleri de artmıştır. Daha önce yapılan çalışmalar incelendiğinde, Fernando ve ark. (2011) patates dilimleri, Singh ve Pandey (2012) patates küplerinin kurutulması çalışmalarında

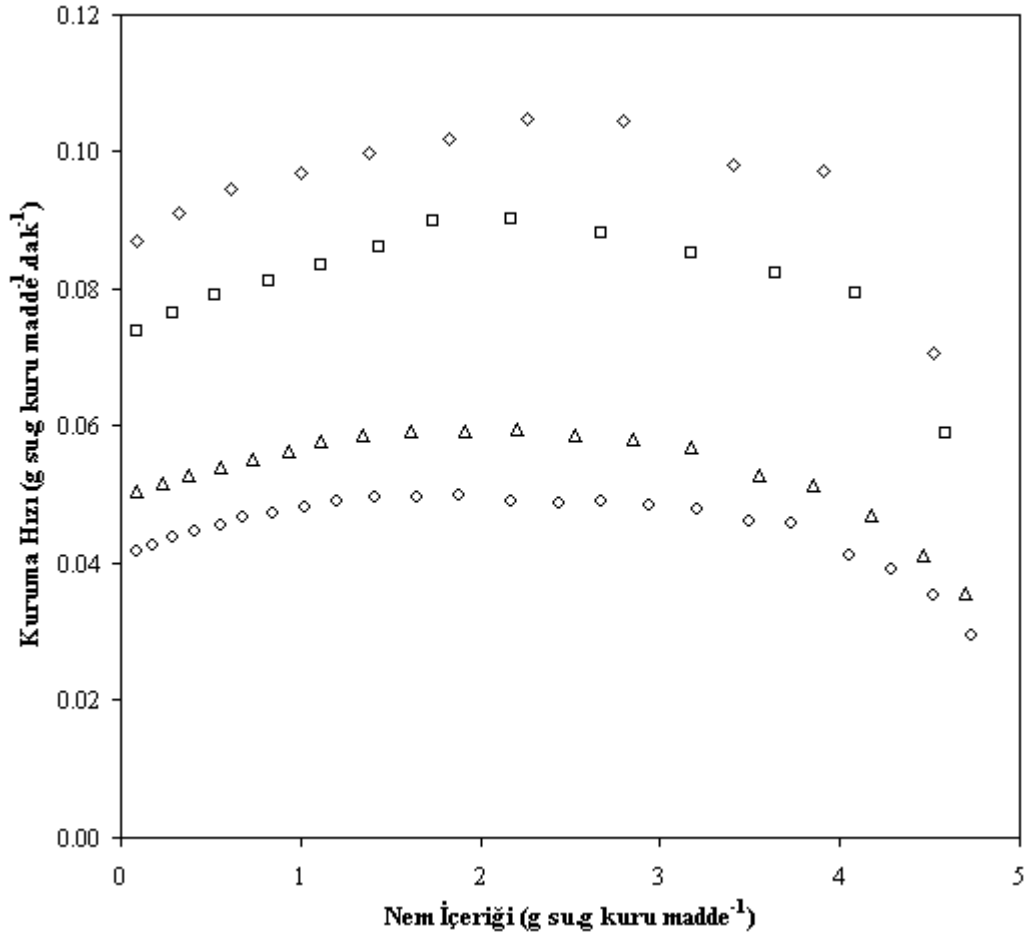
uyguladıkları sıcaklıkların artmasıyla elde ettikleri kuruma hızlarının da arttığını bildirmişlerdir.

Mikrodalga kurutma yöntemiyle 160, 350 ve 500W mikrodalga güçlerinde kurutulan patates küplerinin kuruma hız değerlerinin zamanla değişimi Şekil 4.61’de verilmiştir. Sonuçlar incelendiğinde 160W mikrodalga gücüyle kurutulan patates örnekleri en düşük kuruma hız değerlerine sahipken, 500W mikrodalga gücüyle kurutulan patates örnekleri en yüksek kuruma hız değerlerine sahiptir. Patateslerin mikrodalga kurutma yöntemiyle kurutulmasında uygulanan mikrodalga güçleri arttıkça elde edilen kuruma hız değerleri de artmıştır. Wang ve ark (2004), Chua ve Chou (2005) ve Haghi ve Amanifard (2008) patates örneklerinin kurutulmasında uyguladıkları mikrodalga güçlerinin artmasıyla elde ettikleri kuruma hız değerlerinin de arttığını tespit etmişlerdir.



Şekil 4.61. Mikrodalga (Δ160W, □350W ve ◇500W) yöntemiyle kurutulan patates örneklerinin kuruma hızlarının nem içerikleriyle değişimi

Mikrodalga-konvektif kombinasyonu kurutma yöntemiyle 160W-50°C, 160W-75°C, 350W-50°C ve 350W-75°C mikrodalga güçleri ve sıcaklıklarında kurutulan patates küplerinden elde edilen kuruma hız değerlerinin zamanla değişimi Şekil 4.62’de verilmiştir. Şekil incelendiğinde 160W-50°C mikrodalga gücü ve sıcaklığında kurutulan patates küplerinden en düşük kuruma hız değerleri elde edildiği görülürken, 350W-75°C mikrodalga gücü ve sıcaklığında kurutulan patates küplerinden en yüksek kuruma hız değerleri elde edildiği görülmektedir. Mikrodalga-konvektif kombinasyonu kurutma yöntemiyle patates küplerinin kurutulmasında uygulanan tüm kurutma şartları için uygulanan mikrodalga güç ve sıcaklıkları arttıkça elde edilen kuruma hız değerleri de artmıştır.



**Şekil 4.62.** Mikrodalga-konvektif kombinasyonu (◇160W-50°C, △160W-75°C, □350W-50°C ve ○350W-75°C) yöntemiyle kurutulan patates örneklerinin kuruma hızlarının nem içerikleriyle değişimi

#### 4.4.3. Patates ürününün kuruma eğrilerinin modellenmesi

Patates küplerinin konvektif, mikrodalga ve mikrodalga-konvektif kombinasyonu kurutma yöntemleriyle kurutulması sırasında elde edilen nem oranı değerlerinin kuruma zamanları ile değişimi Bölüm 3.2.4’de verilen 10 adet ince tabaka kurutma modeli ve Bölüm 3.2.4.1’de verilen Midilli ve Wang ve Singh modelleri esas alınarak geliştirilen model ile incelenmiştir. Tüm kurutma şartları için uygulanan modellerin kurutma katsayıları,  $R^2$ ,  $\chi^2$  ve RMSE istatistiksel parametreleri hesaplanarak analiz edilmiştir. Konvektif, mikrodalga ve mikrodalga-konvektif kombinasyonu kurutma yöntemiyle kurutulan patates küplerinin nem oranı değerlerinin kuruma zamanı ile değişimi süresince kullanılan ince tabaka kurutma modellerinden elde edilen kurutma katsayıları ve istatistiksel parametreler tablolar halinde sunulmuştur.

**Çizelge 4.13.** Patates örneklerinin farklı sıcaklıklarla kurutulmasında uygulanan modellerden elde edilen katsayı ve istatistiksel analiz sonuçları

No	50°C				75°C			
	Model Katsayıları	$R^2$	RMSE	$\chi^2$ ( $10^{-4}$ )	Model Katsayıları	$R^2$	RMSE	$\chi^2$ ( $10^{-4}$ )
1	a=1,139 k=0,01116	0,9629	0,0626	39,4427	a= 1,122 k=0,01909	0,9624	0,0631	41,0649
2	k=0,009831	0,9433	0,0774	60,5570	k=0,01698	0,9454	0,0760	59,7564
3	k=0,0006778 n=1,566	0,9970	0,0179	3,1162	k=0,001887 n=1,531	0,9951	0,0229	5,2043
4	k=0,009474 n=1,566	0,9970	0,0179	3,1162	k=0,0166 n=1,53	0,9951	0,0229	5,2044
5	a=1,469 k=0,005796 c=-0,4088	0,9939	0,0253	6,3350	a=1,659 k=0,008251 c=-0,6161	0,9974	0,0166	2,8122
6	a=25,79 k <sub>0</sub> =0,002722 b=-24,87 k <sub>1</sub> =0,002563	0,9691	0,0571	32,9554	a=105,8 k <sub>0</sub> =0,009031 b=-104,9 k <sub>1</sub> =0,008977	0,9468	0,0750	58,2585
7	a=-0,006937 b=0,00001098	0,9936	0,0260	6,7902	a=-0,01173 b=0,00002838	0,9965	0,0193	3,9603
8	a=5,769 k=0,003109 b=0,722	0,9908	0,0311	9,5090	a=3,515 k=0,005871 b=0,5377	0,9939	0,0254	6,6727
9	a=0,9805 k=0,0007785 n=1,511 b=-0,0002197	0,9993	0,0089	0,6688	a=1,002 k=0,003626 n=1,319 b=-0,001013	0,9994	0,0083	0,5754
10	a=2,021 k=0,01552	0,9908	0,0312	9,7084	a=2,001 k=0,02685	0,9897	0,0331	11,1312

Çizelge 4.13 incelendiğinde patates küplerinin konvektif kurutma yönteminde 50 ve 75°C sıcaklıklarla kurutulmasında elde edilen nem oranı değerlerinin zamanla değişimini istatistiksel parametrelere göre en iyi açıklayan modelin 9 numaralı Midilli modeli olduğu görülmektedir. Bu modele göre 50°C sıcaklık uygulaması için  $R^2=0,9993$ ,  $RMSE=0,0089$  ve  $\chi^2=0,6688 \times 10^{-4}$  değerleri elde edilirken, 75°C sıcaklık uygulaması için  $R^2=0,9994$ ,  $RMSE=0,0083$  ve  $\chi^2=0,5754 \times 10^{-4}$  değerleri elde edilmiştir. Patates küplerinin konvektif kurutma yöntemiyle kurutulmasında elde edilen bu değerler Midilli modelinin literatürde bulunan ve bu çalışmada uygulanan diğer modellere göre patates küplerinin nem oranı değerlerinin zamana göre değişimini en iyi açıklayan model olduğunu göstermiştir.

Konvektif yöntemle kurutmada, 50°C sıcaklık uygulamasıyla kurutulan patates örneklerinden elde edilen nem oranı değerleriyle geliştirilen modelden elde edilen tahmini nem oranı değerlerinin istatistiki olarak incelenmesi sonucu geliştirilen modele ait  $a=-0,01499$ ,  $k=-0,01649$ ,  $n=0,8137$  ve  $b=-0,00000948$  katsayı değerleri,  $R^2=0,9996$ ,  $RMSE=0,0066$  ve  $\chi^2=0,3895 \times 10^{-4}$  değerleri belirlenirken, 75°C sıcaklık uygulamasıyla kurutulan patates örnekleri için  $a=-0,02526$ ,  $k=-0,02589$ ,  $n=0,7838$  ve  $b=0,00000243$  katsayı değerleri,  $R^2=0,9997$ ,  $RMSE=0,0060$  ve  $\chi^2=0,3171 \times 10^{-4}$  değerleri belirlenmiştir. Geliştirilen modelden elde edilen bu değerler Midilli modeli dahil olmak üzere uygulanan diğer 10 modelden elde edilen değerlerle karşılaştırıldığında, tüm istatistiki değerlere göre en iyi sonuçları sağlamıştır.

Sonuç olarak geliştirilen model konvektif kurutmada uygulanan 50 ve 75°C sıcaklıklarla kurutulan patates örneklerinin nem oranı değerlerinin zamana göre değişimini en iyi derecede tanımlamaktadır.

Çizelge 4.14 incelendiğinde, mikrodalga kurutma yöntemiyle kurutulan patates küplerinin tüm mikrodalga gücü uygulamalarında bu çalışmada değerlendirilen ve literatürde bulunan ince tabaka kurutma modelleri arasında en uygun istatistiksel parametreler 9 numaralı model olan Midilli modelinden elde edildiği görülmektedir. Bu modele göre 160W mikrodalga gücü uygulamasıyla kurutulan patates örnekleri için  $R^2=0,9997$ ,  $RMSE=0,0054$  ve  $\chi^2=0,1424 \times 10^{-4}$  değerleri elde edilirken, 350W mikrodalga gücü uygulamasıyla kurutulan patates örnekleri için  $R^2=0,9997$ ,



RMSE=0,0062 ve  $\chi^2=0,3704 \times 10^{-4}$  değerleri ve son olarak 500W mikrodalga g¼c¼ uygulamasıyla kurutulan patates ¼rnekleri i¼in  $R^2=0,9996$ , RMSE=0,0064 ve  $\chi^2=0,7461 \times 10^{-4}$  değerleri elde edilmiştir.

Sonuç olarak, Midilli modelinden elde edilen değerlerle, bu ¼alıřmada kullanılan diğer 9 farklı ince tabaka kurutma modelinden elde edilen değerler karşılaştırıldığında, tüm istatistiki sonu¼lara g¼re mikrodalga y¼ntemiyle kurutulan patates k¼plerinin nem oranı değerlerinin zamana g¼re değişimini en iyi a¼ıklayan modelin Midilli modeli olduğu belirlenmiştir.

Mikrodalga y¼ntemle kurutmada, 160W mikrodalga g¼c¼ uygulamasıyla kurutulan patates ¼rneklerinden deneysel olarak elde edilen nem oranı değerleriyle geliştirilmiş modelden tahmini olarak elde edilen nem oranı değerlerinin karşılaştırılmasının istatistiki olarak incelenmesi sonucu geliştirilen modele ait  $a=-0,0199$ ,  $k=-0,02482$ ,  $n=0,7884$  ve  $b=-0,00002585$  katsayı değerleri,  $R^2=0,9998$ , RMSE=0,0049 ve  $\chi^2=0,2466 \times 10^{-4}$  değerleri belirlenirken, 350W mikrodalga g¼c¼ uygulamasıyla kurutulan patates ¼rnekleri i¼in  $a=-0,0305$ ,  $k=-0,05309$ ,  $n=0,3797$  ve  $b=0,0001774$  katsayı değerleri,  $R^2=0,9992$ , RMSE=0,0098 ve  $\chi^2=0,9838 \times 10^{-4}$  değerleri ve son olarak 500W mikrodalga g¼c¼ uygulamasıyla kurutulan patates ¼rnekleri i¼in  $a=0,003376$ ,  $k=0,00997$ ,  $n=1,415$  ve  $b=-0,00006538$  katsayı değerleri,  $R^2=0,9998$ , RMSE=0,0050 ve  $\chi^2=0,4180 \times 10^{-4}$  değerleri belirlenmiştir. Geliştirilen modelden elde edilen bu değerler Midilli modeli dahil olmak üzere uygulanan diğer 10 farklı ince tabaka kurutma modelinden elde edilen değerlerle karşılaştırıldığında, tüm istatistiki değerlere g¼re 350W mikrodalga g¼c¼ uygulaması haricinde en iyi değerler geliştirilen modelden sağlanmıştır. Ayrıca 350W mikrodalga g¼c¼ uygulamasıyla kurutulan patates ¼rneklerinden elde edilen nem oranı değerlerini en iyi tanımlayan model Midilli modeli olurken, ikinci en iyi model geliştirilen model olmuştur.

Sonuç olarak geliştirilen model diğer modellere g¼re mikrodalga y¼ntemiyle kurutulan patates ¼rneklerinin nem oranı değerlerinin zamana g¼re değişimini uygun şekilde a¼ıklamıřtır. Ayrıca elde edilen bu sonu¼lar geliştirilen modelin literat¼rde bulunan ince tabaka kurutma modellerine alternatif bir model olduğunu g¼stermektedir.

**Çizelge 4.14.** Patates örneklerinin farklı mikrodalga güçleriyle kurutulmasında uygulanan modellerden elde edilen katsayı ve istatistiksel analiz sonuçları

No	160W				350W				500W			
	Model Katsayıları	R <sup>2</sup>	RMSE	$\chi^2$ (10 <sup>-4</sup> )	Model Katsayıları	R <sup>2</sup>	RMSE	$\chi^2$ (10 <sup>-4</sup> )	Model Katsayıları	R <sup>2</sup>	RMSE	$\chi^2$ (10 <sup>-4</sup> )
1	a=1,149 k=0,01353	0,9556	0,0695	47,9659	a=1,116 k=0,03306	0,9683	0,0604	36,5739	a=1,102 k=0,04065	0,9661	0,0631	41,4811
2	k=0,01176	0,9314	0,0864	74,2080	k=0,02974	0,9544	0,0725	53,1819	k=0,03694	0,9551	0,0726	55,0865
3	k=0,0006334 n=1,649	0,9973	0,0170	2,6798	k=0,004567 n=1,518	0,9991	0,0099	0,9574	k=0,006701 n=1,505	0,9981	0,0149	2,4811
4	k=0,01149 n=1,649	0,9973	0,0170	2,6798	k=0,02875 n=1,518	0,9991	0,0099	0,9575	k=0,03593 n=1,505	0,9981	0,0149	2,4809
5	a=1,731 k=0,005618 c=-0,6687	0,9945	0,0244	5,8872	a=1,376 k=0,01935 c=-0,3157	0,9926	0,0292	8,5237	a=1,473 k=0,02117 c=-0,4267	0,9948	0,0246	6,8383
6	a=23,89 k <sub>0</sub> =0,02553 b=-22,91 k <sub>1</sub> =0,02677	0,9925	0,0286	7,8219	a=33,17 k <sub>0</sub> =0,007411 b=-32,24 k <sub>1</sub> =0,007037	0,9688	0,0600	36,7509	a=20,86 k <sub>0</sub> =0,0114 b=-19,91 k <sub>1</sub> =0,01063	0,9770	0,0520	28,7099
7	a=-0,007983 b=0,00001223	0,9918	0,0298	8,7973	a=-0,02144 b=0,0001104	0,9927	0,0290	8,7600	a=-0,02626 b=0,0001583	0,9946	0,0251	7,2697
8	a=3,697 k=0,005906 b=0,7402	0,9696	0,0575	31,8165	a=4,751 k=0,01137 b=0,7288	0,9887	0,0361	12,5297	a=4,659 k=0,01233 b=0,6647	0,9922	0,0303	9,3916
9	a=0,992 k=0,000922 n=1,533 b=-0,0004115	0,9997	0,0054	0,1424	a=1,003 k=0,005687 n=1,442 b=-0,0004038	0,9997	0,0062	0,3704	a=1,007 k=0,009594 n=1,366 b=-0,001079	0,9996	0,0064	0,7461
10	a=2,07 k=0,01924	0,9897	0,0334	10,8398	a=2,031 k=0,04728	0,9967	0,0196	3,6510	a=2,016 k=0,05863	0,9953	0,0235	5,7328

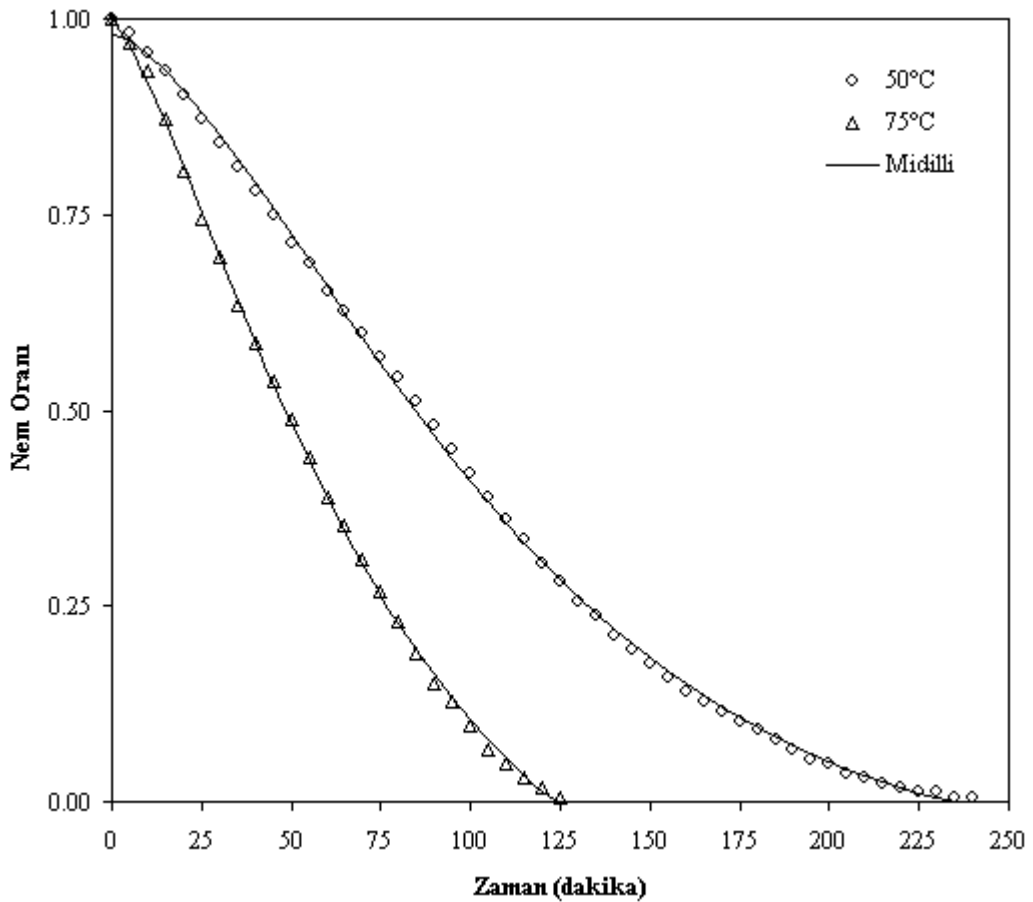
Çizelge 4.15 incelendiğinde mikrodalga-konvektif kombinasyonu kurutma yönteminde uygulanan tüm mikrodalga gücü ve sıcaklıklarla kurutulan patates küplerinin kurutulmasından elde edilen nem oranı değerlerini açıklamada kullanılan ve literatürde var olan 10 farklı ince tabaka kurutma modeli arasında en uygun istatistiksel parametreler 9 numaralı model olan Midilli modelinden elde edildiği görülmektedir. Bu modele göre 160W-50°C mikrodalga gücü ve sıcaklığı uygulaması için  $R^2=0,9997$ ,  $RMSE=0,0054$  ve  $\chi^2=0,2480 \times 10^{-4}$  değerleri elde edilirken, 160W-75°C mikrodalga gücü ve sıcaklığı uygulaması için  $R^2=0,9998$ ,  $RMSE=0,0044$  ve  $\chi^2=0,1470 \times 10^{-4}$  değerleri, 350W-50°C mikrodalga gücü ve sıcaklığı uygulaması için  $R^2=0,9996$ ,  $RMSE=0,0066$  ve  $\chi^2=0,5183 \times 10^{-4}$  değerleri ve son olarak 350W-75°C mikrodalga gücü ve sıcaklığı uygulaması için  $R^2=0,9996$ ,  $RMSE=0,0066$  ve  $\chi^2=0,3876 \times 10^{-4}$  değerleri elde edilmiştir. Elde edilen bu değerler Midilli modelinin, diğer modellere göre mikrodalga-konvektif kombinasyonu kurutma yöntemiyle kurutulan patates küplerinin nem oranı değerlerinin zamana göre değişimini en iyi açıklayan model olduğunu göstermiştir.

Mikrodalga-konvektif kombinasyonu kurutma yönteminde, 160W-50°C mikrodalga gücü ve sıcaklığıyla kurutulan patates örneklerinden elde edilen nem oranı değerleriyle geliştirilen modelden elde edilen nem oranı değerlerinin istatistiki olarak incelenmesi sonucu geliştirilen modele ait  $a=-0,02824$ ,  $k=-0,03082$ ,  $n=0,8077$  ve  $b=-0,00006731$  katsayı değerleri,  $R^2=0,9998$ ,  $RMSE=0,0045$  ve  $\chi^2=0,2404 \times 10^{-4}$  değerleri belirlenirken, 160W-75°C mikrodalga gücü ve sıcaklığı uygulamasıyla kurutulan patates örnekleri için  $a=-0,03472$ ,  $k=-0,03866$ ,  $n=0,7917$  ve  $b=-0,00009181$  katsayı değerleri,  $R^2=0,9994$ ,  $RMSE=0,0079$  ve  $\chi^2=0,4627 \times 10^{-4}$  değerleri, 350W-50°C mikrodalga gücü ve sıcaklığı uygulamasıyla kurutulan patates örnekleri için  $a=-0,04312$ ,  $k=-0,0487$ ,  $n=0,6768$  ve  $b=0,0001281$  katsayı değerleri,  $R^2=0,9995$ ,  $RMSE=0,0074$  ve  $\chi^2=0,6695 \times 10^{-4}$  değerleri ve 350W-75°C mikrodalga gücü ve sıcaklığı uygulamasıyla kurutulan patates örnekleri için  $a=-0,03949$ ,  $k=-0,04649$ ,  $n=0,5514$  ve  $b=0,0002148$  katsayı değerleri,  $R^2=0,9998$ ,  $RMSE=0,0050$  ve  $\chi^2=0,2959 \times 10^{-4}$  değerleri belirlenmiştir. Geliştirilen modelden elde edilen bu değerler ile literatürde var olan ve bu çalışmada uygulanan diğer 10 modelden elde edilen değerlerle karşılaştırıldığında, tüm istatistiki değerlere göre 160W-50°C ve

**Çizelge 4.15.** Patates örneklerinin farklı mikrodalga-konvektif kombinasyonlarıyla kurutulmasında uygulanan modellerden elde edilen katsayı ve istatistiksel analiz sonuçları

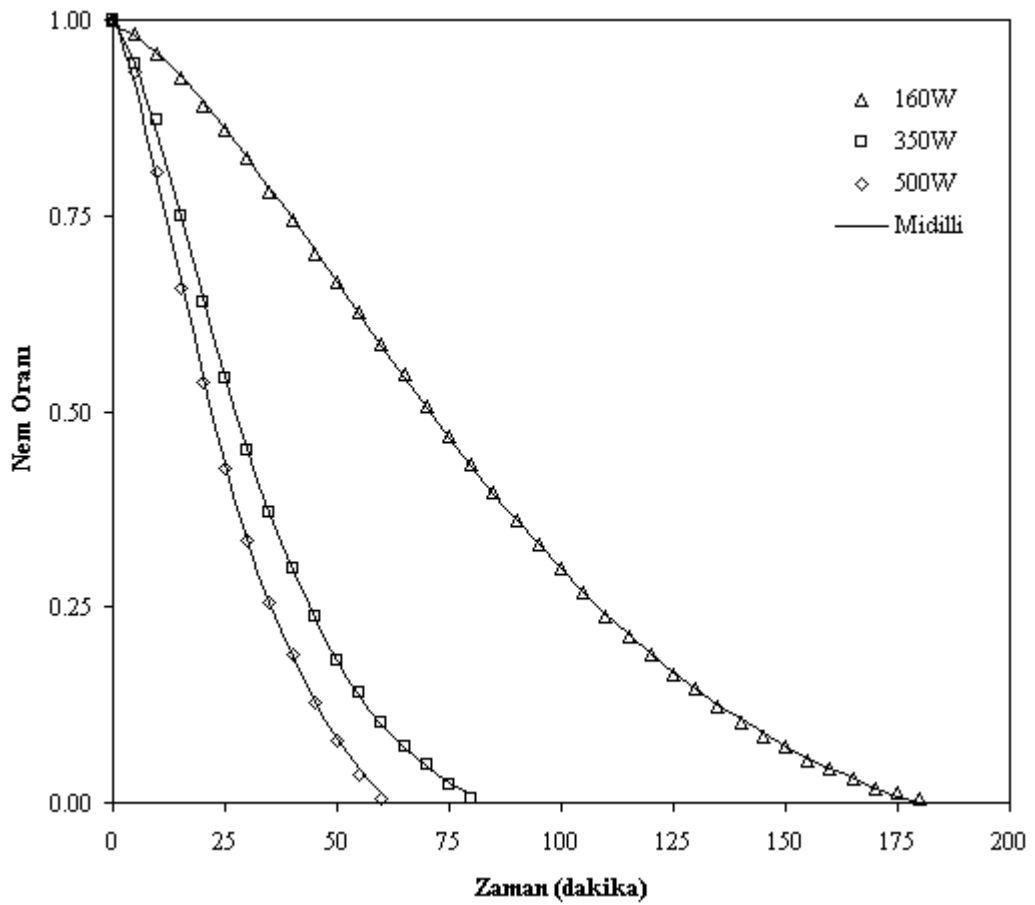
No	160W-50°C				160W-75°C				350W-50°C				350W-75°C			
	Model Katsayıları	R <sup>2</sup>	RMSE	$\chi^2$ (10 <sup>-4</sup> )	Model Katsayıları	R <sup>2</sup>	RMSE	$\chi^2$ (10 <sup>-4</sup> )	Model Katsayıları	R <sup>2</sup>	RMSE	$\chi^2$ (10 <sup>-4</sup> )	Model Katsayıları	R <sup>2</sup>	RMSE	$\chi^2$ (10 <sup>-4</sup> )
1	a=1,136 k=0,01947	0,9504	0,0736	54,3536	a=1,131 k=0,02293	0,9494	0,0747	56,1137	a=1,11 k=0,0336	0,9543	0,0720	53,1941	a=1,104 k=-0,03928	0,9500	0,0768	58,8486
2	k=0,01705	0,9288	0,0883	77,6264	k=0,02015	0,9291	0,0884	79,0374	k=0,03017	0,9408	0,0820	68,3511	k=0,03547	0,9386	0,0850	71,7370
3	k=0,001131 n=1,662	0,9961	0,0206	4,2349	k=0,00146 n=1,67	0,9971	0,0178	3,5624	k=0,00376 n=1,589	0,9960	0,0212	4,9343	k=0,004589 n=1,605	0,9946	0,0252	6,6260
4	k=0,01686 n=1,662	0,9961	0,0206	4,2348	k=0,02003 n=1,67	0,9971	0,0178	3,5624	k=0,02979 n=1,589	0,9960	0,0212	4,9344	k=0,03495 n=1,605	0,9946	0,0252	6,6260
5	a=2,081 k=0,006335 c=-1,032	0,9958	0,0215	4,5877	a=2,149 k=0,007213 c=-1,101	0,9949	0,0237	4,9719	a=1,944 k=0,01191 c=-0,9059	0,9963	0,0204	4,1721	a=2,092 k=0,01262 c=-1,059	0,9968	0,0195	3,5179
6	a=64,79 k <sub>0</sub> =0,01958 b=-63,81 k <sub>1</sub> =0,01963	0,9164	0,0956	91,0645	a=20,3 k <sub>0</sub> =0,04396 b=-19,3 k <sub>1</sub> =0,04641	0,9909	0,0317	10,5332	a=72,19 k <sub>0</sub> =0,03886 b=-71,21 k <sub>1</sub> =0,03903	0,9271	0,0910	84,5184	a=33,69 k <sub>0</sub> =0,03781 b=-32,7 k <sub>1</sub> =0,03792	0,9113	0,1022	103,7366
7	a=-0,01124 b=0,00001968	0,9936	0,0265	6,8545	a=-0,01327 b=0,00002637	0,9927	0,0283	7,5049	a=-0,02033 b=0,00007349	0,9953	0,0232	5,2470	a=-0,02355 b=0,00009263	0,9960	0,0218	4,3419
8	a=4,126 k=0,008092 b=0,7479	0,9679	0,0593	33,3389	a=4,185 k=0,009536 b=0,75	0,9664	0,0608	35,3843	a=5,105 k=0,01239 b=0,7596	0,9806	0,0469	20,4379	a=6,26 k=0,0154 b=0,8243	0,9744	0,0549	26,5773
9	a=0,9955 k=0,001866 n=1,487 b=-0,0009836	0,9997	0,0054	0,2480	a=0,9934 k=0,002105 n=1,529 b=-0,0009944	0,9998	0,0044	0,1470	a=1,002 k=0,006182 n=1,385 b=-0,001898	0,9996	0,0066	0,5183	a=1,003 k=0,007984 n=1,36 b=-0,002763	0,9996	0,0066	0,3876
10	a=2,068 k=0,02813	0,9877	0,0367	13,5532	a=2,074 k=0,03348	0,9891	0,0347	12,4840	a=2,039 k=0,04903	0,9900	0,0336	12,1411	a=2,043 k=0,05768	0,9876	0,0382	14,7894

350W-75°C mikrodalga güçleri ve sıcaklıkları uygulamalarıyla kurutulan patates küplerinden elde edilen nem oranı değerlerini en iyi açıklayan model geliştirilen model olurken, 160W-75°C ve 350W-50°C mikrodalga güçleri ve sıcaklıkları uygulamalarıyla kurutulan patates örneklerinden elde edilen nem oranı değerlerini en iyi açıklayan model Midilli modeli olmuştur. Ayrıca 160W-75°C ve 350W-50°C mikrodalga güç ve sıcaklıkları uygulamalarıyla kurutulan patates örneklerinden elde edilen nem oranı değerlerini açıklamada geliştirilen model en iyi ikinci değerleri sağlamıştır. Sonuç olarak geliştirilen model diğer modellere göre mikrodalga-konvektif yöntemiyle kurutulan patates örneklerinin nem oranı değerlerinin zamana göre değişimini yeterli düzeyde açıklamıştır.



**Şekil 4.63.** Farklı sıcaklıklarla kurutulan patates örneklerinin deneysel nem oranı değerleri ile Midilli modelinden elde edilen tahmini nem oranı değerlerinin zamanla değişimi

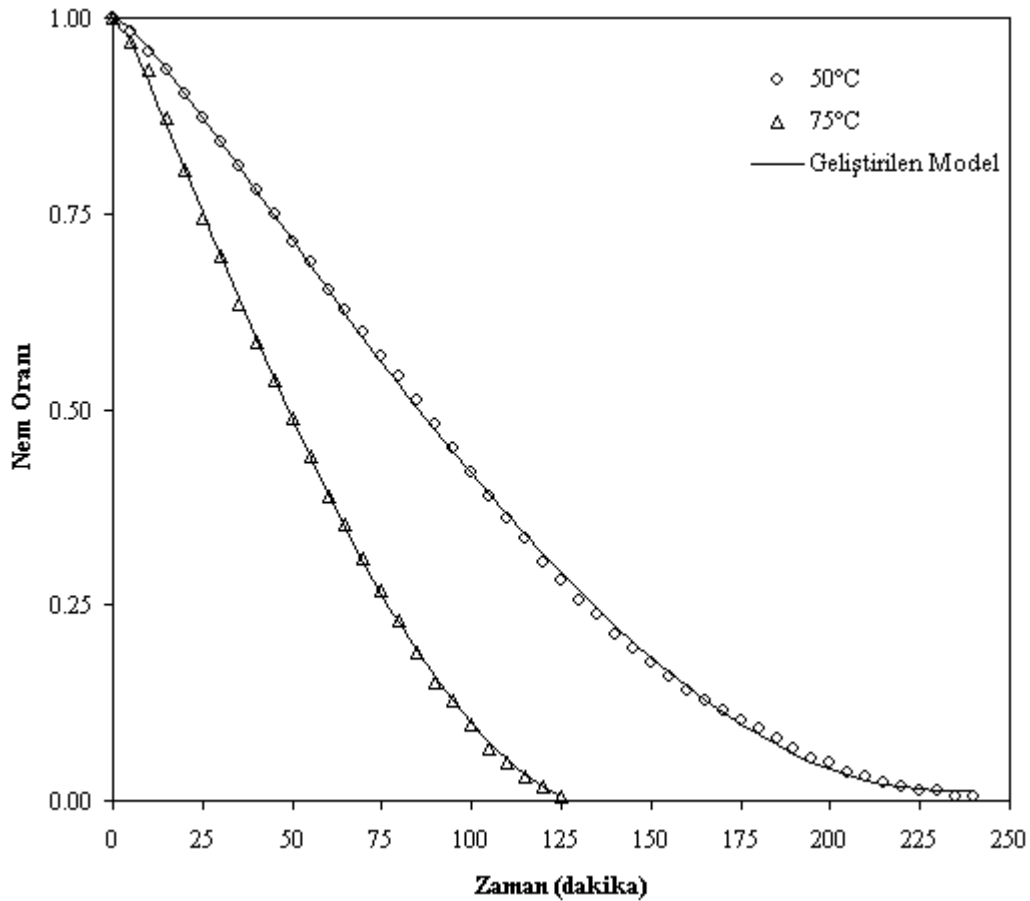
Konvektif kurutma yöntemiyle kurutmada 50 ve 75°C sıcaklıklarla, mikrodalga kurutmada 160, 350 ve 500W mikrodalga güçleri kullanılarak kurutulan patates küplerinden elden edilen nem oranı değerleri ile bu değerleri en iyi açıklayan literatürde bulunan ve bu çalışmada uygulanan modeller arasında en uygun model olan Midilli modelinden elde edilen tahmini nem oranı değerlerinin zamanla değişimi Şekiller 4.63-64'de sunulmuştur. Şekillerden anlaşılacağı gibi uygulanan 10 model arasından en uygun model olan Midilli modelinden elde edilen sonuçlar ile deneysel sonuçların birbirine oldukça yakın oldukları görülmektedir.



**Şekil 4.64.** Farklı mikrodalga güçleriyle kurutulan patates örneklerinin deneysel nem oranı değerleri ile Midilli modelinden elde edilen tahmini nem oranı değerlerinin zamanla değişimi

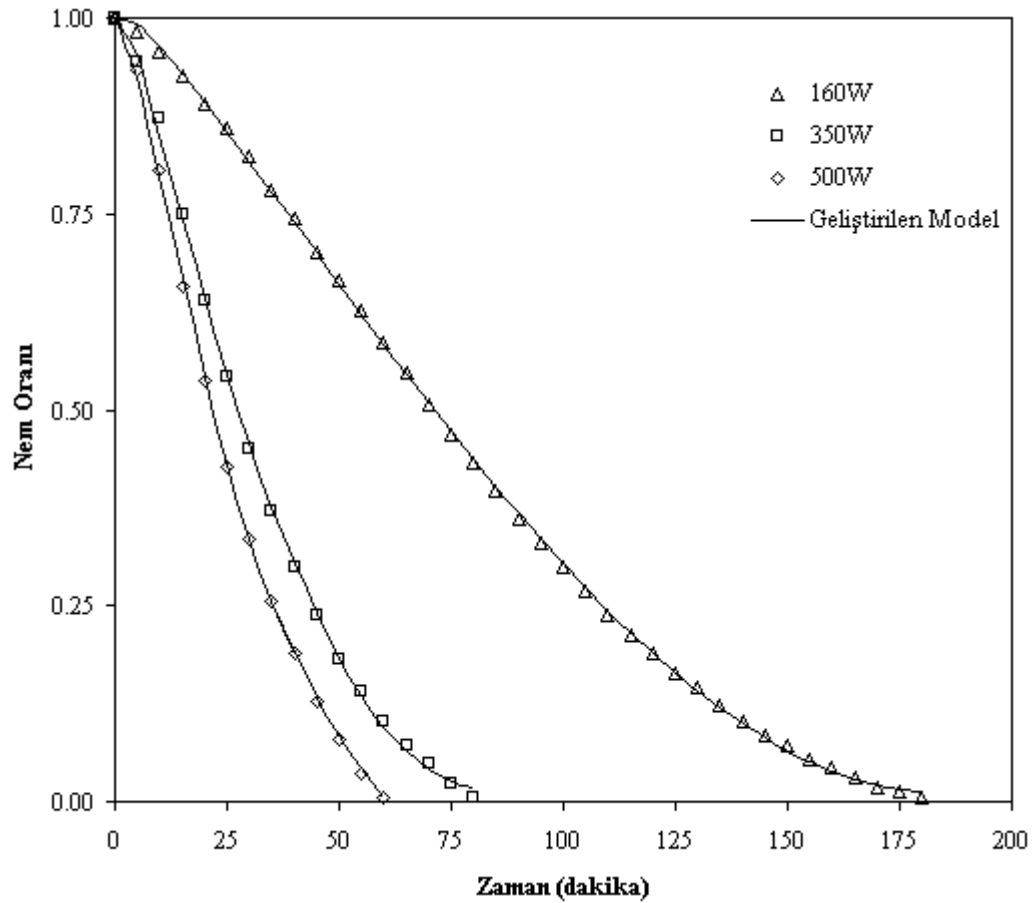
Daha önce yapılan çalışmalar incelendiğinde, Akpınar (2006) 60, 70 ve 80°C sıcaklıklarla patates, elma ve kabak dilimlerini kurutarak elde ettiği deneysel sonuçları uygulamış olduğu 13 farklı model arasında en iyi açıklayan modelin Midilli modeli olduğunu bildirmiştir. Cihan ve ark. (2007) çeltik, Taheri-Garavanda ve ark. (2011a)

domates, Meisami-asl, ve ark. (2010) elma dilimleri ve Mohammadi ve ark. (2009) kivi dilimlerini farklı sıcaklıklarla kurutarak elde ettikleri deneysel sonuçları uygulamış oldukları farklı modeller arasında en iyi açıklayan modelin Midilli modeli olduğunu bildirmişlerdir. Daha önce yapılan mikrodalga kurutma çalışmaları incelendiğinde, Darvishi (2012) 5, 10, 15 ve 20 W/g mikrodalga gücü yoğunluklarıyla patates dilimlerini kurutarak elde ettiği deneysel sonuçları uygulamış olduğu 6 farklı model arasında en iyi açıklayan modelin Midilli modeli olduğunu bildirmiştir. Murthy ve Manohar (2012) 315, 455, 595 ve 800W mikrodalga güçlerinde Mango dilimlerini kurutarak elde ettiği deneysel sonuçlarını uygulamış olduğu 15 farklı model arasında en iyi açıklayan modelin Midilli modeli olduğunu bildirmiştir. Evin (2012) 90, 180, 360, 600 ve 800W mikrodalga güçlerinde *Gundelia tournefortii* L. bitkisini kurutarak elde ettiği deneysel sonuçlarını uygulamış olduğu 14 farklı model arasında en iyi açıklayan modelin Midilli modeli olduğunu bildirmiştir.



**Şekil 4.65.** Farklı sıcaklıklarla kurutulan patates örneklerinin deneysel nem oranı değerleri ile geliştirilen modelden elde edilen tahmini nem oranı değerlerinin zamanla değişimi

Şekil 4.65’de konvektif yöntemde 50 ve 75°C sıcaklıklarla ve Şekil 4.66’da mikrodalga kurutma yönteminde 160, 350 ve 500W mikrodalga güçleriyle kurutulan patates örneklerinden deneysel olarak elde edilen nem oranı değerleri ile bu değerleri açıklayan geliştirilen modelden elde edilen tahmini nem oranı değerlerinin zamanla değişimi sergilenmektedir. Şekillerden de açıkça anlaşılacağı gibi, geliştirilen modelden elde edilen tahmini değerlerle deneysel olarak elde edilen değerlerin birbirlerine oldukça yakın oldukları görülmektedir.

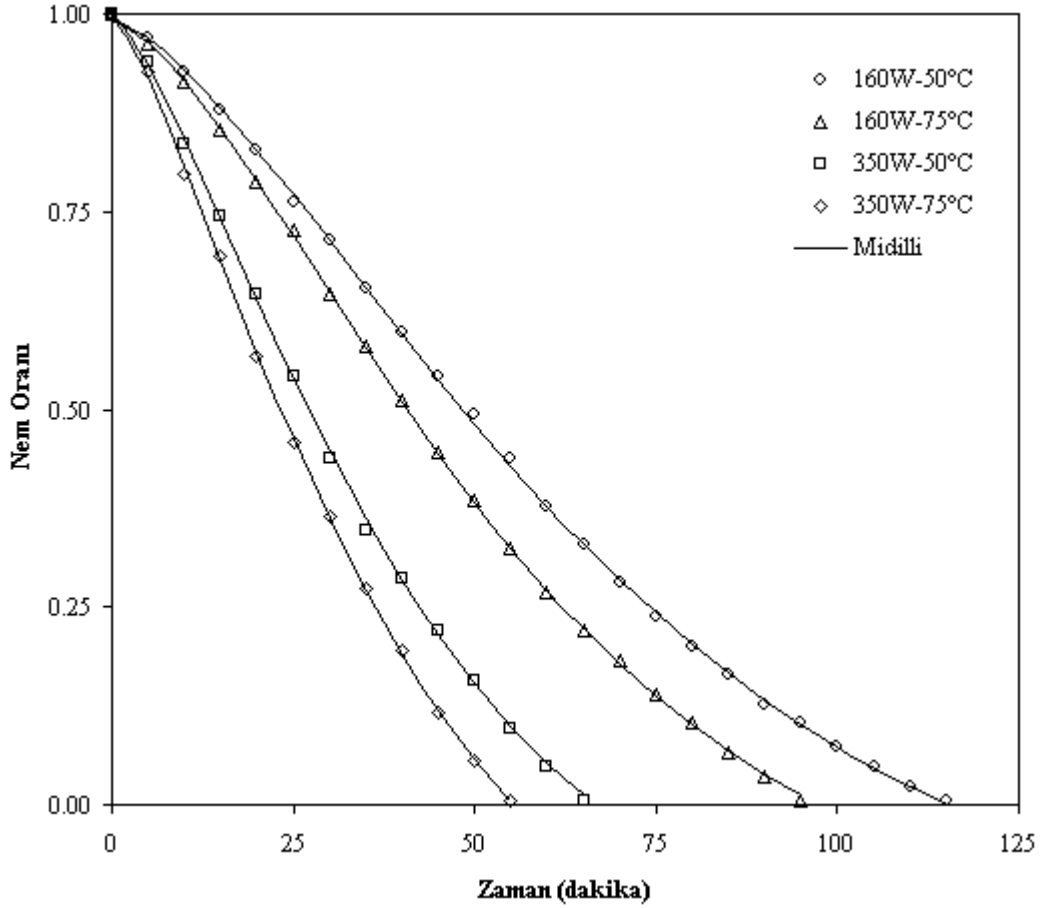


**Şekil 4.66.** Farklı mikrodalga güçleriyle kurutulan patates örneklerinin deneysel nem oranı değerleri ile geliştirilen modelden elde edilen tahmini nem oranı değerlerinin zamanla değişimi

Şekil 4.67’de mikrodalga-konvektif kombinasyonu kurutma yöntemiyle 160W-50°C, 160W-75°C, 350W-50°C ve 350W-75°C mikrodalga gücü ve sıcaklıklarıyla kurutulan patates örneklerinden deneysel olarak elde edilen nem oranı değerlerinin zamanla değişiminin Midilli modeli ile açıklanması sergilenmiştir. Şekilde de görüldüğü gibi,

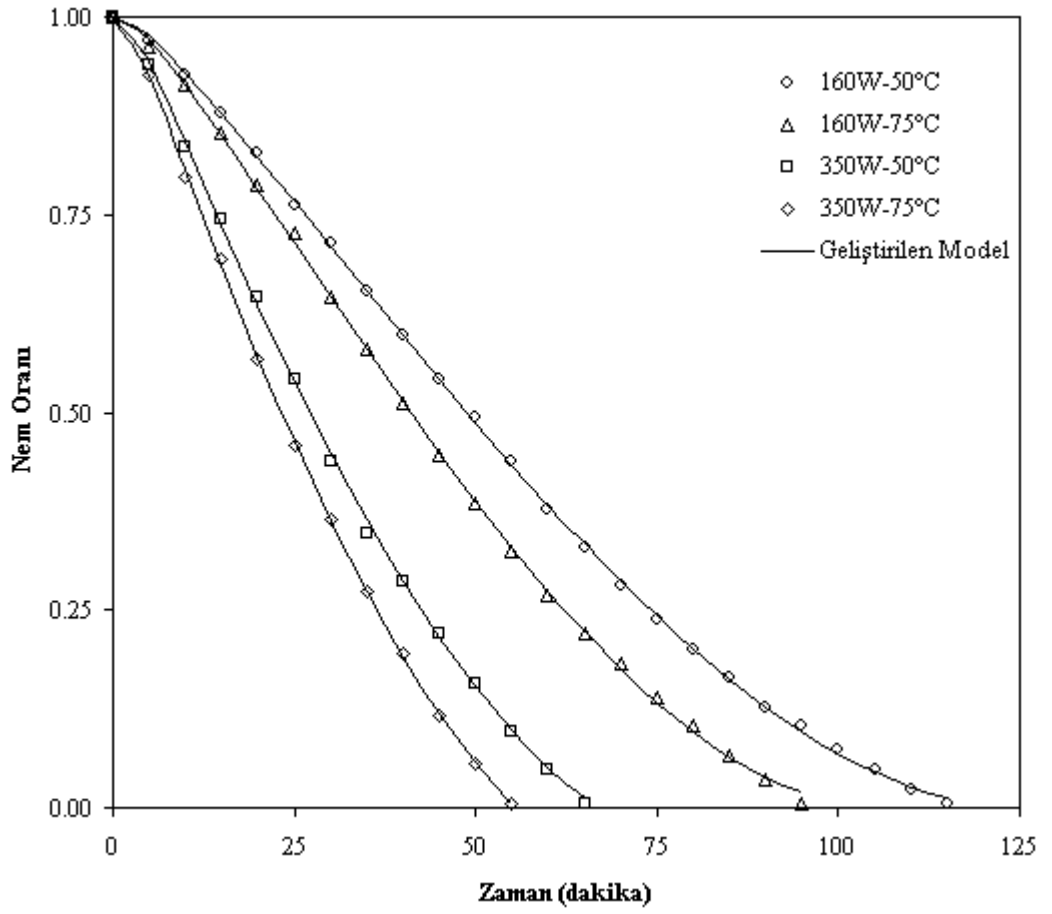


Midilli modelinden elde edilen sonuçlar ile deneysel sonuçların birbirlerine oldukça yakın oldukları görülmektedir.



**Şekil 4.67.** Farklı mikrodalga-konvektif kombinasyonlarıyla kurutulan patates örneklerinin deneysel nem oranı değerleri ile Midilli modelinden elde edilen tahmini nem oranı değerlerinin zamanla değişimi

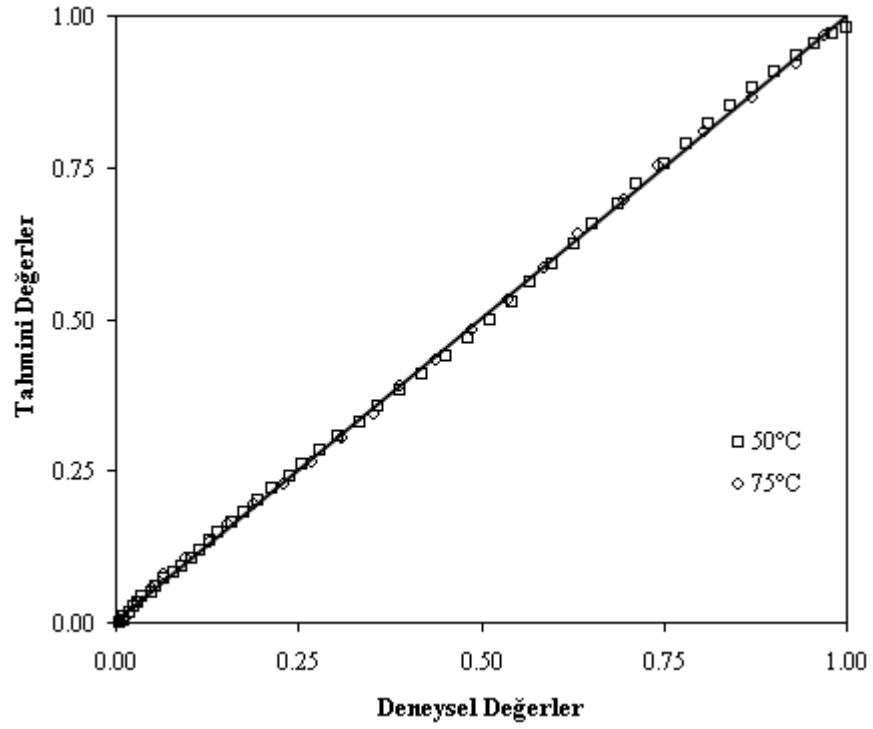
Şekil 4.68’de mikrodalga-konvektif kombinasyonu kurutma yöntemiyle 160W-50°C, 160W-75°C, 350W-50°C ve 350W-75°C mikrodalga gücü ve sıcaklıklarıyla kurutulan patates örneklerinden deneysel olarak elde edilen nem oranı değerlerinin zamanla değişiminin geliştirilen model ile açıklanması sergilenmiştir. Şekilde de görüldüğü gibi geliştirilen modelden elde edilen sonuçlar ile deneysel sonuçlar birbirlerine oldukça yakın oldukları görülmektedir. Bu şekilde mikrodalga-konvektif kombinasyonu kurutma yöntemiyle farklı mikrodalga güçleri ve sıcaklıklarıyla kurutulan patates küplerinden elde edilen nem oranı değerlerini tanımlayan geliştirilen modelin kabul edilebilirliği görsel olarak ispatlanmıştır.



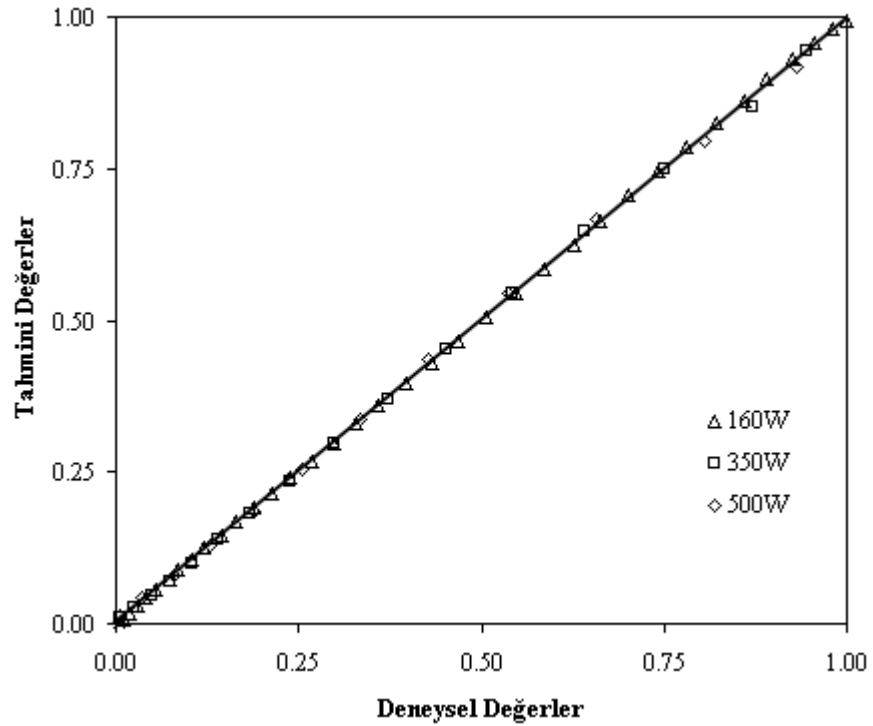
**Şekil 4.68.** Farklı mikrodalga-konvektif kombinasyonlarıyla kurutulmuş patates örneklerinin deneysel nem oranı değerleri ile geliştirilen modelden elde edilen tahmini nem oranı değerlerinin zamanla değişimi

Şekiller 4.69-71’de patates küplerinin kurutulmasında uygulanan konvektif, mikrodalga ve mikrodalga-konvektif kombinasyonu kurutma yöntemleriyle elde edilen deneysel değerler ile Midilli modelinden elde edilen tahmini değerleri sergilenmektedir. Verilerin  $45^\circ$  açıyla çizilmiş bir çizginin etrafında toplandığı görülmektedir. Sonuç olarak Midilli modeli patates küplerini kurutma sonuçlarını yeterli düzeyde tanımlamaktadır.

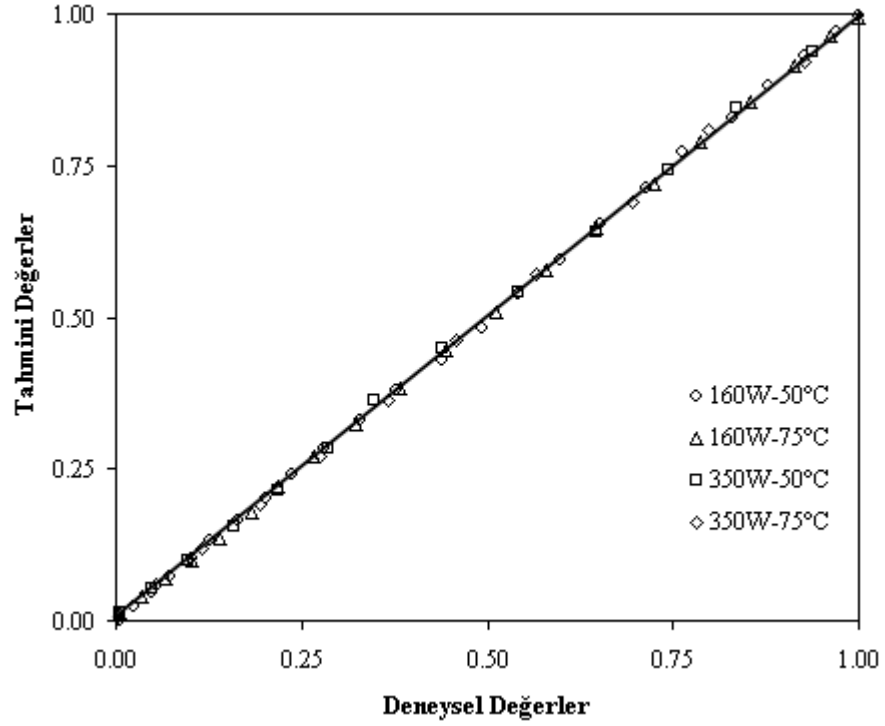
Patates küplerinin kurutulması çalışması sonucunda, patates örneklerinin konvektif, mikrodalga ve mikrodalga-konvektif kombinasyonu yöntemleriyle farklı sıcaklık ve mikrodalga güçleriyle kurutulmasından elde edilen nem oranı sonuçlarını literatürde bulunan ve bu çalışmada uygulanan 10 adet ince tabaka kurutma modelin arasında en uygun modelin Midilli modeli olduğu sonucuna varılmıştır.



**Şekil 4.69.** Farklı sıcaklıklarla kurutulan patates örneklerinin deneysel nem oranı değerleri ile Midilli modelinden elde edilen tahmini nem oranı değerlerinin karşılaştırılması



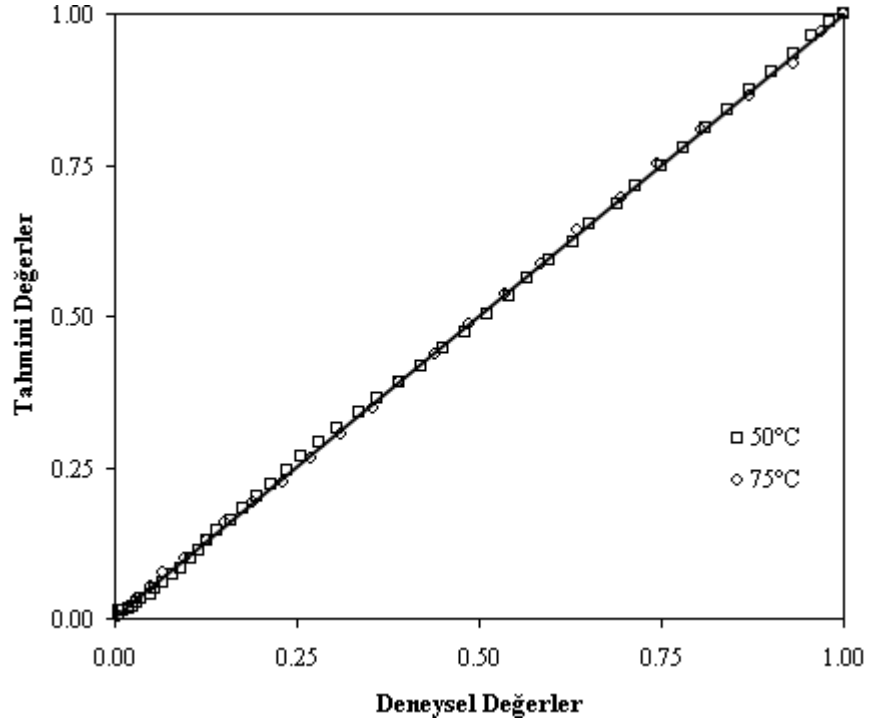
**Şekil 4.70.** Farklı mikrodalga güçleriyle kurutulan patates örneklerinin deneysel nem oranı değerleri ile Midilli modelinden elde edilen tahmini nem oranı değerlerinin karşılaştırılması



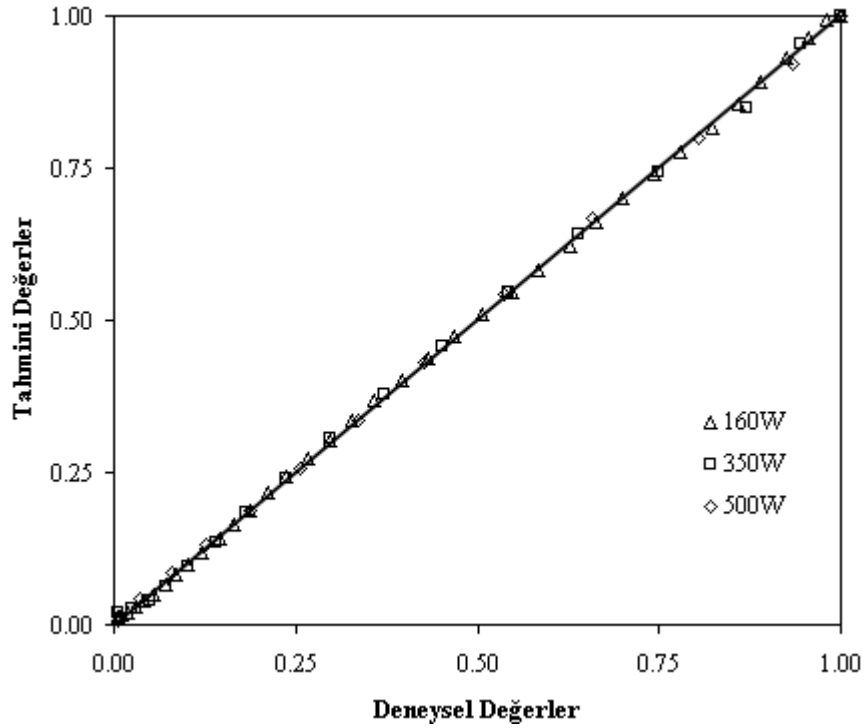
**Şekil 4.71.** Farklı mikrodalga-konvektif kombinasyonlarıyla kurutulmuş patates örneklerinin deneysel nem oranı değerleri ile Midilli modelinden elde edilen tahmini nem oranı değerlerinin karşılaştırılması

Şekiller 4.72-74’de patates küplerinin kurutulmasında uygulanan konvektif, mikrodalga ve mikrodalga-konvektif kombinasyonu kurutma yöntemleriyle elde edilen deneysel değerler ile geliştirilen modelden elde edilen tahmini değerleri sergilenmektedir. Verilerin 45° açıyla çizilmiş bir çizginin etrafında toplandığı görülmektedir. Sonuç olarak geliştirilen model patates küplerini kurutma sonuçlarını yeterli düzeyde tanımlamaktadır.

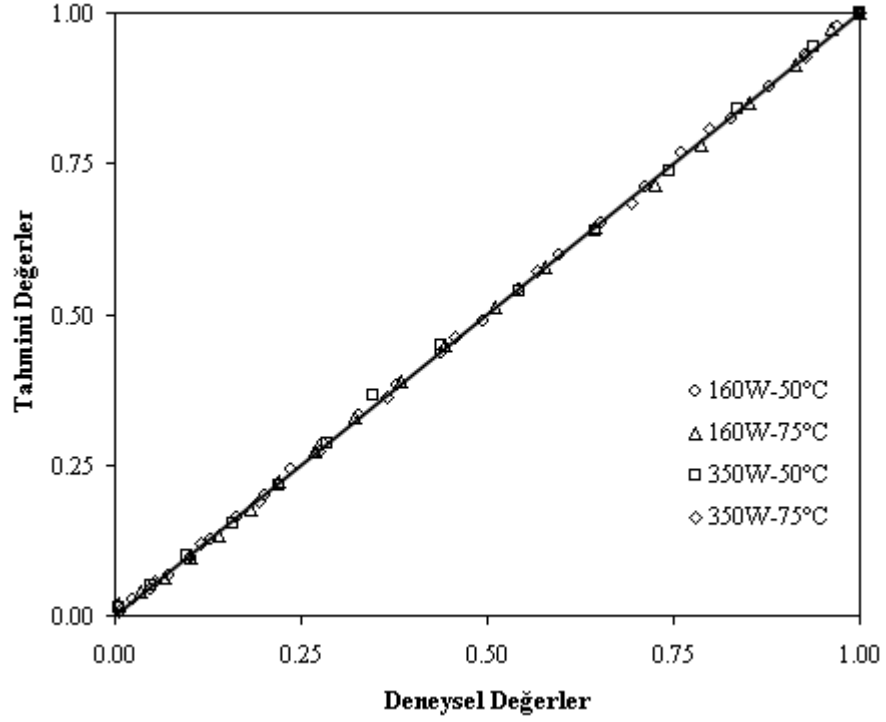
Sonuç olarak, patateslerin tüm kurutma sonuçları geliştirilen model ve bu çalışmada uygulanan 10 farklı model arasında konvektif yöntemle 50 ve 75°C sıcaklıklarda, mikrodalga yöntemle 160 ve 500W mikrodalga güçlerinde ve mikrodalga-konvektif kombinasyonu yöntemiyle 160W-50°C ve 350W-75°C mikrodalga gücü ve sıcaklıkta geliştirilen modelden elde edilen değerler en iyi şekilde tanımlarken, 350W mikrodalga gücü, 160W-75°C ve 350W-50°C mikrodalga güç ve sıcaklığı uygulamalarında Midilli modeli en iyi şekilde tanımlamaktadır. Ayrıca geliştirilen model Midilli modelinin daha uygun olduğu uygulamalarda ikinci en iyi değerlere sahiptir. Bu durum geliştirilen modelin diğer kurutma çalışmaları için alternatif bir model olduğunu göstermektedir.



**Şekil 4.72.** Farklı sıcaklıklarla kurutulan patates örneklerinin deneysel nem oranı değerleri ile geliştirilen modelden elde edilen tahmini nem oranı değerlerinin karşılaştırılması



**Şekil 4.73.** Farklı mikrodalga güçleriyle kurutulan patates örneklerinin deneysel nem oranı değerleri ile geliştirilen modelden elde edilen tahmini nem oranı değerlerinin karşılaştırılması



**Şekil 4.74.** Farklı mikrodalga-konvektif kombinasyonlarıyla kurutulmuş patates örneklerinin deneysel nem oranı değerleri ile geliştirilen modelden elde edilen tahmini nem oranı değerlerinin karşılaştırılması

#### 4.4.4. Patates ürününün renk analiz sonuçları

Konvektif, mikrodalga, mikrodalga-konvektif kombinasyonu kurutma yöntemleriyle kurutulmuş ve taze patateslere ait renk parametrelerinin sonuçları Çizelge 4.16’da sunulmuştur. Gıdaların kurutulması sırasında, gıdaların rengini veren pigmentler, ısı ile bozularak okside olmaktadır. Bu durum gıdaların renklerinde değişimlere yol açmaktadır. Genel olarak, uzun kurutma süreleri ve yüksek sıcaklıklar pigmentlerin daha çok bozulmasına ve gıdaların renklerinin daha çok değişmesine neden olmaktadır (DeMan 1999). Kurutma denemelerinde kabuğu soyulup, küp haline getirilerek kurutma işlemine tabi tutulan patates örnekleri polifenol oksidaz enzim faaliyeti ve uzun kurutma süresinden dolayı havadaki oksijenle reaksiyona girerek örneklerin renklerinde değişimlere neden olan oksidasyon reaksiyonlarına daha fazla maruz kalmış olup, bu nedenden dolayı aşırı kahverengileşmenin gerçekleştiği 90W mikrodalga güç seviyesindeki uygulama değerlendirmeye alınmamıştır.

**Çizelge 4.16.** Farklı kurutma yöntemleriyle kurutulan patates örneklerinin renk değerleri

Kurutma Yöntemi	Renk Parametreleri				
	L*	a*	b*	C	$\alpha,^\circ$
Taze	76,690(0,130) <sup>a</sup>	5,307(0,025) <sup>h</sup>	44,877(0,195) <sup>a</sup>	45,189(0,191) <sup>a</sup>	83,298(0,058) <sup>a</sup>
Konvektif					
50°C	69,873(0,015) <sup>b</sup>	5,577(0,006) <sup>g</sup>	36,700(0,010) <sup>b</sup>	37,121(0,009) <sup>b</sup>	81,401(0,011) <sup>b</sup>
75°C	67,447(0,332) <sup>c</sup>	5,940(0,165) <sup>f</sup>	32,057(0,136) <sup>d</sup>	32,603(0,107) <sup>e</sup>	79,542(0,326) <sup>c</sup>
Mikrodalga					
160W	65,213(0,107) <sup>d</sup>	6,117(0,084) <sup>f</sup>	30,747(0,047) <sup>f</sup>	31,349(0,031) <sup>fg</sup>	78,788(0,167) <sup>d</sup>
350W	57,833(0,131) <sup>f</sup>	7,733(0,065) <sup>e</sup>	30,770(0,166) <sup>f</sup>	31,727(0,176) <sup>f</sup>	75,931(0,051) <sup>e</sup>
500W	53,037(0,042) <sup>i</sup>	8,943(0,015) <sup>c</sup>	29,760(0,144) <sup>g</sup>	31,075(0,138) <sup>g</sup>	73,311(0,084) <sup>g</sup>
Mikrodalga Konvektif					
Kombinasyonu					
160W-50°C	58,500(0,036) <sup>e</sup>	8,793(0,006) <sup>c</sup>	31,883(0,015) <sup>d</sup>	33,074(0,014) <sup>d</sup>	74,619(0,016) <sup>f</sup>
160W-75°C	57,167(0,280) <sup>g</sup>	8,377(0,165) <sup>d</sup>	33,237(0,374) <sup>c</sup>	34,276(0,389) <sup>c</sup>	75,893(0,214) <sup>e</sup>
350W-50°C	54,780(0,056) <sup>h</sup>	9,847(0,064) <sup>b</sup>	31,293(0,387) <sup>e</sup>	32,806(0,388) <sup>de</sup>	72,569(0,097) <sup>h</sup>
350W-75°C	52,403(0,193) <sup>j</sup>	10,353(0,081) <sup>a</sup>	28,567(0,153) <sup>h</sup>	30,385(0,167) <sup>h</sup>	70,114(0,086) <sup>i</sup>

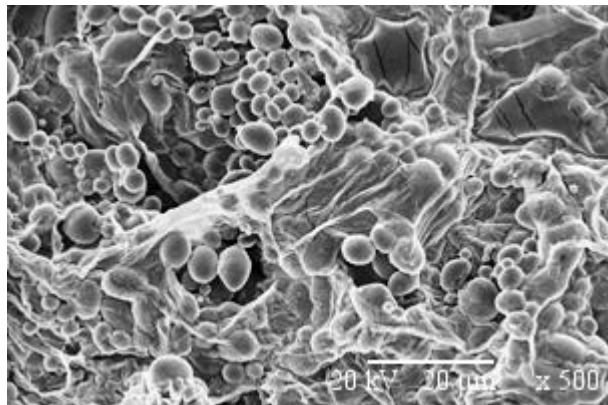
Her bir renk parametresi sütunun istatistiği ayrı ayrı uygulanmıştır ve aynı sütunda farklı harfler taşıyan ortalamalar arasındaki farklılıklar önemlidir ( $P<0,01$ ).

Genel olarak uygulanan bütün kurutma işlemleri sonucu patates örneklerinin L\* ve b\* değerlerinde bir düşme meydana gelirken, a\* değerlerinde artış gözlemlenmektedir. Taze patatesin L\*, a\* ve b\* değerlerine en yakın değerler konvektif kurutmada 50°C sıcaklıkla kurutulan patates örneklerinden elde edilirken, en uzak değerler ise 350W-75°C mikrodalga-konvektif kombinasyonu kurutma yöntemiyle kurutulan patates örneklerinden elde edilmiştir. Taze patates örneklerinin L\*, a\* ve b\* değerleri sırasıyla 76,690, 5,307 ve 44,877 iken, 350W-75°C mikrodalga-konvektif kombinasyonu kurutma yöntemiyle kurutulan patates örneklerinin L\* ve b\* değerleri sırasıyla 52,403 ve 28,567'ye düşmüş, kırmızılık a\* değeri ise 10,353'e yükselmiş olup, bu azalma ve artmalar istatistiki olarak önemli bulunmuştur ( $P<0,01$ ). Uygulanan üç farklı kurutma yönteminde en az renk kaybı konvektif kurutma yönteminde gözlemlenirken, mikrodalga ile kurutulan örneklerin renk değerleri mikrodalga-sıcak hava kombine yöntemiyle kurutulan örneklerden daha başarılı bulunmuştur. Taze örneklerin renk doygunluğu ve renk tonunun ölçüsü olan Kroma (C) ve Hue açısı ( $\alpha$ ) değerleri sırasıyla

45,189 ve 83,298 olarak hesaplanmıştır. En düşük  $C$  ve  $\alpha$  değerleri 350W-75°C mikrodalga-konvektif kombinasyonu uygulamasıyla kurutulan örneklerde gerçekleşmiştir ve bu değerler sırasıyla yaklaşık %32 ve %15 oranında azalmayı ifade etmektedir. Taze ve kurutulmuş patates örneklerinin  $\alpha$  değerleri 0-90° açı değerleri arasında yer almakta olup, 70,114° ile 83,298° değerleri arasında değişim göstermiştir. Konvektif yöntemde 50°C sıcaklık uygulamasıyla kurutulan domates örneklerinin  $C$  ve  $\alpha$  değerleri taze patates örneklerine en yakın değerler olarak bulunmuştur. Elde edilen sonuçlara göre tüm kurutma şartları altında kurutulan patates örneklerinde kurutulmamış taze patates örneklerine göre renk doygunluklarında azalma ve donuklaşmalar meydana geldiği belirlenmiştir.

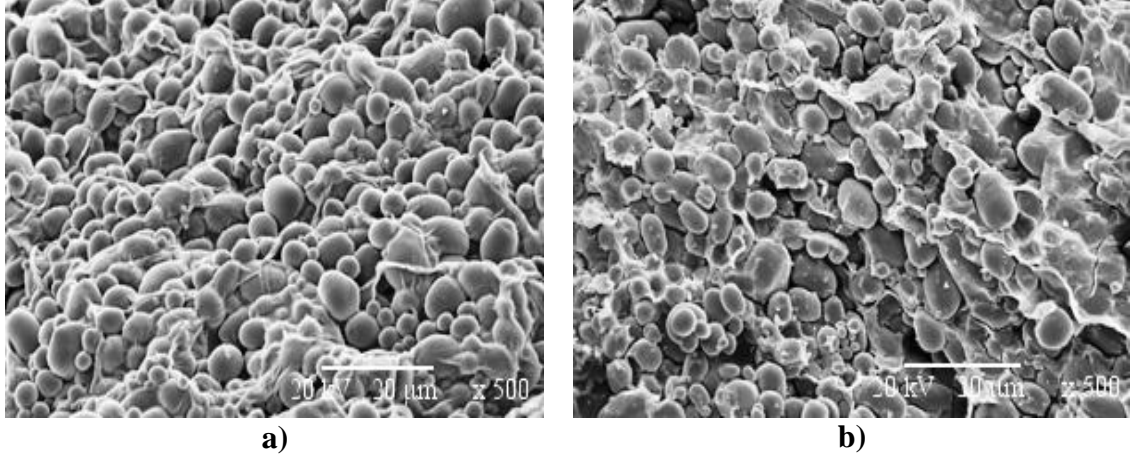
#### 4.4.5. Patates ürününün mikroyapı analiz sonuçları

Kurutulmamış taze patates örnekleri ve konvektif, mikrodalga ve mikrodalga-konvektif kombinasyonu kurutma yöntemleri kullanılarak kurutulan patates örneklerine ait taramalı elektron mikroskobu görüntüleri Şekiller 4.75-78'de sunulmuştur. Bu görüntüler karşılaştırıldığında, kurutulmamış patates küplerinin mikroyapılarıyla bazı düşük mikrodalga ve sıcaklıklarla kurutulan patates küplerinin mikroyapıları arasında belirgin farklılıklar görülmemektedir. Ancak özellikle yüksek mikrodalga gücü ve sıcaklıklarda kurutulan patates küplerinin mikroyapılarında önemli değişiklikler meydana gelmiş, bu ürünlerin hücre duvarlarında ve nişasta granüllerinde çeşitli tahribatlar ortaya çıkmıştır.

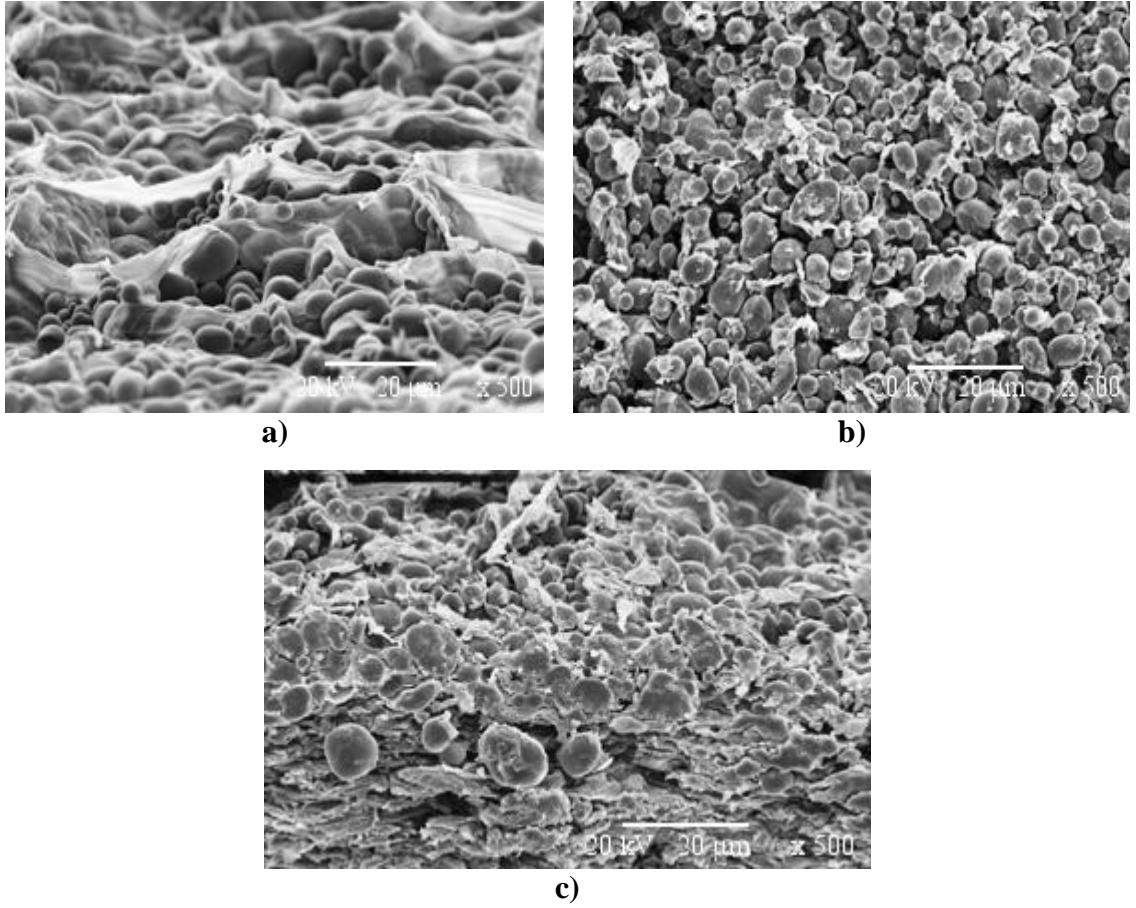


**Şekil 4.75.** Taze patates örneğinin taramalı elektron mikroskobu görüntüleri

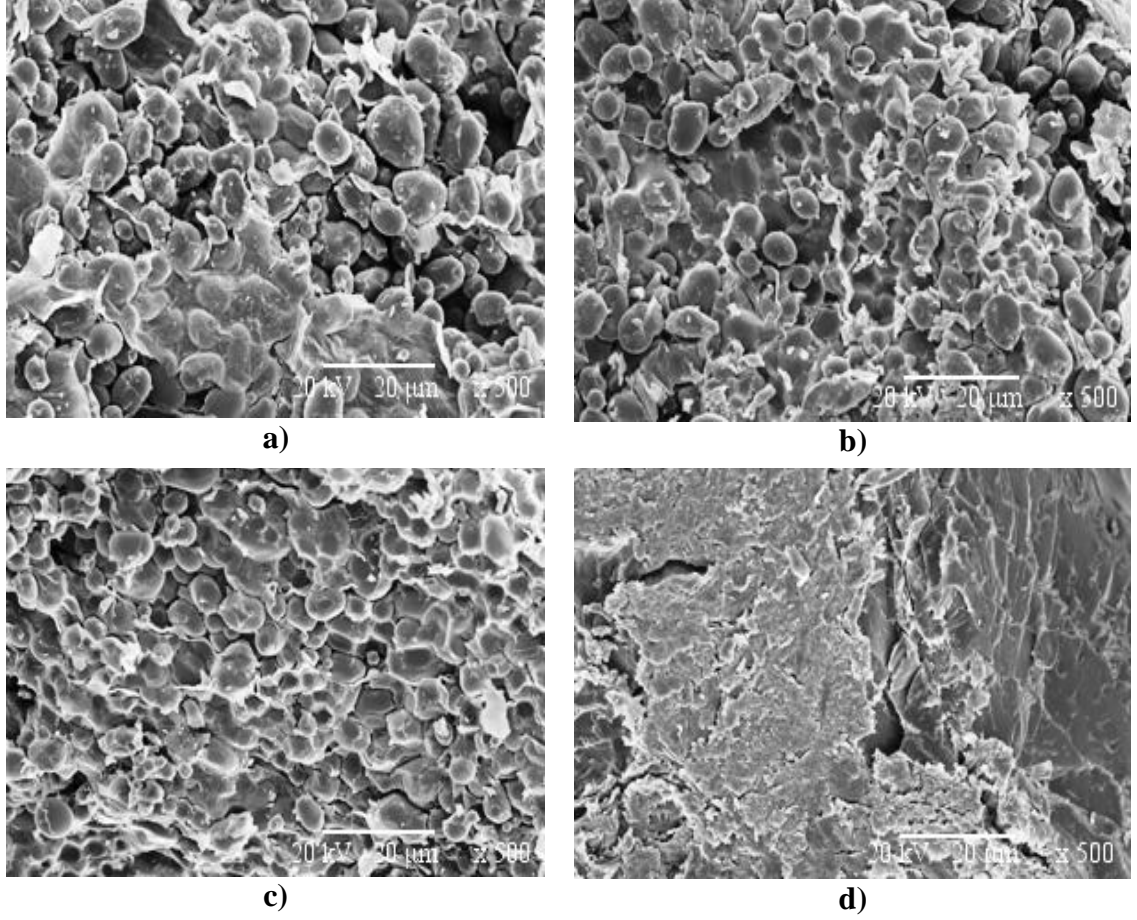




**Şekil 4.76.** Konvektif (50°C (a) ve 75°C (b)) yöntemle kurutulmuş patates örneklerinin taramalı elektron mikroskobu görüntüleri



**Şekil 4.77.** Mikrodalga (160W (a), 350W (b) ve 500W (c)) yöntemiyle kurutulmuş patates örneklerinin taramalı elektron mikroskobu görüntüleri



**Şekil 4.78.** Mikrodalga-konvektif (160W-50°C (a), 160W-75°C (b), 350W-50°C (c) ve 350W-75°C (d)) kombinasyonu yöntemiyle kurutulmuş patates örneklerinin taramalı elektron mikroskobu görüntüleri

Daha önce yapılan çalışmalar incelendiğinde, Bondaruk ve ark. (2007) kurutulmuş oldukları patates küpleri üzerinde uygulamış oldukları iki farklı sıcaklığın etkisini incelemişler daha yüksek sıcaklıkta kurutulan patateslerin hücre duvarlarının ve nişasta granüllerinin daha fazla zarar gördüğünü bildirmişlerdir. Çeşitli araştırmacılar yapmış oldukları çalışmalarda benzer sonuçları bildirmişlerdir (Witrowa-Rajchert ve Rzaca 2009, Thuwapanichayanan ve ark. 2011, Vega-Gálvez ve ark. 2012). Ancak Luangmalawat ve ark. (2008) pişirilmiş pirinçleri, Therdthai ve Zhou (2009) nane yapraklarını konvektif kurutma yöntemiyle farklı sıcaklıklarda kurutmuşlar ve kurutulmuş oldukları örneklerin incelemiş oldukları taramalı elektron mikroskobu görüntülerinde belirgin farklılıklar olmadıklarını bildirmişlerdir. Ortaya çıkan bu durum her ürünün farklı mikroyapıya sahip olduğunun bir göstergesi şeklinde açıklanabilir.

## 5. SONUÇ

Bu tez çalışmasında, barbunya, domates, mantar ve patates gibi önemli tarımsal ürünlerin konvektif, mikrodalga ve mikrodalga-konvektif kombinasyonu kurutma yöntemleriyle kurutulmasında kurutma kinetikleri belirlenmiştir. Kurutulan ürünlerden deneysel olarak elde edilen nem oranı değerleriyle, literatürde bulunan ve bu tez çalışmasında kullanılan 10 farklı ince tabaka kurutma modeliyle tahmini olarak elde edilen nem oranı değerlerinin karşılaştırılması yapılmış ve deneysel verileri en iyi açıklayan kurutma modelleri ortaya konulmuştur. Ayrıca kullanılan 10 farklı ince tabaka kurutma modelinin yanı sıra bu modellere alternatif olabilecek Midilli ile Wang ve Singh modelleri esas alınarak yeni bir model geliştirilmiştir. Kurutulan ürünlerin renk ve mikroyapıları ayrıntılı şekilde incelenerek kalite parametreleri ortaya konulmuştur.

Tüm kurutma şartları için, yüksek mikrodalga güç ve sıcaklık uygulamalarıyla kurutulan barbunya, domates, mantar ve patates örneklerinden yüksek kuruma hızları elde edilmiş ve buna bağlı olarak yüksek mikrodalga güç ve sıcaklık uygulamalarıyla kurutulan örnekler daha düşük mikrodalga güç ve sıcaklık uygulamalarıyla kurutulan örneklere göre daha kısa sürede kurumuşlardır. Deneyselerde uygulanan 3 farklı kurutma yöntemi ile kurutulan barbunya, domates, mantar ve patates örneklerinin kuruma hızları ve kuruma süreleri açısından birbirleriyle karşılaştırıldıklarında, mikrodalga-konvektif kombinasyonu yöntemiyle kurutulan örneklerin, yalnızca mikrodalgayla ve yalnızca sıcak havayla kurutulan örneklere göre daha yüksek kuruma hızlarına sahip oldukları ve daha kısa sürede kurudukları tespit edilmiştir. Ayrıca tüm kurutma şartlarında düşük ve yüksek nem seviyelerinden elde edilen kuruma hızları ve kuruma süreleri karşılaştırıldığında ise, yüksek nem seviyelerinde elde edilen kuruma hızlarının düşük nem seviyelerinden elde edilen kuruma hızlarından daha yüksek olduğu ve buna bağlı olarak bu örneklerin kuruma sürelerinin daha kısa sürdüğü tespit edilmiştir. Bunun nedeni başlangıçta ürün yüzeyinde bulunan suyun daha fazla mikrodalga enerjisini ya da sıcaklığı emmesi şeklinde açıklanmıştır. Ürünlerden su uzaklaştıkça bu emilim azalmakta olduğu bunun sonucunda örneklerin kuruma hızlarının yavaşladığı ve kuruma sürelerinin uzadığı belirlenmiştir. Elde edilen deneysel sonuçlar ışığında, kurutulan tüm

örneklerin kuruma işlemi azalan periyotta meydana gelirken, çoğu deneylerde bu sonuçlar kısa bir ısınma periyodundan sonra gerçekleşmiştir.

Konvektif kurutma yönteminde düşük neme sahip ürünlerin iç kısımlarına sıcaklığın yavaş etki etmesi sonucunda kurutulan ürünlerin kuruma hızlarının yavaş olduğu ve bununla birlikte bu ürünlerin kuruma süresi değerlerinin uzun süreler gerektirdiği saptanmıştır. Bu problemin aşılması için çoğunlukla mikrodalga kurutma yöntemiyle kombine sistemlerin kullanılması gerektiği daha önce yapılan çalışmalarda ortaya konulmuştur. Bu tez çalışmasında da belirlendiği gibi, mikrodalga yöntemle kurutulan ürünlerde mikrodalga enerjisinin ürünün iç kısımlarına kolaylıkla etki etmesi sonucu düşük kuruma hızı ve uzun kuruma süreleri sorunları aşılmaktadır. Kombine sistemlerde mikrodalga gücünün en önemli etkisinin sıcak havayla oluşan yavaş kuruma hızını arttırdığı sonucuna varılmıştır. Sonuç olarak yalnızca konvektif kurutmada sıcaklığın artırılması ya da yalnızca mikrodalga kurutmada mikrodalga güç seviyelerinin artırılarak ürünlerin kurutulması yerine bu tez çalışmasında olduğu gibi mikrodalga-konvektif kombinasyonu kurutma yönteminin veya kombine sistemlerin kullanılması çok daha yararlı sonuçların ortaya konulmasını sağlayacaktır.

Bu tez çalışmasında, konvektif, mikrodalga ve mikrodalga-konvektif kombinasyonu kurutma yöntemleriyle uygulanan farklı kurutma şartlarında kurutulan ürünlerin nem içeriklerinin zamanla değişimi ve kuruma hızlarının nem içerikleri ile değişimi farklı şekillerde görsel olarak sunulmuştur. Ayrıca kurutulan ürünlerin kurama eğrileri Henderson ve Pabis, Newton, Page, Geliştirilmiş Page, Logaritmik, İki Terimli, Wang ve Singh, Difüzyon Yaklaşımı, Midilli ve İki Terimli Eksponansiyel ince tabaka kurutma modelleriyle ve Midilli ve Wang ve Singh modelleri esas alınarak geliştirilen model ile modellendirilmiştir. Değerlendirilen bu modellere ait kurutma katsayıları,  $R^2$ ,  $\chi^2$  ve RMSE istatistiksel parametreleri kullanılarak analiz edilmiş, sonuçlar çizelgeler halinde sunulmuş ve en iyi modellerle deneysel veriler şekilsel olarak da ortaya konulmuştur. Bu sonuçlara göre;

Barbunya ürünü için geliştirilen model dahil edilmeden sonuçlar analiz edildiğinde, Midilli modeli konvektif yöntemle 75°C sıcaklık uygulamasında 5 numaralı Logaritmik model ve 8 numaralı Difüzyon Yaklaşım modeliyle, mikrodalga-konvektif

kombinasyonu yöntemle 160W-50°C mikrodalga gücü ve sıcaklığı uygulamasında 3 numaralı Page modeli ve 4 numaralı Geliştirilmiş Page modelleriyle eşit  $R^2$  değerine sahip olmasına rağmen, RMSE ve  $\chi^2$  değerleri açısından daha uygun bulunmuştur. Barbunya ürünün diğer kurutma şartları için Midilli modeli en iyi sonuçları sağlamıştır. Sonuç olarak literatürde bulunan ve bu çalışmada uygulanan modeller arasında barbunya ürünün tüm kurutma şartları için en uygun modelin Midilli modeli olduğu tespit edilmiştir. Ancak geliştirilen model ile bu çalışmada kullanılan modeller beraber değerlendirildiğinde, 90W-50°C ve 90W-75°C mikrodalga ve sıcaklık kombinasyonları uygulamaları haricinde uygulanan tüm kurutma şartları için geliştirilen model en iyi sonuçları sağlamıştır. Ayrıca 90W-50°C mikrodalga gücü ve sıcaklığı kombinasyonunda Midilli modeliyle geliştirilen modelden elde edilen  $R^2$  değeri eşittir. Ancak RMSE ve  $\chi^2$  değerleri açısından Midilli modeli daha uygun bulunmuştur. Midilli modeli ve geliştirilen model için 90W-75°C mikrodalga gücü ve sıcaklık kombinasyonunda  $R^2$  ile birlikte RMSE değeri de eşit çıkmıştır. Ancak  $\chi^2$  değeri açısından Midilli modelinin daha uygun olduğu sonucuna varılmıştır.

Domates ürünü için geliştirilen model dahil edilmeden sonuçlar analiz edildiğinde, literatürde bulunan ve bu çalışmada uygulanan modeller arasında 90W-50°C mikrodalga gücü ve sıcaklığı için Wang ve Singh modeli, diğer uygulamalar için Midilli modeli en uygun değerlere sahiptir. Ancak geliştirilen model ile bu çalışmada kullanılan modeller beraber değerlendirildiğinde, uygulanan tüm kurutma şartları için geliştirilen model en iyi sonuçları sağlamıştır.

Mantar ürünleri için geliştirilen model dahil edilmeden sonuçlar analiz edildiğinde, literatürde bulunan ve bu çalışmada uygulanan modeller arasında konvektif yöntemle 50°C sıcaklıkta Difüzyon Yaklaşımı modeli ve 75°C sıcaklıkta Logaritmik modeli, mikrodalga yöntemle 90, 160, 350 ve 500W mikrodalga güçlerinde Midilli modeli ve mikrodalga-konvektif kombinasyonu kurutma yöntemiyle 90W-50°C mikrodalga gücü ve sıcaklıkta Logaritmik modeli, 90W-75°C ve 160W-50°C mikrodalga güç ve sıcaklıklarında Midilli ve 160W-75°C mikrodalga güç ve sıcaklığında Wangh ve Singh modeli en uygun sonuçları sağlamıştır. Ancak geliştirilen model ile bu çalışmada kullanılan modeller beraber değerlendirildiğinde, uygulanan tüm kurutma şartları için

160W-75°C mikrodalga gücü ve sıcaklığı uygulaması haricinde geliştirilen model en uygun model olarak tespit edilmiştir.

Patates için geliştirilen model dahil edilmeden sonuçlar analiz edildiğinde, literatürde bulunan ve bu çalışmada uygulanan modeller arasında Midilli modeli en iyi sonuçlara sahiptir. Ancak geliştirilen model ve bu çalışmada uygulanan 10 farklı model beraber değerlendirildiğinde, konvektif yöntemle 50 ve 75°C sıcaklıklarda, mikrodalga yöntemle 160 ve 500W mikrodalga güçlerinde ve mikrodalga-konvektif kombinasyonu yöntemiyle 160W-50°C ve 350W-75°C mikrodalga gücü ve sıcaklıklarında geliştirilen modelden en iyi sonuçlar elde edilirken, 350W mikrodalga gücü, 160W-75°C ve 350W-50°C mikrodalga güç ve sıcaklığı uygulamalarında Midilli modelinden en iyi sonuçlar elde edilmiştir.

Sonuç olarak tüm kurutma şartları için geliştirilen model literatürde bulunan ve bu çalışmada uygulanan modeller beraber değerlendirildiğinde, 37 kurutma deneyinin 31'inde en iyi sonuçlara sahipken, diğer 6 kurutma deneyinde de ikinci en iyi değerlere sahiptir. Bu durum geliştirilen modelin diğer kurutma çalışmaları için alternatif bir model olduğunu göstermektedir.

Bu çalışmada, konvektif, mikrodalga ve mikrodalga-konvektif kombinasyonu kurutma yöntemleriyle farklı sıcaklık ve mikrodalga güçleri uygulamalarıyla kurutulmuş ve kurutulmamış taze barbunya, domates, mantar ve patates örneklerinin renk analiz sonuçları incelenmiştir. Elde edilen sonuçlara göre, ürünlerin kurutulması sırasında ürünlere rengini veren pigmentlerin ısı ile bozularak okside oldukları ve bu durumun ürünlerin renklerinde değişimlere yol açtıkları tespit edilmiştir. Genel olarak, uzun kurutma sürelerinin ve yüksek sıcaklıkların pigmentlerin daha çok bozulmasına ve ürünlerin renklerinin daha çok değişmesine neden oldukları tespit edilmiştir. Tüm kurutma şartları göz önüne alındığında taze örneklerin renk değerlerine en yakın değerlerin konvektif kurutma yönteminde 50°C sıcaklıkla kurutulan örneklerden elde edilmiştir. Ayrıca elde edilen sonuçlardan artan sıcaklık ve mikrodalga güçleri uygulamalarında kurutulan ürünlerin renklerinin olumsuz yönde etkiledikleri belirlenmiştir.

Bu tez çalışmasında, uygulanan tüm kurutma şartlarında kurutulan ürünlerin taramalı elektron mikroskobu görüntüleri ayrıntılı bir şekilde incelenmiştir. Elde edilen sonuçlara göre yüksek sıcaklıklarla ve mikrodalga güçleriyle kurutulan barbunya örneklerinin nişasta taneciklerinde erimelerin olduğu ve örneklerin yapılarında meydana gelen tahribat ve yıkımların örneklerin proteinlerine de zarar verdikleri belirlenmiştir. Bu zararın nedeninin yüksek kuruma sıcaklığı ve hızlı bir şekilde ürün içi suyun buharlaşmasıyla bazı dokuların yayılmasından kaynaklanabileceği sonucuna varılmıştır. Ayrıca yüksek sıcaklık ve mikrodalga güçleriyle kurutulan domates örneklerinin yüzeylerinde çökme ve çatlama olduğu belirlenmiştir. Mantar örneklerinin taramalı elektron mikroskop görüntüleri incelendiğinde ise, uygulanan mikrodalga güçleri ve sıcaklıklar arttıkça mantarların mikroyapılarının homojen bir yayılımdan uzaklaştığı ve büzülme sonucu zarar gördükleri tespit edilmiştir. Kurutulmamış patates küplerinin mikroyapılarıyla bazı düşük mikrodalga ve sıcaklıklarla kurutulan patates küplerinin mikroyapıları arasında belirgin farklılıklar görülmemiştir. Ancak özellikle yüksek mikrodalga gücü ve sıcaklıklarda kurutulan patates küplerinin mikroyapılarında önemli değişiklikler meydana geldiği, bu ürünlerin hücre duvarlarında ve nişasta granüllerinde çeşitli tahribatların olduğu belirlenmiştir. Sonuç olarak kurutulan ürünlerde yüksek sıcaklık ve mikrodalga uygulamaların ürünlerin mikroyapılarına zarar verdikleri tespit edilmiştir.

Sonuç olarak bu tez çalışmasında ülkemiz ve dünya için önemli tarımsal ürünler barbunya, domates, mantar ve patates ürünlerinin konvektif, mikrodalga ve mikrodalga-konvektif kombinasyonu yöntemleriyle kurutulmasında kurutma kinetikleri ve kalite parametreleri belirlenmiştir. Her ürün farklı yapıya sahip olduğu için bu tür çalışmaların sürdürülmesi gerekmektedir. Ayrıca Midilli ve Wang ve Singh modeli esas alınarak geliştirilen model ile daha önce literatürde bulunan ince tabaka kurutma modellerine alternatif bir model sunulmaktadır.

## KAYNAKLAR

- Agrawal, Y.C., Singh, R.P. 1977.** Thin layer drying studies on short grain rough rice. *ASAE*, No: 3531, St. Joseph MI.
- Akhondi, E., Kazemi, A., Maghsoodi, V. 2011.** Determination of a suitable thin layer drying curve model for saffron (*Crocus sativus* L.) stigmas in an infrared dryer. *Scientia Iranica C*, 18(6): 1397-1401.
- Akpınar, E.K. 2006.** Determination of suitable thin layer drying curve model for some vegetables and fruits. *Journal of Food Engineering*, 73: 75-84.
- Aktaş, M. 2007.** Isı pompası destekli fındık kurutma fırınının tasarımı, imalatı ve deneysel incelenmesi, *Doktora Tezi*, GÜ Fen Bilimleri Enstitüsü, Makine Eğitimi Anabilim Dalı, Ankara.
- Al-Duri, B., McIntyre, S. 1992.** Comparison of drying kinetics of foods using a fan-assisted convection oven, a microwave oven a combined microwave/convection oven. *Journal of Food Engineering*, 15: 139-155.
- Arıcı, R.Ç. 2006.** Mantarın (*Agaricus bisporus*) kontrollü şartlar altında kurutma karakteristiklerinin belirlenmesi. *Yüksek Lisans Tezi*, SÜ Fen Bilimleri Enstitüsü, Tarım Makinaları Anabilim Dalı, Konya.
- Artınaseaw, A., Theerakulpisut, S., Benjapiyaporn, C. 2010.** Drying characteristics of Shiitake mushroom and Jinda chili during vacuum heat pump drying. *Food and Bioproducts Processing*, 88: 105-114.
- Arumuganathan, T., Manikantan, M.R., Rai, R.D., Anandakumar, S., Khare, V. 2009.** Mathematical modeling of drying kinetics of milky mushroom in a fluidized bed dryer. *International Agrophysics*, 23: 1-7.
- Askari, G.R., Emam-Djomeh, Z., Mousavi, S.M. 2006.** Effects of combined coating and microwave assisted hot-air drying on the texture, microstructure and rehydration characteristics of apple slices. *Food Science and Technology International*, 12(1): 39-46.
- Askari, G.R., Emam-Djomeh, Z., Tahmasb, M. 2009.** Effect of various drying methods on texture and color of tomato halves. *Journal of Texture Studies*, 40: 371-389.
- Ayensu, A. 1997.** Dehydration of food crops using a solar dryer with convective heat flow. *Solar Energy*, 59(4-6): 121-126
- Azkan, N. 2002.** Yemeklik tane bitkiler. 6. baskı Uludağ Üniversitesi, Ziraat Fakültesi, Ders notları No:40, Bursa, 59 s.
- Baker, G.J.C. 1997.** Industrial Drying of Foods, 1st Edition, Chapman & Hall Publication, New York, Amerika.
- Bayrock, D., Ingledew, W.M. 1997.** Fluidized bed drying of baker's yeast: moisture levels, drying rates, and viability changes during drying. *Food Res. Int.*, 30: 407-415.
- Bingöl, G., Devres, Y.O. 2010.** Üzümlerin mikrodalga kurutma eğrilerinin ve sıcaklık değişiminin matematiksel modellenmesi. *Mühendislik itüdergisi/d*, 9(4): 63-71.
- Bondaruk, J., Markowski, M., Blaszcak, W. 2007.** Effect of drying conditions on the quality of vacuum-microwave dried potato cubes. *Journal of Food Engineering*, 81: 306-312.
- Cao, W., Nishiyama, Y., Koide, S. 2003.** Thin-layer drying of maitake mushroom analysed with a simplified model. *Biosystems Engineering*, 85(3): 331-337.
- Cemeroğlu, B. Özkan, M. 2004.** Kurutma Teknolojisi: Meyve ve Sebze İşleme Teknolojisi, Editör: Cemeroğlu, B., Başkent Klişe Matbaacılık, Ankara, 479 s.



- Cetin, M. 2007.** Physical properties of barbania bean (*Phaseolus vulgaris* L. cv. 'Barbania') seed. *Journal of Food Engineering*, 80: 353-358.
- Cheng, W.M., Raghavan, G.S.V., Ngadi, M., Wang, N. 2006.** Microwave power control strategies on the drying process II. Phase-controlled and cycle-controlled microwave/air drying. *Journal of Food Engineering*, 76: 195-201.
- Chua, K.J., Chou, S.K. 2005.** A comparative study between intermittent microwave and infrared drying of bioproducts. *International Journal of Food Science and Technology*, 40, 23-39.
- Cihan, A., Kahveci, K., Hacıhafızoğlu, O. 2007.** Modelling of intermittent drying of thin layer rough rice. *Journal of Food Engineering*, 79: 293-298.
- Contreras, C., Martin-Esparza, M.E., Chiralt, A., Martinez-Navarrete, N. 2008.** Influence of microwave application on convective drying: Effects on drying kinetics, and optical and mechanical properties of apple and strawberry. *Journal of Food Engineering*, 88(1): 55-64.
- Çelen, S. 2010.** Mikrodalga ve vakum kurutucuda bazı gıda ürünlerinin kurutulması ve modellenmesi. *Doktora Tezi*, TÜ Fen Bilimleri Enstitüsü, Makina Mühendisliği Anabilim Dalı, Edirne.
- Dadalı, G. 2007.** Banya ve ıspanağın mikrodalga tekniği kullanılarak kurutulması, doku ve renk özelliklerinin incelenmesi ve modellenmesi. *Yüksek Lisans Tezi*, YTÜ Fen Bilimleri Enstitüsü, FBE Kimya Mühendisliği Anabilim Dalı, İstanbul.
- Darvishi, H. 2012.** Energy consumption and mathematical modeling of microwave drying of potato slices. *Agricultural Engineering International: CIGR Journal*, 14(1): 94-102.
- Decareau, V.R. 1992.** Microwave science and technology. *Encyclopaedia of Food Science and Technology*, 3: 1772-1778.
- DeMan, J.M. 1999.** Principles of Food Chemistry. Aspen Publication, New York, 520s.
- Demiray, E. 2009.** Kurutma işleminde domatesin likopen,  $\beta$ -karoten, askorbik asit ve renk değişim kinetiğinin belirlenmesi. *Yüksek Lisans Tezi*, PÜ Fen Bilimleri Enstitüsü, Gıda Mühendisliği Anabilim Dalı, Denizli.
- Dev, S.R.S., Geetha, P., Orsat, V., Gariépy, Y., Raghavan, G.S.V. 2011.** Effects of microwave-assisted hot air drying and conventional hot air drying on the drying kinetics, color, rehydration, and volatiles of *Moringa oleifera*. *Drying Technology*, 29: 1452-1458.
- Diaz, G.R., Martinez-Monzo, J., Fito, P., Chiralt, A. 2003.** Modelling of dehydration-rehydration of orange slices in combined microwave and air drying. *Innovative Food Science and Emerging Technologies*, 4: 203-209.
- Doymaz, İ. 2006.** Thin-layer drying behaviour of mint leaves. *Journal of Food Engineering*, 74: 370-375.
- Doymaz, İ. 2007.** Air-drying characteristics of tomatoes. *Journal of Food Engineering*, 78: 1291-1297.
- Doymaz, İ., Pala, M. 2001.** Daldırma çözeltisi kullanımının biber kuruma sürelerine etkisinin incelenmesi. *Yıldız Teknik Üniversitesi Dergisi*, 4: 44-50.
- Doymaz, İ., Pala, M. 2003.** The thin-layer drying characteristics of corn. *Journal of Food Engineering*, 60: 125-130.
- Doymaz, İ., Tuğrul, N., Pala, M. 2003.** Maydanozun kurutma karakteristiklerinin incelenmesi. *Yıldız Teknik Üniversitesi Dergisi*, 3: 1-8.

- Erdem, T. 2007.** Ozonlu su ile yıkanan kırmızı pul biberin mikrodalga enerjisi ile kurutulması. *Yüksek Lisans Tezi*, ÇÜ Fen Bilimleri Enstitüsü, Tarım Makinaları Anabilim Dalı, Adana.
- Eren, Ö., Soysal, Y., Öztekin, S., Doğantan, Z.S. 2005.** Mikrodalga sistemi ile donatılmış bir bantlı kurutucuda maydanoz kurutulması. III. Tarımsal Ürünleri Kurutma Tekniği Çalıştayı, 2-4 Mayıs, 2005, Antalya.
- Ertekin, C., Yaldiz, O. 2004.** Drying of eggplant and selection of a suitable thin layer drying model. *Journal of Food Engineering*, 63: 349-359.
- Eştürk, O., Soysal, Y. 2010.** Drying Properties and Quality Parameters of Dill Dried with Intermittent and Continuous Microwave-convective Air Treatments *Tarım Bilimleri Dergisi – Journal of Agricultural Sciences*, 16: 26-36.
- Evin, D. 2012.** Thin layer drying kinetics of *Gundelia tournefortii* L. *Food and Bioproducts Processing*, 90: 323-332.
- Fadhel, M.I., Abdo, R.A., Yousif, B.F., Zaharim A., Sopian, K. 2011.** Thin-layer drying characteristics of banana slices in a force convection indirect solar drying. Proceeding of the 6th IASME/WSEAS International Conference on Energy and Environment, February 23-25, 2011, Cambridge, United Kingdom.
- Fang, S., Wang, Z., Hu, X., Chen, F., Zhao, G., Liao, X., Wu, J., Zhang, Y. 2011.** Energy requirement and quality aspects of Chinese Jujube (*Zizyphus Jujuba* Miller) in hot air drying followed by microwave drying. *Journal of Food Process Engineering*, 34: 491-510.
- FAO 2010.** <http://www.faostat.fao.org/site/336/DesktopDefault.aspx?PageID=336>.
- Farhang, A., Hosinpour, A., Darvishi, H., Khoshtaghaza, M.H., Hashtjin, T.T. 2010.** Accelerated drying of alfalfa (*Medicago sativa* L.) by microwave dryer. *Global Veterinaria*, 5(3): 158-163.
- Fernando, W.J.N., Ahmad, A.L., Othman, V.R. 2011.** Convective drying rates of thermally blanched slices of potato (*Solanum tuberosum*): Parameters for the estimation of drying rates. *Food and Bioproducts Processing*, 89: 514-519.
- Freire, F., Figueiredo, A., Ferrao, P. 2001.** Modelling high temperature, thin layer drying kinetics of olive bagasse. *Journal of Agricultural Engineering Research*, 78: 397-406.
- Funebo, T., Ohlsson, T. 1998.** Microwave-assisted air dehydration of apple and mushroom. *Journal of Food Engineering*, 38: 353-367.
- Giri, S.K., Prasad, S. 2007.** Drying kinetics and rehydration characteristics of microwave-vacuum and convective hot-air dried mushrooms. *Journal of Food Engineering*, 78: 512-521.
- Gowen, A.A., Abu-Ghannam, N., Frias, J., Oliveira, J. 2008.** Modeling dehydration and rehydration of cooked soybeans subjected to combined microwave-hot-air drying. *Innovative Food Science and Emerging Technologies*, 9: 129-137.
- Goyal, R.K., Kingsly, A.R.P., Manikantan, M.R., Ilyas, S.M. 2006.** Thin-layer drying kinetics of raw mango slices. *Biosystems Engineering*, 95: 43-49.
- Gögüs, F., Maskan, M. 2001.** Drying of olive pomace by a combined microwave-fan assisted convection oven. *Nahrung/Food*, 45: 129-132.
- Günay, A., Abak, K., Koçyiğit, A.E. 1984.** Mantar yetiştirme. Cilt 6, Çağ matbaası, Ankara, s. 11-17.
- Güngör, A., Özbalta, N. 1997.** “Endüstriyel kurutma sistemleri”, III. Ulusal Tesisat Mühendisliği Kongresi ve Sergisi Bildiriler Kitabı, İzmir, 740 s.

- Haghi, A.K., Amanifard, N. 2008.** Analysis of heat and mass transfer during microwave drying of food products. *Brazilian Journal of Chemical Engineering*, 25(3): 491-501.
- Heredia, A., Barrera, C., Andres, A. 2007.** Drying of cherry tomato by a combination of different dehydration techniques. Comparison of kinetics and other related properties. *Journal of Food Engineering*, 80: 111-118.
- Hii, C.L., Law, C.L., Cloke, M. 2009.** Modeling using a new thin layer drying model and product quality of cocoa. *Journal of Food Engineering*, 90: 191-198.
- Hiranvarachat, B., Devahastin, S., Chiewchan, N. 2011.** Effects of acid pretreatments on some physicochemical properties of carrot undergoing hot air drying. *Food and Bioproducts Processing*, 89: 116-127.
- Inchuen, S., Narkrugsa, W., Pornchaloempong, P., Chanasinchana, P., Swing, T. 2008.** Microwave and hot-air drying of Thai red curry paste. *Maejo International Journal of Science and Technology*, 1: 38-49.
- Işık, E., Alibaş, İ. 2000.** Tarımsal ürünlerin kurutulmasında kullanılan yöntemler ve kurutma sistemleri. Uludağ Üniversitesi, Ziraat Fakültesi, Yardımcı ders notu No:3, Bursa, s. 2-25.
- Işık, E., Ünal, H. 2007.** Moisture-dependent physical properties of white speckled red kidney bean grains. *Journal of Food Engineering*, 82: 209-216.
- İlisulu, K. 1986.** Nişasta, şeker bitkileri ve ıslahı Ankara Üniversitesi, Ziraat Fakültesi Yayınları 960, Ders kitabı: 279 Ankara, 7 s.
- Kara, T. 2008.** Muzun Farklı Kurutma Sartlarındaki Kuruma Karakteristiklerinin Belirlenmesi. *Yüksek Lisans Tezi*, SÜ Fen Bilimleri Enstitüsü, Tarım Makinaları Anabilim Dalı, Konya.
- Karaaslan, S.N., Erdem, T. 2009.** Semizotunun mikrodalga ile kuruma incelenmesi ve uygun kuruma modelinin belirlenmesi. 25. Tarımsal Mekanizasyon Kongresi, 01-03 Ekim, Isparta.
- Karaaslan, S.N., Tunçer, İ.K. 2008.** Development of a drying model for combined microwave-fan-assisted convection drying of spinach. *Biosystems Engineering*, 100: 44-52.
- Kasem, A.S. 1998.** Comparative studies on thin layer drying models for wheat. 13th International Congress on Agricultural Engineering, 2-6 February, 1998, Morocco.
- Kaya, A. 2008.** Kurutmada ısı ve kütle transferinin teorik ve deneysel olarak incelenmesi. Doktora Tezi, KTÜ Fen Bilimleri Enstitüsü, Makina Mühendisliği Anabilim Dalı, Trabzon.
- Kayısoglu, S., Ertekin, C. 2011.** Vacuum drying kinetics of barbunya bean (*Phaseolus vulgaris* L. *elipticus* Mart.). *The Philippine Agricultural Scientist*, 94: 285-291.
- Khraisheh, M.A.M., Cooper, T.J.R., Magee, T.R.A. 1997.** Microwave and air drying I. Fundamental considerations and assumptions for the simplified thermal calculations of volumetric power absorption. *Journal of Food Engineering*, 33: 207-219.
- Khraisheh, M.A.M., McMinn, W.A.M., Magee, T.R.A. 2004.** Quality ve structural changes in starchy foods during microwave ve convective drying. *Food Research International*, 37: 497-503.
- Kouchakzadeh, A., Shafeei, S. 2010.** Modeling of microwave-convective drying of pistachios. *Energy Conversation ve Management*, 51(10): 2012-2015.
- Köse, B., Erentürk, S. 2010.** Drying characteristics of mistletoe (*Viscum album* L.) in convective and UV combined convective type dryers. *Industrial Crops and Products*, 32: 394-399.

- Kurozawa, L.E., Azoubel, P.M., Murr, F.E.X., Park, K.J. 2012.** Drying kinetic of fresh and osmotically dehydrated mushroom (*Agaricus Blazei*). *Journal of Food Process Engineering*, 35: 295-313.
- Leeratanarak, N., Devahastin, S., Chiewchan, N. 2006.** Drying kinetics and quality of potato chips undergoing different drying techniques *Journal of Food Engineering*, 77: 635-643.
- Leonid, A.B., Vladimir, P.G., Andrew, V.B., Alexander, M.L., Valeriy, L., Vladimir, A.K. 2006.** The investigation of low temperature vacuum drying processes of agricultural materials. *Journal of Food Engineering*, 74: 410-415.
- Lu, L., Tang, J., Ran, X. 1999.** Temperature and moisture changes during microwave drying of sliced food. *Drying Technology*, 17(3): 413-432.
- Luangmalawat, P., Prachayawarakorn, S., Nathakaranakule, A., Soponronarit, S. 2008.** Effect of temperature on drying characteristics and quality of cooked rice. *LWT – Food Science and Technology*, 41: 716-723.
- Luo, M.R. 2006.** Applying colour science in colour design. *Optics & Laser Technology*, 38: 392-398.
- Madamba, P.S., Driscoll, R.H., Buckle, K.A. 1996.** The thin-layer drying characteristics of garlic slices. *Journal of Food Engineering*, 29: 75-97.
- Maskan, M. 2000.** Microwave/air and microwave finish drying of banana. *Journal of Food Engineering*, 44: 71-78.
- Maskan, M. 2001a.** Drying, shrinkage and rehydration characteristics of kiwifruits during hot air and microwave drying. *Journal of Food Engineering*, 48: 177-182.
- Maskan, M. 2001b.** Kinetics of colour change of kiwifruits during hot air and microwave drying. *Journal of Food Engineering*, 48: 169-175.
- McGuire, R.G. 1992.** Reporting of objective color measurements. *HortScience*, 27: 1254-1255.
- McMinn, W.A.M. 2006.** Thin-layer modelling of the convective, microwave, microwave-convective and microwave-vacuum drying of lactose powder. *Journal of Food Engineering*, 72: 113-123.
- Meisami-Asl, E., Rafiee, S., Keyhani, A., Tabatabaeefar, A. 2010.** Determination of suitable thin layer drying curve model for apple slices (variety-Golab) *Plant Omics Journal*, 3(3): 103-108.
- Mengeş, G. 2005.** Patatesin farklı kurutma şartlarındaki kurutma karakteristiklerinin belirlenmesi. *Yüksek Lisans Tezi*, SÜ Fen Bilimleri Enstitüsü, Tarım Makinaları Anabilim Dalı, Konya.
- Mengeş, H.O., Ertekin, C., Aydın, C. 2005.** Determination of appropriate model to drying with convection of apple slices. *Journal of Agricultural Machinery Science*, 1: 229-235.
- Midilli A., Kucuk, H., Yapar, Z. 2002.** A new model for single layer drying. *Drying Technology*, 20(7): 1503-1513.
- Mirzaee, E., Rafiee, S., Keyhani, A. 2010.** Evaluation and selection of thin-layer models for drying kinetics of apricot (cv. *NASIRY*). *Agricultural Engineering International: CIGR Journal*, 12(2): 111-116.
- Mohammadi, A., Rafiee, S., Keyhani, A., Djomeh, Z.E. 2009.** Moisture content modeling of sliced kiwifruit (cv. *Hayward*) during drying. *Pakistan Journal of Nutrition*, 8(1): 78-82.

- Mohanta B., Dash, S.K., Panda, M.K., Sahoo, G.R. 2011.** Standardization of process parameters for microwave assisted convective dehydration of ginger. *Journal of Food Science ve Technology* (basımda).
- Mudgett, R.E. 1989.** Microwave food processing. *Food Technology*, 43: 117-126.
- Mundada, M., Hathan, B.S., Maske, S. 2010.** Convective dehydration kinetics of osmotically pretreated pomegranate arils. *Biosystems Engineering*, 107: 307-316.
- Murthy, T.P., Manohar, B. 2012.** Microwave drying of mango ginger (*Curcuma amada* Roxb): prediction of drying kinetics by mathematical modelling and artificial neural network *International Journal of Food Science and Technology* (basımda).
- Odjo, S., Malumba, P., Dossou, J., Janas, S., Béra, F. 2012.** Influence of drying and hydrothermal treatment of corn on the denaturation of salt-soluble proteins and color parameters. *Journal of Food Engineering*, 109: 561-570.
- Orikasa, T., Wu, L., Shiina, T., Tagawa, A. 2008.** Drying characteristics of kiwifruit during hot air drying. *Journal of Food Engineering*, 85: 303-308.
- Orsat, V., Yang, W., Changrue, V., Raghavan, G.S.V. 2007.** Microwave-assisted drying of biomaterials. *Food and Bioproducts Processing*, 85: 255-263.
- Özbek, B., Dadalı, G., 2007.** Thin-layer drying characteristics and modelling of mint leaves undergoing microwave treatment. *Journal of Food Engineering*, 83: 541-549.
- Özdemir, E.A., Çandır, E.E., Kaplankıran, M., Demirköser, T.H., Toplu, C., Ercan Yıldız, E. 2008.** Farklı sıcaklıklarda muhafaza edilen Ruby Red Altıntoplarında kalite parametrelerinin değişimi. *Batı Akdeniz Tarımsal Araştırma Enstitüsü Derim Dergisi*, 25(1): 48-58
- Özgül, K. 2007.** Ürünlerin Kuruma Karakteristik Değerlerinin Belirlenmesi. *Yüksek Lisans Tezi*, SÜ Fen Bilimleri Enstitüsü, Makine Mühendisliği Ana Bilim Dalı, Konya.
- Öztürk, A. 2010.** Bazı yenilebilir mantar türlerinde farklı ön işleme ve kurutma yöntemlerinin kalite özellikleri ve besin öğeleri üzerine etkileri. *Yüksek Lisans Tezi*, UÜ Fen Bilimleri Enstitüsü, Gıda Mühendisliği Anabilim Dalı, Bursa.
- Piotrowski, D., Lenart, A., Wardzynski, A. 2004.** Influence of osmotic dehydration on microwave-convective drying of frozen strawberries. *Journal of Food Engineering*, 65: 519-525.
- Prabhanjan, D.G., Ramaswamy, H.S., Raghavan, G.S.V. 1995.** Microwave-assisted convective air drying of thin layer carrots. *Journal of Food Engineering*, 25: 283-293.
- Prachayawarakorn, S., Sawangduanpen, S., Saynampheung, S., Poolpatarachewin, T., Soponronnarit, S., Nathakarakule, A. 2004.** Kinetics of colour change during storage of dried garlic slices as affected by relative humidity and temperature. *Journal of Food Engineering*, 62: 1-7.
- Radhika, G.B., Satyanarayana, S.V., Rao, D.G. 2011.** Mathematical model on thin layer drying of Finger Millet (*Elusine coracana*). *Advance Journal of Food Science and Technology*, 3(2): 127-131.
- Ren, G., Chen, F. 1998.** Drying of American Ginseng (*Panax quinquefolium*) Roots by microwave-hot air combination. *Journal of Food Engineering*, 35: 433-443.
- Reyes, A., Ceron, S., Zuniga, R., Moyano, P. 2007.** A comparative study of microwave-assisted air drying of potato slices. *Biosystems Engineering*, 98(3): 310-318.
- Rodríguez, R., Lombraña, J.I. 2005.** Analysis of microwave drying variants and their effect on the quality of the dehydrated product. 2nd Mercosur Congress on Chemical Engineering, 4th Mercosur Congress on Process Systems Engineering, 14-19 August, 2005, Rio de Janeiro. Brasil.

- Ruiz-López, I.I., Martínez-Sánchez, C.E., Cobos-Vivaldo, R., Herman-Lara, E. 2008.** Mathematical modeling and simulation of batch drying of foods in fixed beds with airflow reversal. *Journal of Food Engineering*, 89: 310-318.
- Sacilik, K. 2007.** The thin-layer modelling of tomato drying. *Process Agriculture Conspectus Scientificus*, 72(4): 343-349.
- Sacilik, K., Elicin, A.K. 2006.** The thin layer drying characteristics of organic apple slices. *Journal of Food Engineering*, 73: 281-289.
- Sacilik, K., Keskin, R., Elicin, A.K. 2006.** Mathematical modelling of solar tunnel drying of thin layer organic tomato. *Journal of Food Engineering*, 73: 231-238.
- Sharaf-Elden, Y.I., Blaisdell, J.L., Hamdy, M.Y. 1980.** A model for ear corn drying. *Transactions of the ASAE*, 5: 1261-1265.
- Sharma, G.P., Prasad, S. 2004.** Effective moisture diffusivity of garlic cloves undergoing microwave-convective drying. *Journal of Food Engineering*, 65: 609-617.
- Sharma, G.P., Verma, R.C., Pathare, P. 2005.** Mathematical modeling of infrared radiation thin layer drying of onion slices. *Journal of Food Engineering*, 71: 282-286.
- Sharma, G.P., Prasad, S., Chahar, V.K. 2009.** Moisture transport in garlic cloves undergoing microwave-convective drying. *Food and Bioproducts Processing*, 87: 11-16.
- Shaw, M., Meda, V., Tabil, L., Jr., Opoku, A. 2007.** Drying ve color characteristics of coriveer foliage using convective thin-layer ve microwave drying. *Journal of Microwave ve Electromagnetic Energy*, 41(2): 59-68.
- Singh, N.J., Pandey, R.K. 2012.** Convective air drying characteristics of sweet potato cube (*Ipomoea batatas* L.). *Food and Bioproducts Processing*, 90: 317-322.
- Sousa, W.A., Marsaioli, A.J. 2004** Drying of bananas assisted by microwave energy. Proceedings of the 14th International Drying Symposium, 22-25 August, 2004, São Paulo, Brazil.
- Soysal, Y. 2004.** Microwave drying characteristics of parsley. *Biosystems Engineering*, 89: 167-173.
- Soysal, Y., Ayhan, Z., Eştürk, O., Arıkan, M.F. 2009a.** Intermittent microwaveconvective drying of red pepper: drying kinetics, physical (colour ve texture) ve sensory quality. *Biosystems Engineering*, 103: 446-455.
- Soysal, Y., Arslan, M., Keskin, M. 2009b.** Intermittent microwave-convective air drying of Oregano. *Food Science Technology International*, 15(4): 397-406.
- Soysal, Y., Öztekin, S., Eren, Ö. 2006.** Microwave drying of Parsley: Modelling, kinetics, and energy aspects. *Biosystems Engineering* 93(4): 403-413.
- Sunjka, P.S., Rennie, T.J., Beaudry, C., Raghavan, G.S.V. 2004.** Microwave-convective and microwave-vacuum drying of cranberries: A comparative study. *Drying Technology*, 22: 1217-1231.
- Şehirali, S. 1988.** Yemeklik dane baklagiller, Ankara Üniversitesi, Ziraat Fakültesi Yayınları:1089, Ders kitabı:314, Ankara, 50 s.
- Taheri-Garavanda, A., Rafiee, S., Keyhania, A. 2011a.** Mathematical modeling of thin layer drying kinetics of tomato influence of air dryer conditions. *International Transaction Journal of Engineering, Management, & Applied Sciences & Technologies*, 2(2): 147-160.
- Taheri-Garavanda, A., Rafiee, S., Keyhania, A. 2011b.** Study on effective moisture diffusivity, activation energy and mathematical modeling of thin layer drying kinetics of bell pepper. *Australian Journal of Crop Science*, 5(2): 128-131.

- Tello-Ireland, C., Lemus-Mondaca, R., Vega-Gálvez, A., López, J., Di Scala, K. 2011.** Influence of hot-air temperature on drying kinetics, functional properties, colour, phycobiliproteins, antioxidant capacity, texture and agar yield of alga *Gracilaria chilensis*. *LWT - Food Science and Technology*, 44: 2112-2118.
- Therdthai, N., Zhou, W. 2009.** Characterization of microwave vacuum drying and hot air drying of mint leaves (*Mentha cordifolia Opiz ex Fresen*). *Journal of Food Engineering*, 91: 482-489.
- Thuwapanichayanan, R., Prachayawarakorn, S., Kunwisawa, J., Soponronnarit, S. 2011.** Determination of effective moisture diffusivity and assessment of quality attributes of banana slices during drying. *LWT-Food Science and Technology*, 44: 1502-1510.
- Torrington, E.M., Van Dijk, E.J., Bartels, P.V. 1996.** Microwave puffing of vegetables: modelling and measurements. In Proceedings of the 31st microwave power symposium. 28-31 July, 1996, International Microwave Power Institute, Manassas, Boston, USA.
- Troncoso, E., Pedreschi, F. 2007.** Modeling of textural changes during drying of potato slices. *Journal of Food Engineering*, 82: 577-584.
- Tulasidas, T.N., Raghavan, G.S.V. Norris, E.R. 1993.** Microwave ve convective drying of grapes. *Transactions of the ASAE*, 36(6): 1861-1865.
- Tunçer, İ.K. 1990.** Characterization and drying of vegetables by hot air and microwave energy. In Proceedings of The 4th International Congress on Mechanization and Energy in Agriculture, 1-4 October, 1990, Adana, Turkey.
- Türkmen, Ö., Paksoy, M., Seymen, M. 2008.** Değişen humik asit dozlarının kültür mantarında (*Agaricus bisporus (Large) Sing.*) verim ve bazı karpaför özelliklerine etkisi. Türkiye 8.Yemeklik Mantar Kongresi Bildirisi, 15-17 Ekim, 2008, Kocaeli.
- Uprit, S., Mishra, H.N. 2003.** Microwave convective drying ve storage of soy-fortified paneer. *Food ve Bioproducts Processing*, 81(2): 89-96.
- Varith, J, Dijkanarukkul, P., Achariyaviriya, A., Achariyaviriya, S. 2007.** Combined microwave-hot air drying of peeled longan. *Journal of Food Engineering*, 81: 459-468.
- Vega-Gálvez, A., Miranda, M., Clavería, R., Quispe, I., Vergara, J., Uribe, E., Paez, H., Di Scala, K. 2011.** Effect of air temperature on drying kinetics and quality characteristics of osmo-treated jumbo squid (*Dosidicus gigas*). *LWT-Food Science and Technology*, 4: 16-23.
- Veres, A., Bilbao, C. ve Fito, P. 2004.** Drying kinetics of apple cylinders under combined hot-air microwave dehydration. *Journal of Food Engineering*, 63: 71-78.
- Voss, H.D. 1992.** Relating colorimeter measurement of plant color to the royal horticultural society colour chart. *Hort. Science*, 27(12): 129-145.
- Vural, H., Eşiyok, D., Duman, İ. 2000.** Kültür sebzeleri (Sebze Yetiştirme). Ege Üniversitesi Basımevi, Bornova, İzmir, s. 173-316.
- Wang, C.Y., Singh, R.P. 1978.** A single layer drying equation for rough rice. ASAE Paper No: 78-3001, ASAE, St. Joseph, MI.
- Wang, J., Chao, Y. 2002.** Drying characteristics of irradiated apple slices. *Journal of Food Engineering*, 52: 83-88.
- Wang, J., Xiong, Y.S., Yu, Y. 2004.** Microwave drying characteristics of potato and the effect of different microwave powers on the dried quality of potato. *European Food Research and Technology*, 219(5): 500-506.

- Wang, Z., Sun, J., Chen, F., Liao, X., Hu, X. 2007.** Mathematical modelling on thin layer microwave drying of apple pomace with and without hot air pre-drying. *Journal of Food Engineering*, 80: 536-544.
- Westerman, P.W., White, G.M., Ross, I.J. 1973.** Relative humidity effect on the high temperature drying of shelled corn. *Transactions of the ASAE*, 16: 1136-1139.
- White, G.M., Bridges, T.C., Loewer, O.J., Ross, I.J. 1981.** Thin layer drying model for soybeans. *Transactions of the ASAE*, 24: 1643.
- Witrowa-Rajchert, D., Bawol, A., Czapski, J., Kidon, M. 2009.** Studies on drying of purple carrot roots. *Drying Technology*, 27(12): 1325-1331.
- Witrowa-Rajchert, D., Rzaca, M. 2009.** Effect of drying method on the microstructure and physical properties of dried apples. *Drying Technology*, 27: 903-909.
- Workneh, T.S., Raghavan, V., Garipey, Y. 2011.** Microwave assisted hot air ventilation drying of tomato slices. 2011, International Conference on Food Engineering and Biotechnology, 28-30, September, 2011, Singapore.
- Xanthopoulos, G., Lambrinos, G., Manolopoulou, H. 2007.** Evaluation of thin-layer models for Mushroom (*Agaricus bisporus*) drying. *Drying Technology*, 25: 1471-1481.
- Yagcioglu, A., Degirmencioglu, A., Cagatay, F. 1999.** Drying characteristics of laurel leaves under different drying conditions. In Proceedings of the 7th international congress on agricultural mechanization and energy, 26-27, May, Adana, Turkey.
- Yağcıoğlu, A. 1999.** Tarım Ürünleri Kurutma Tekniği. Ege Üniveristesi, Ziraat Fakültesi Yayınları No:536, Bornova, İzmir. s. 121-248.
- Yang, H.W. 2002.** Analysis of temperature distribution in model foods during continuous and pulsed microwave heating. *Ph.D. Thesis*, University of Wisconsin-Madison, Madison, WI 53706, USA.
- Yüzgeç, U. 2005.** Kurutma sürecinin modellenmesi ve akıllı öngörülü denetimi. *Doktora Tezi*, KÜ Fen Bilimleri Enstitüsü, Elektronik ve Haberleşme Anabilim Dalı, Kocaeli.
- Zhang, M., Tang, J., Mujumdar, A., Wang, S. 2006.** Trends in microwave related drying of fruits and vegetables. *Trends in Food Science and Technology*, 17: 524-534.



## ÖZGEÇMİŞ

Adı Soyadı : Nazmi İzli  
Doğum Yeri ve Tarihi : Karacabey 10.06.1980  
Yabancı Dili : İngilizce  
  
Eğitim Durumu (Kurum ve Yıl)  
Lise : Bursa Tophane Teknik Lisesi 1998  
Lisans : U.Ü. Ziraat Fakültesi 2003  
Yüksek Lisans : U.Ü. Ziraat Fakültesi 2007  
Çalıştığı Kurum/Kurumlar ve Yıl : U.Ü. Ziraat Fakültesi 2005-....  
İletişim (e-posta) : nizli@uludag.edu.tr  
Yayınları :

- İzli, N., Işık, E. 2006.** Türkiye de Mısır Üretimi ve Mısır Üretiminde Kullanılan Mekanizasyon Uygulamaları. 22.Tarımsal Mekanizasyon Ulusal Kongresi, 6-8 Eylül 2006, Çanakkale.
- Işık, E., İzli, N. 2007.** Physical Properties of Sunflower Seeds (*Helianthus annuus* L.). *International Journal of Agricultural Research*, 2(8): 677-686.
- Işık, E., İzli, N. 2007.** Moisture Dependent Physical and Mechanical Properties of Dent Corn (*Zea mays* var. *indentata* Sturt.) Seeds (Ada-523). *American Journal of Food Technology*, 2(5): 342-353.
- İzli, N., Vardar, A., Kurtulmus, F. 2007.** A Study on Aerodynamic Properties of Some NACA Profiles Used on Wind Turbine Blades. *Journal of Applied Science*, 7(3): 426-433.
- Kurtulmus, F., Vardar, A., İzli, N. 2007.** Aerodynamic Analyses of Different Wind Turbine Blade Profiles. *Journal of Applied Science*, 7(5): 663-670.
- Unal, H., Işık, E., İzli, N., Tekin, Y. 2008.** Geometric and Mechanical Properties of Mung Bean (*Vigna Radiata* L.) Grain: Effect of Moisture. *International Journal of Food Properties*, 11(3): 585-599.
- Işık, E., Akbudak, B., İzli, N. 2009.** Taze Soğan, Maydanoz ve Terenin Ön Soğutulmasında Bazı İşletim ve Fizyolojik Parametrelerin Belirlenmesi. *U.Ü. Ziraat Fakültesi Dergisi*, 23(1): 43-53.
- Işık, E., İzli, N. 2009.** Ayva Yüzey Alanlarının Görüntü İşleme Tekniği Yöntemiyle Saptanması 25.Tarımsal Mekanizasyon Ulusal Kongresi, 01-03 Ekim 2009, Isparta.
- İzli, N., Unal, H., Sincik, M. 2009.** Physical and mechanical properties of rapeseed at different moisture content. *Int. Agrophysics*, 23: 137-145.
- Unal, H, Sincik, M., İzli, N. 2009.** Comparison of some engineering properties of rapeseed cultivars. *Industrial Crops and Products*, 30: 131-136.
- Işık, E., Akbudak, B., İzli, N. 2010.** Mantarda Farklı Ön Soğutma Yöntemlerinin İşletim ve Kalite Özellikleri Üzerine Etkisi. *U.Ü. Ziraat Fakültesi Dergisi*, 24(2): 49-58.

- Işık, E., İzli, N., Alibaş, K., Özçeşmeci, E. 2010.** Yerli Yapım Kurutma Makinesinde Kurutulan Çeltiğin Kurutma Süresi ve Kurutma Maliyeti. 26. Tarımsal Mekanizasyon Ulusal Kongresi, 22-24 Eylül, 2010, Hatay.
- Izli, N., Işık, E., Acıcan, T., Gunasekaran, S. 2010.** Microwave Drying Characteristics of Bay Leaves (*Laurus nobilis* L.). *IFT 10 Annual Meeting*, 17-20, July, Chicago, USA.
- Izli, N., Işık E. 2010.** Determination of economic cost, vigour and rate of germination in batch drying of maize seeds. *Int. Agrophysics*, 24: 93-96.
- Izli, N., Işık E. 2010.** Yerli Yapım Silindirik Değirmenin Farklı Nem İçerikli Tane Mısırdaki Performans Değerlerinin Belirlenmesi. *Hasad*, 297: 50-54.
- Vardar, A., İzli, N., Kurtulmuş, F. 2010.** Aerodynamic Performance of Some Wind Turbine Rotor Models. *U.Ü. Ziraat Fakültesi Dergisi*, 24(2): 1-9.
- Işık E., Izli, N., Bayram, G., Turgut, İ. 2011.** Drying kinetic and physical properties of green laird lentil (*Lens culinaris*) in microwave drying. *African Journal of Biotechnology*, 10(19): 3841-3848.
- Işık E., Izli, N., Akbudak, B. 2012.** Microwave heat treatment of dent corn (*Zea mays* var. *indentata* sturt.): Drying kinetic and physical properties. *African Journal of Biotechnology*, 11(11): 2740-2751.