

**T.C.**  
**RECEP TAYYİP ERDOĞAN ÜNİVERSİTESİ**  
**FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

**BAZI SEBZE VE MEYVELERİN MİKRODALGA KURUTMA**  
**DAVRANIŞININ DENEYSEL ARAŞTIRILMASI VE**  
**MATEMATİKSEL MODELLENMESİ**

**MEHMET ŞİMŞEK**

**TEZ DANIŞMANI**  
**PROF. DR. HAYDAR KÜÇÜK**  
**TEZ JÜRİLERİ**  
**PROF. DR. ADNAN MİDİLLİ**  
**PROF. DR. HÜSNÜ ATAKÜL**

**YÜKSEK LİSANS TEZİ**  
**MAKİNE MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI**

**RİZE-2018**

**Her Hakkı Saklıdır**


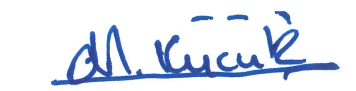

T.C.  
RECEP TAYYİP ERDOĞAN ÜNİVERSİTESİ  
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

**BAZI SEBZE VE MEYVELERİN MİKRODALGA KURUTMA  
DAVRANIŞININ DENEYSEL ARAŞTIRILMASI VE MATEMATİKSEL  
MODELLENMESİ**

Prof. Dr. Haydar KÜÇÜK danışmanlığında Mehmet ŞİMŞEK tarafından hazırlanan bu çalışma Enstitü Yönetim Kurulu kararıyla oluşturulan jüri tarafından 12/10/2018 tarihinde Makine Mühendisliği Anabilim Dalı'nda **YÜKSEK LİSANS** tezi olarak kabul edilmiştir.

Jüri Üyeleri	Unvan Adı Soyadı
Başkan	: Prof. Dr. Adnan MİDİLLİ
Üye	: Prof. Dr. Hüsnü ATAÖL
Üye	: Prof. Dr. Haydar KÜÇÜK

İmzası

  
Doç. Dr. Ferhat KAYA  
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ MÜDÜRÜ



## ÖNSÖZ

Recep Tayyip Erdoğan Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Makina Mühendisliği Bölümü, Bazı Sebze ve Meyvelerin Mikrodalga Kurutma Davranışının Deneysel Araştırılması ve Matematiksel Modellenmesi başlıklı tez konumu öneren, çalışmada her türlü yardım ve desteğini esirgemeyen değerli tez danışmanım Sayın Prof. Dr. Haydar KÜÇÜK'e, fikirleri ve önerileri ile çalışmamıza katkı sağlayan olan Sayın Prof. Dr. Adnan MİDİLLİ'ye, tezimi okuyarak ufuk açıcı eleştiriyile çalışmamızın olgunlaşmasına yapıcı katkıda bulunan Sayın Prof. Dr. Hüsnü ATAKÜL'e, kurutma deneyleri esnasında laboratuvarlarında çalışma imkânı veren Kayısıcıoğlu Tarım Ürünleri Tic. ve San. Ltd. Şti., Sayın İsmail ASLAN ve çalışanlarına, sabır ve fedakarlıkla beni destekleyen OSB Yönetim Kurulu'na ve özellikle Bölge Müdürü Sayın Mimar Vahap ERDEM'e, tezin tüm aşamalarında yardımlarını gördüğüm Arş. Gör. Dr. Burçin DOĞAN'a ve tez çalışmamda her zaman yanımda olan aileme, destek ve yardımlarını esirgemeyen arkadaşlarıma minnet, sevgi ve saygılarımı sunarım.

**Mehmet ŞİMŞEK**

## TEZ ETİK BEYANNAMESİ

Tarafımdan yazılan “Bazı Sebze ve Meyvelerin Mikrodalga Kurutma Davranışının Deneysel Araştırılması ve Matematiksel Modellenmesi” başlıklı bu tezin, Yükseköğretim Kurulu Bilimsel Araştırma ve Yayın Etiği Yönergesindeki hususlara uygun olarak hazırladığımı ve aksinin ortaya çıkması durumunda her türlü yasal işlemi kabul ettiğimi beyan ederim. 12/10/2018

  
Mehmet ŞİMŞEK

*Uyarı: Bu tezde kullanılan özgün ve/veya başka kaynaklardan sunulan içeriğin kaynak olarak kullanımı, 5846 sayılı Fikir ve Sanat Eserleri Kanunundaki hükümlere tabidir.*

## ÖZET

### BAZI SEBZE VE MEYVELERİN MİKRODALGA KURUTMA DAVRANIŞININ DENEYSEL ARAŞTIRILMASI VE MATEMATİKSEL MODELLENMESİ

**Mehmet ŞİMŞEK**

**Recep Tayyip Erdoğan Üniversitesi  
Fen Bilimleri Enstitüsü  
Makine Mühendisliği Anabilim Dalı  
Yüksek Lisans Tezi  
Danışmanı: Prof. Dr. Haydar KÜÇÜK**

Bu çalışmada, kayısı, kivi ve nanein mikrodalga kurutma davranışları deneysel olarak incelendi. Farklı mikrodalga güçleri için (100W, 300W, 450W, 600W, 700W ve 800W) kütle kayıpları ve kuruma süreleri ölçüldü ve bu değerlerden yararlanılarak nem oranı, boyutsuz kütle oranı, kurutma hızı, kütleli büzülme oranı hesaplandı ve renk değişimleri gözlemlendi. Sebze ve meyvelerin ince veya tek tabaka mikrodalga kurutma davranışını belirlemek için 23 adet model denklem kullanılarak matematiksel modelleme yapıldı. Modelleme sonucu elde edilen denklemlerin karşılaştırılması için 14 farklı değerlendirme kriteri kullanıldı ve her bir ürün için en iyi beş kurutma modeli belirlendi.

Sonuç olarak, kayısı, kivi ve nane için en uygun mikrodalga kurutma gücünün sırasıyla 100W, 700W, 700W ve en iyi kurutma modelinin Weibull, Modifiye Midilli-Kucuk (Alibas) ve Midilli-Kucuk olduğu belirlendi. Bununla birlikte, mikrodalga kurutma yönteminin kurutma süresini önemli ölçüde düşürdüğü görüldü.

**2018, 99 sayfa**

**Anahtar Kelimeler:** Mikrodalga Kurutma, Kayısı, Kivi, Nane, İnce ve Tek Tabaka Kurutma Modelleri.

## ABSTRACT

### EXPERIMENTAL INVESTIGATION AND MATHEMATICAL MODELING OF MICROWAVE DRYING BEHAVIOR OF SOME VEGETABLES AND FRUITS

Mehmet ŞİMŞEK

Recep Tayyip Erdoğan University  
Graduate School of Natural and Applied Sciences  
Department of Mechanical Engineering  
Master Thesis  
Supervisor: Prof. Dr. Haydar KÜÇÜK

In this study, microwave drying behaviors of apricot, kiwi and mint leaves were experimentally investigated. Different microwave powers (100W, 300W, 450W, 600W, 700W and 800W), mass loss and drying time were measured and by using these values mass ratio, dimensionless mass ratio, drying rate and mass shrinkage ratio were estimated and variation of colors were observed. Mathematical modeling was performed by using 23 different model equations to determine thin layer or single layer drying behavior of vegetables and fruits. For comparison of equations obtained from modeling, 14 different evaluation criteria were used and the best five drying model ere determined.

As a result, it was determined that the most suitable microwave powers were 100W, 700W, 700W and the best drying models were Weibull, Modifiye Midilli-Kucuk (Alibas) and Midilli-Kucuk for apricot, kiwi and mint leaves, respectively. However, it was observed that the microwave drying method significantly reduced the drying time.

2018, 99 page

**Keywords:** Microwave Drying, Apricot, Kiwi, Mint Leaves, Thin and Single Layer Drying Models.

## İÇİNDEKİLER

ÖNSÖZ .....	I
TEZ ETİK BEYANNAMESİ .....	II
ÖZET .....	III
ABSTRACT.....	IV
İÇİNDEKİLER .....	V
ŞEKİLLER DİZİNİ .....	VII
TABLolar DİZİNİ.....	IX
SEMBOLLER ve KISALTMALAR DİZİNİ.....	X
1. GENEL BİLGİLER.....	1
1.1. Giriş .....	1
1.2. Kurutma ve Kurutma Yöntemleri.....	2
1.2.1. Doğal Kurutma .....	4
1.2.2. Yapay Kurutma.....	4
1.2.3. Kurutucuların Sınıflandırılması ve Seçimi .....	4
1.2.4. Mikrodalga ve Dielektrik Kurutma .....	5
1.2.5. Elektromanyetik Dalgalar.....	6
1.2.6. Mikrodalga Isıtma.....	7
1.2.7. Mikrodalga Isıtma Mekanizması .....	8
1.2.7.1. Dipol Rotasyon .....	8
1.2.7.2. İyonik Polarizasyon .....	8
1.2.8. Mikrodalga Isıtmaya Etki Eden Faktörler .....	9
1.2.8.1. Frekans.....	9
1.2.8.2. Mikrodalga Çıkış Gücü ve Isıtma Hızı.....	9
1.2.8.3. Kurutulan Gıdanın Kütlesi.....	10
1.2.8.4. Gıdanın Su İçeriği.....	10
1.2.8.5. İletkenlik.....	11
1.2.8.6. Spesifik Isı .....	11
1.3. Literatür Taraması .....	11
1.4. Çalışmanın Amacı ve Önemi.....	18
2. YAPILAN ÇALIŞMALAR.....	19
2.1. Materyal.....	19

2.1.1.	Kayısı.....	19
2.1.2.	Kivi .....	21
2.1.3.	Nane.....	22
2.1.4.	Çalışmada Kullanılan Ölçüm Aletleri .....	23
2.2.	Metot.....	24
2.2.1.	Kayısı Kurutma Metodu .....	24
2.2.2.	Kivi Kurutma Metodu .....	25
2.2.3.	Nane Kurutma Metodu .....	26
2.3.	Matematiksel Modelleme .....	27
2.4.	Değerlendirme Kriteri.....	29
2.5.	Kurutma Formüller .....	31
2.6.	Hata ve Belirirsizlik Analizi .....	32
3.	BULGULAR .....	34
3.1.	Kayısı Kurutma.....	34
3.2.	Kivi Kurutma .....	49
3.3.	Nane Kurutma.....	64
3.4.	Kayısı, Kivi ve Nanenin Mikrodalga Kurutma Sonuçlarının Karşılaştırılması.....	79
4.	TARTIŞMA ve SONUÇLAR .....	81
4.1.	Kayısı Kurutma.....	81
4.2.	Kivi Kurutma .....	86
4.3.	Nane Kurutma.....	90
4.4.	Kayısı, Kivi ve Nanenin Mikrodalga Kurutma Sonuçlarının Karşılaştırılması.....	91
5.	ÖNERİLER .....	93
	KAYNAKLAR .....	94
	ÖZGEÇMİŞ .....	99



## ŞEKİLLER DİZİNİ

<b>Şekil 1.</b>	Konveyörlü kavite aplikatörü kullanan tipik bir mikrodalga ısıtma sistemi .....	6
<b>Şekil 2.</b>	a) Gelişi güzel hareket eden polar moleküller, b) Elektromanyetik alanla hizaya sokulan moleküller (Toraman ve Depçi, 2007). .....	9
<b>Şekil 3.</b>	Çalışmada kullanılan levent tipi kayısı örneği.....	21
<b>Şekil 4.</b>	Çalışmada kullanılan kivi örneği .....	22
<b>Şekil 5.</b>	Çalışmada kullanılan nane örneği.....	23
<b>Şekil 6.</b>	Çalışmada kullanılan ölçüm cihazları (a) Mikrodalga fırın (b) Terazî (c) Termometre – Nem ölçüm (d) DFA California nem ölçüm (e) Kumpas .....	24
<b>Şekil 7.</b>	Kayısı kuruma aşamaları.....	25
<b>Şekil 8.</b>	Mikrodalga fırında h ½ yükseklikte ızgara tabak .....	26
<b>Şekil 9.</b>	Kivinin kuruma aşamaları.....	26
<b>Şekil 10.</b>	Nanenin kuruma aşamaları .....	27
<b>Şekil 11.</b>	Kayısı 100W boyutsuz kütle oranı (MR) – zaman grafiği.....	36
<b>Şekil 12.</b>	Kayısı 300W boyutsuz kütle oranı (MR) – zaman grafiği.....	38
<b>Şekil 13.</b>	Kayısı 450W boyutsuz kütle oranı (MR) – zaman grafiği.....	40
<b>Şekil 14.</b>	Kayısı 600W boyutsuz kütle oranı (MR) – zaman grafiği.....	42
<b>Şekil 15.</b>	Kayısı 700W boyutsuz kütle oranı (MR) – zaman grafiği.....	44
<b>Şekil 16.</b>	Kayısı 800W boyutsuz kütle oranı (MR) – zaman grafiği.....	46
<b>Şekil 17.</b>	Kayısının farklı mikrodalga güçlerde kütle kayıp hızı (KKH) – zaman grafiği.....	47
<b>Şekil 18.</b>	Kayısının 100W mikrodalga güçte nem oranı (WR) – zaman grafiği.....	47
<b>Şekil 19.</b>	Kayısının 100W mikrodalga güçte kuruma hızı (KH) – zaman grafiği.....	48
<b>Şekil 20.</b>	Kayısının 100W mikrodalga güçte kütleli büzülme oranı (KBO) – zaman grafiği .....	48
<b>Şekil 21.</b>	Kivi 100W boyutsuz kütle oranı (MR) – zaman grafiği.....	51
<b>Şekil 22.</b>	Kivi 300W boyutsuz kütle oranı (MR) – zaman grafiği .....	53
<b>Şekil 23.</b>	Kivi 450W boyutsuz kütle oranı (MR) – zaman grafiği .....	55
<b>Şekil 24.</b>	Kivi 600W boyutsuz kütle oranı (MR) – zaman grafiği .....	57
<b>Şekil 25.</b>	Kivi 700W boyutsuz kütle oranı (MR) – zaman grafiği .....	59
<b>Şekil 26.</b>	Kivi 800W boyutsuz kütle oranı (MR) – zaman grafiği .....	61
<b>Şekil 27.</b>	Kivinin farklı güçlerde kütle kayıp hızı (KKH) – zaman grafiği.....	62

<b>Şekil 28.</b>	Kivinin 700W mikrodalga güçte nem oranı (WR) – zaman grafiği .....	62
<b>Şekil 29.</b>	Kivinin 700W mikrodalga güçte kuruma hızı (KH) – zaman grafiği.....	63
<b>Şekil 30.</b>	Kivinin 700W mikrodalga güçte kütleli büzülme oranı (KBO) – zaman grafiği .....	63
<b>Şekil 31.</b>	Nane 100W boyutsuz kütle oranı (MR) – zaman grafiği.....	66
<b>Şekil 32.</b>	Nane 300W boyutsuz kütle oranı (MR) – zaman grafiği.....	68
<b>Şekil 33.</b>	Nane 450W boyutsuz kütle oranı (MR) – zaman grafiği.....	70
<b>Şekil 34.</b>	Nane 600W boyutsuz kütle oranı (MR) – zaman grafiği.....	72
<b>Şekil 35.</b>	Nane 700W boyutsuz kütle oranı (MR) – zaman grafiği.....	74
<b>Şekil 36.</b>	Nane 800W boyutsuz kütle oranı (MR) – zaman grafiği.....	76
<b>Şekil 37.</b>	Nanenin farklı mikrodalga güçlerde kütle kaybı hızı (KKH)-zaman grafiği.....	77
<b>Şekil 38.</b>	Nanenin 700W mikrodalga güçte nem oranı (WR) – zaman grafiği.....	77
<b>Şekil 39.</b>	Nanenin 700W mikrodalga güçte kuruma hızı (KH) – zaman grafiği.....	78
<b>Şekil 40.</b>	Nanenin 700W mikrodalga güçte kütleli büzülme oranı (KBO) – zaman grafiği .....	78
<b>Şekil 41.</b>	Kayı, nane ve kivinin 700W nem oranı (WR) – zaman grafiği .....	79
<b>Şekil 42.</b>	Kayı, nane ve kivinin 700W kuruma hızı (KH) – zaman grafiği.....	80
<b>Şekil 43.</b>	Kayı, nane ve kivinin 700W kütleli büzülme oranı (KBO) – zaman grafiği.....	80

## TABLULAR DİZİNİ

<b>Tablo 1.</b>	Matematiksel modellemede kullanılan model denklemleri .....	28
<b>Tablo 2.</b>	Matematiksel modelleme kuruma eğrisi değerlendirme kriteri denklemleri .....	30
<b>Tablo 3.</b>	100W Kayısı kurutma değerlendirme kriteri .....	35
<b>Tablo 4.</b>	300 W Kayısı kurutma değerlendirme kriteri .....	37
<b>Tablo 5.</b>	450 W Kayısı kurutma değerlendirme kriteri .....	39
<b>Tablo 6.</b>	600 W Kayısı kurutma değerlendirme kriteri .....	41
<b>Tablo 7.</b>	700 W Kayısı kurutma değerlendirme kriteri .....	43
<b>Tablo 8.</b>	800 W Kayısı kurutma değerlendirme kriteri .....	45
<b>Tablo 9.</b>	100 W Kivi kurutma değerlendirme kriteri .....	50
<b>Tablo 10.</b>	300 W Kivi kurutma değerlendirme kriteri .....	52
<b>Tablo 11.</b>	450W Kivi kurutma değerlendirme kriteri .....	54
<b>Tablo 12.</b>	600W Kivi kurutma değerlendirme kriteri .....	56
<b>Tablo 13.</b>	700W Kivi kurutma değerlendirme kriteri .....	58
<b>Tablo 14.</b>	800W Kivi kurutma değerlendirme kriteri .....	60
<b>Tablo 15.</b>	100W Nane kurutma değerlendirme kriteri .....	65
<b>Tablo 16.</b>	300W Nane kurutma değerlendirme kriteri .....	67
<b>Tablo 17.</b>	450W Nane kurutma değerlendirme kriteri .....	69
<b>Tablo 18.</b>	600W Nane kurutma değerlendirme kriteri .....	71
<b>Tablo 19.</b>	700W Nane kurutma değerlendirme kriteri .....	73
<b>Tablo 20.</b>	800W Nane kurutma değerlendirme kriteri .....	75

## SEMBOLLER ve KISALTMALAR DİZİNİ

$\bar{R}^2$	Düzeltilmiş Belirleme Katsayısı
$C_p$	Materyalin Özgül Isısı (J/kg.K)
$R^2$	Belirleme Katsayısı
ABD	Amerika Birleşik Devletleri
E	Elektrik Alan Yoğunluğu
EF	Modelleme Verimliliği
f	Frekans (Hz)
I.T.U.	Uluslararası Haberleşme Birliği
IR	İnfrared (Kızılötesi)
KBO	Kütlesel Büzülme Oranı
KH	Kurutma Hızı
KKB	Kütle Kayıp Hızı (kg su/ dak)
m	Ağırlık (kg, gr)
M	Toplam Nem Miktarı
M. Ö.	Milattan Önce
MBE	Ortalama Sapma Hatası
$M_{ilk}$	Ürünün İlk Kütlesi (kg)
MR	Boyutsuz Kütle Oranı
$M_s$	Kuru Kütle (kg)
MSB	Lüle Yataklı Kurutucu
$M_t$	“t” Anındaki Kütle (kg)
MW	Mikrodalga
P	Basınç
P	Ortalama İzafi Oran Hatası
Q	Elektromanyetik Enerjisini
R	Korelasyon Katsayısı
residuals	Residuals
RMSE	Ortalama Karesel Hata
RSS	Kalanların Kareleri Toplamı
RSSE	Azaltılmış Toplam Karesel Hata
SEE	Standart Tahmini Hata

SEM	Taramalı Elektron Mikroskobu
SST	Toplam Kareler Toplamı
T	Sıcaklık (°C)
t	Zaman (s, dak)
V	Hız (m/s)
W	Mikrodalga Gücü (W)
W <sub>ilk</sub>	İlk Nem
WR	Nem Oranı
W <sub>R</sub>	Toplam Hata
W <sub>s</sub>	Son Nem
W <sub>t</sub>	“t” Anındaki Nem
y.y.	Yüz Yıl
$\chi^2$	Azaltılmış ki Kare

# 1. GENEL BİLGİLER

## 1.1. Giriş

Canlılar yaşamlarını sürdürebilmek için besine ihtiyaç duyarlar. İnsanlık tarihinin başlangıcından günümüze değin besin zincirinin sürekliliği için çeşitli metodlar uygulanmaktadır. Hızla artan insan nüfusu, zorunlu göçler ve savaşlar gibi çeşitli kitlesel faktörler insanoğlunun uzun ve yorucu yolculuklarda besin ihtiyacını karşılayabilmesi için gıda işleme ve saklama yöntemlerinin yanında sanayileşmenin de sağladığı olanaklardan faydalanarak bir de gıda kurutma teknolojileri geliştirmesini sağlamıştır.

Kurutma; ürünlerdeki nemin, maddeye ısı verilerek suyun buharlaştırılması işlemi olduğu bilinmektedir. Bu nedenle kurutma, ısı ve kütle transferini birlikte içerir ve kimya, tarım, biyoteknoloji, gıda, polimer, seramik, eczacılık, kâğıt hamuru ve kâğıt, mineral ve kereste işleme endüstrilerinde kullanılan temel işlemlerden biridir. Kurutmaya, hazırlama ve depolama kolaylığı, nakliye ücretlerinin azaltılması, belirlenmiş olan ürün kalitesine ulaşım gibi nedenlerden dolayı ihtiyaç duyulmaktadır. Kurutma sırasında ürünün kalitesini etkileyen önemli parametrelerden biride kurutma hızıdır. Kuruma hızını etkileyen faktörler, iç ve dış faktörler olmak üzere iki başlık altında incelenebilir. Dış faktörler maddeden bağımsız, hava hızı, havanın bağıl nemi, maddenin yüzey alanı gibi faktörlerdir. İç faktörler ise; geçirgenlik, gözeneklilik, çözünürlük, ısı iletkenlik gibi faktörler olup, maddenin iç yapısından kaynaklanırlar (Midilli vd., 1999; Kucuk vd., 2014).

Kurutma işlemi ısı iletimi, ısı taşınımı, ısı ışınımı yöntemleriyle yapılabildiği gibi mikrodalga-dielektrik ısıtma ve ısı transferi yöntemi de geçen yarım asırlık dönemde hızla önem kazanmaktadır. Mikrodalgalar dalga boyu 0.1-100 cm arasında değişen elektromanyetik dalgalardır. Elektromanyetik dalgalar, manyetik alanın değiştirilmesi ile oluşturulabilirler. Görünür ışık elektromanyetik dalgalara örnek olarak verilebilir. Elektromanyetik dalgalar yansıtılabilirler, odaklanabilirler ve kırılabilirler. Mikrodalgalar, sıvıyı ısıtma etkisi keşfedildiğinden buyana kurutma ve ısıtma yöntemlerinde önemli çalışma konusu oluşturmuşlardır. Bu durum, MW ile üründen

nem uzaklaştırmanın farklı kurutma yöntemlerine nazaran avantajlı olduğu ispat edilmiştir. Burada önem arz eden olay enerjinin doğrudan ürüne verile bilinmesidir. Bu işlemde enerji israfı az olurken kurutma verimliliği yüksektir.

Literatürdeki kurutma uygulamalarında, konvansiyonel sistemler yaygın olarak kullanılmakta olup kurutmanın amacı, gıda güvenliği sağlayıp kalitesini arttırmaktır (Kucuk vd., 2014). Bu bağlamda özellikle kayısı, fındık, çay, üzüm, incir gibi üretim potansiyeli yüksek ürünler ile Türkiye’deki üretim geçmişi çeyrek asır olan yeni bitkisel ürün kivi ve her mutfağın olmazsa olmazı nanenin kurutulmasında enerji tüketimi, zaman, ürün kaybı ve gıda kalitesi açısından mevcut olan olumsuzlukların giderilmesi için üç farklı üründe mikrodalga kurutma uygulaması gerçekleştirilmektedir.

Literatürde kayısı, kivi ve nane için çok az sayıda mikrodalga ile kurutma çalışması mevcut olup bu çalışmalarda az sayıda kurutma modeli ve değerlendirme kriteri kullanılmıştır (Kucuk vd., 2014). Bu çalışmada, kayısı, kivi ve nanenin; mikrodalga çıkış gücüne bağlı olarak, kurutma karakteristikleri incelenerek matematiksel modellemesi kapsamlı olarak gerçekleştirilmiştir. Bu kapsamda altı farklı mikrodalga çıkış gücü (100, 300, 450, 600, 700 ve 800 W) için 23 farklı ince veya tek tabakalı kurutma davranışını temsil eden model denklemleri ve 14 farklı değerlendirme kriteri kullanılmıştır.

## **1.2. Kurutma ve Kurutma Yöntemleri**

Gıda güvenliği ve kalitesinin sağlanmasında önemli parametrelerden bir tanesi de kurutma işlemidir. Günümüzde uygulamada çok çeşitli kurutma sistemleri olmasına rağmen özellikle enerji tasarrufu ve ürün kalitesi parametreleri dikkate alındığında kurutma sistemlerinin veya proseslerinin ciddi anlamda iyileştirilmeye ve geliştirilmeye ihtiyaç olduğu görülmektedir. Özellikle gıdaların kurutulması için değişken koşullarda çalışabilen ve enerji israfını minimize edebilen kurutma sistemlerinin teorisinin geliştirilmesi, pratik uygulamalarının yapılması ve endüstriyel tatbikatlarının hayata geçirilmesi gerekmektedir. Mikrodalganın kurutma proseslerine sağladığı avantajlar dikkate alındığında mikrodalga uygulamanın meyve ve sebzeler üzerindeki etkisinin araştırılmasına ihtiyaç vardır (Midilli vd., 1999; Kucuk vd., 2014).

Kurutma, ürün içerisinde difüzyonla ve yüzeyden buharlaştırmayla nemi uzaklaştırarak ıslak ürünün nemini istenilen düzeylere indirerek ürünün kurutulmasını sağlayan önemli bir proses olup kullanımı gıda, ilaç, kereste vb. sektörlerde oldukça yaygındır (Midilli vd., 1999; Kucuk vd., 2014).

Kurutma, gıdaları olumsuz çevre koşullarından koruyan en ucuz ve en kolay yöntemlerden biri olup, nemin üründen uzaklaştırılması, mikrobiyal ve biyokimyasal reaksiyonların hızını düşürerek ürün kalitesini korur (Midilli vd., 1999).

Kurutma süresinin azaltılması enerji maliyetlerinin düşürülmesi için oldukça önemli olup mikrodalga veya mikrodalga kombinasyonlu kurutma sistemlerinde kurutma zamanının konvansiyonel kurutma sistemleriyle karşılaştırıldığında önemli ölçüde düşürüldüğü görülmüştür (Teymur, 1999). Ayrıca, mikrodalga ile gerçekleştirilen kurutmadaki ürünün rengi ile taze ürünün rengi arasında önemli fark olmadığı sadece renk parlaklığında bir miktar azalma olduğu gözlenmiştir (Teymur, 1999).

Bir ürün doğal olarak kururken ya da kurutulurken, iki ayrı süreç oluşur: bunlar 1) ürün yapısındaki suyu buharlaştırmak için ihtiyaç duyulan ısı enerjisi değişimi ve 2) ürünün sıvı kütlesinin sistemden uzaklaştırılmasıdır. Yukarıdaki iki olayın oranını tayin eden etkenler, ürünün kurutma hızında da belirleyici olur. Kurutma olayının birincil etkisi, kurutma için gerekli olan ısı enerjisi verimli kullanmaktır. Bundan dolayı ısı transferi her ürün için büyük önem taşırken ısı geçişi; iletim, taşınım, ışınım veya üçünün birleşimi şeklinde gerçekleşebilir. Isı enerjisinin hareketi maddeye temas ettiği noktadan et kalınlığı nazarında iç yüzeye yada tüm yüzeylere doğru oluşurken bu durumun mikrodalga enerji ile katının her alanında eşit miktarda sıvı moleküllerin titreşimi aracılığı ile oluşur (Teymur, 1999).

Kurutma işleminin uygulanmasının pek çok amacı vardır. Bunlar aşağıdaki gibi sıralanabilir;



- a) Maddenin nemini, mikrobiyal olay ve/veya diğer biyolojik ve kimyasal reaksiyonları minimize ederek, ürünlerin raf ömürlerinin uzatarak depolanmalarında ürünün çürümesini önlemek.
- b) Madde içindeki su miktarı değerinin azaltılarak, ürününü kütlesi, aromatik ve besin değerleri vb. ürün kalitesini belirleyen faktörlerin korunmasını sağlamak.
- c) Maddenin kurutulmasıyla azalan hacimsel yapısından dolayı ürünün depolanması, taşınması, nakliyesinin ve saklanması daha az maliyetli olması.
- d) Tüketimi kolay besin değeri yüksek ürün keşfetmek veya üretimini sağlamak (Dündar H., 2010).

### **1.2.1. Doğal Kurutma**

Doğal yolla kurutma yöntemi, adından da anlaşılacağı üzere güneş enerjisinden faydalanılarak uygulanan yaygın bir kurutma yöntemidir. Başka bir deyişle ürün yapısından su oranının doğal olarak uzaklaştırılmasına doğal kurutma denir (Midilli vd., 1999).

### **1.2.2. Yapay Kurutma**

Doğal kurutmanın mümkün olmadığı, kurutma işleminin kapalı ve kontrol edilebilir sistem koşullarında yapılması da yapay kurutma yöntemleri arasında sayılabilir. Sistem gereksinimleri kurutulacak ürün ve kurutma hassasiyeti göz önüne alınarak farklılık arz etmektedir. Bu yöntem, ürün yapısında bulunan suyun büyük bir çoğunluğun üründe herhangi bir değişim olmaksızın uzaklaştırılması işlemiyle uygulanır (Evranoz, 1989; Teymur, 1999).

### **1.2.3. Kurutucuların Sınıflandırılması ve Seçimi**

İstisnalar dışında, günümüz endüstrisindeki çoğu ürün, bir aşamada veya farklı bir yerde kurutulur. Ürün kalitesine duyulan ihtiyaç, seçilen kurutucu ve kurutma işleminde ciddi kısıtlamalar getirmektedir (Menon ve Mujumdar, 1982).

Bu bilgiler ışığında kurutma sınıflandırması (a) Isı iletimi (Kondüksiyon), (b) Isı taşınımı (konveksiyon), (c) Isı ışıması (radyasyon) ve (d) dielektrik ısıtma gibi ısı

transferi yöntemlerine dayanmaktadır. Dondurarak kurutma, özel bir iletimle ısıtma durumu olarak sınıflandırılır. Bir sonraki alt bölüm ise tepsi, döner tambur, akışkan yatak, pnömatik veya sprey şeklindeki kurutma kabı tiplerine ayrılmıştır. Son olarak besinlerin fiziksel formuna dayalı kurutucu sınıflandırması da yapılmıştır (Mujumdar ve Arun, 2006).

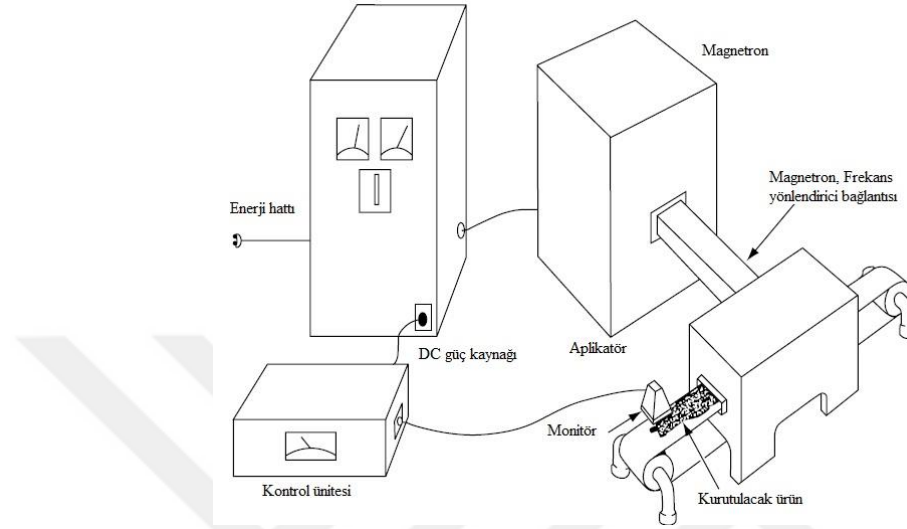
Bu çalışmada genel kurutucu türleri, özel kurutma teknikleri ve yeni tür kurutucular aşağıda başlıklar halinde verilmiştir (Mujumdar ve Arun, 2006).

- Dolaylı kurutucular
- Döner kurutucular
- Akışkan yataklı kurutucular
- Endüstriyel püskürtmeli kurutma sistemleri
- Dondurarak kurutma
- Güneşte kurutma
- Lüle yataklı kurutucu
- Pnömatik ve ani kurutma
- Konveyör kurutucular
- Kızılötesi kurutma
- Özel kurutma teknikleri ve yeni kurutucular
- Tamburlu kurutucular
- Kızgın buhar kurutma
- Darbeli kurutucular

#### **1.2.4. Mikrodalga ve Dielektrik Kurutma**

Mikrodalgalar, elektromanyetik çeşitliliğinin bir bileşeni olup dalga boyları 0.001-1m arasında değişen elektromanyetik radyasyon formudur. 300 MHz (100 cm) ve 300 GHz (0,1 cm) frekans aralığında olan elektromanyetik dalgalar; ısıtma frekansları, endüstriyel, bilimsel ve tıbbi kullanımlar için belirlenmiştir (Özkan vd., 2007). Mutfak tipi olarak kullanılan mikrodalga fırınlarda ise 2450 MHz frekansları uygun ve yaygın biçimde kullanılmaktadır. Bu frekansın seçimi suyun rezonans frekansı değeri olmasıdır. Mikrodalga kurutma ve ısıtma uygulamalarında kullanılabilen frekanslar, 915

ve 2450 MHz'dir (Yağcıoğlu, 1999). Şekil 1'de geri bildirim sistemi, ısıtılmış malzemeyi izler ve son nemi kontrol etmek için magnetronun çıkış gücünü otomatik olarak ayarlar (Schiffmann, 2006).



**Şekil 1.** Konveyörlü kavite aplikatörü kullanan tipik bir mikrodalga ısıtma sistemi

MW kurutucular, proses kontrol kolaylığı, ürüne göre seçicilikleri, kurutma zamanında kısalma gibi özellikleriyle verimli kurutuculardan biridir. Konvansiyonel yöntemlerle karşılaştırıldığında “içten dışa doğru ısınma” sağladığı gibi yanlış bir kanı oluşmasının sebebi geleneksel yöntemlerdeki dıştan içe ısı aktarımı yerine mikrodalgayı absorblayan her noktada eş ısınma sağlamasıdır. Harcanan enerjinin tamamına yakını sadece ürünü ısıtmada kullanıldığı için verimlidir. Mikrodalgaların ürün içine nüfuz etme derinliği sınırlı olduğu bazı ürünlerde belirli noktalarda enerji toplanması sonucu yanma olduğunu unutmamakla birlikte mikrodalga kurutma her ürün için uygundur denilemez (Drouzas vd. 1999; Won vd., 2004).

### 1.2.5. Elektromanyetik Dalgalar

Her zaman elektromanyetik dalgalar ile çevriliyiz. Işık, x-ışını, TV, AM ve FM radyo dalgaları, ultraviyole, kızılötesi ve mikrodalgalar bu dalgaların ortak tezahürlerinden bazılarıdır. Evrendeki tüm cisimler, mutlak sıfır sıcaklığın üzerinde, elektromanyetik dalgalar yayarlar. Tüm elektromanyetik dalgalar, dalga boyu ve frekansları ile karakterize edilir (Schiffmann, 2006).

Elektromanyetik dalgalar, dalga boyu ve frekansa bağı olarak sınıflandırılır. Dalga boyu ve frekans birbiriyle ters orantılı olan niceliklerdir. Frekans saniyedeki çevrim sayısı olarak tanımlanırken dalga boyu çevrimin uzunluğu olarak tanımlanır. Bu dalgalardan gama ve x ışınları kimyasal bağları; mor ötesi, görünür ve kızılötesi dalgalar zayıf hidrojen bağlarını kırabilecek yeterli enerjiye sahiptir. Mikrodalgaların dalga boyu bu dalgalardan daha büyük olduğundan (daha küçük frekans değeri) kimyasal bağ kırabilecek enerjiye sahip değildir. Yani mikrodalgalar kimyasal bağ kuramaz, İyonizasyona sebep olur. İyonizasyon elektron iyonlarının kutuplaşmasıdır. Mikrodalga sayesinde uygulama alanı  $2.45 \times 10^9$  kez titreşir. Dipol moleküller de mikrodalganın bu hızlı hareketiyle senkronize olmaya çalışırken oluşan sürtünmeyle ısınır. Isınma sonucu kimyasal bağlar kırılır. Bağların kırılma sebebi doğrudan mikrodalga değil, mikrodalga sonucu oluşan ısıdır (Kartal, 2011).

#### **1.2.6. Mikrodalga Isıtma**

Mikrodalga ısıtmada enerji ürünün her noktasından üretildiği için geleneksel ısıtmadan farklıdır. Isıtılan numunenin iç sıcaklığı daha yüksektir. İçten üretilme terimi mikrodalga için çok sık kullanılan bir tabir olmakla beraber ısının merkezden çevreye yayıldığı yanılıgısına sebep olur fakat durum bundan farklıdır. Enerji maddenin her yerinde eşit olarak üretilir. Sıcaklık eşit dağılım gösterdiği için numunede termal gerilimler azalmaktadır (Afzal ve Abe, 2000; Toğrul ve Pehlivan, 2003).

Mikrodalga kaynakların sanayi ve evde kullanımını geliştiren teknoloji ile son yıllarda artış göstermektedir (Konak vd., 2009). Bir maddenin yani bir sıvının mikrodalga ile ısıtılması, uygulanan elektrik alan şiddetinin bir sonucu olarak iyonik bileşenlerin hareketi ya da moleküllerin polarizasyon–depolarizasyon mekanizması ile gerçekleşmektedir (Gwarek ve Celuch, 2004).

Hacimsel ısıtma, mikrodalga ile ısıtmanın en önemli özelliğidir. Mikrodalganın materyalin içine soğrulması (penetrasyonu) ile sağlanan kısa başlangıç süresi ve iç ısınma randımanı arttırmakla ve proses süresini kısaltmaktadır. Sağlanan bu özellikler mikrodalgayı ilgi çekici bir ısı enerjisi kaynağı yapmaktadır (Venkatesh ve Raghavan, 2004).

Mikrodalga enerjinin bir maddeyi aşarken uğradığı enerji kaybına, o maddenin “kayıp faktörü” denilmektedir (Cemeroğlu, 2018). Kayıp faktörü yüksek olan ürünler mikrodalga etkisiyle daha çabuk ısınmaktadır (Giese, 1992). Kayıp faktör değeri; elektromanyetik dalgaların frekansına, maddenin sıcaklığına, fiziksel durumuna ve bileşimine bağlı olarak değişmektedir (Galema, 1997).

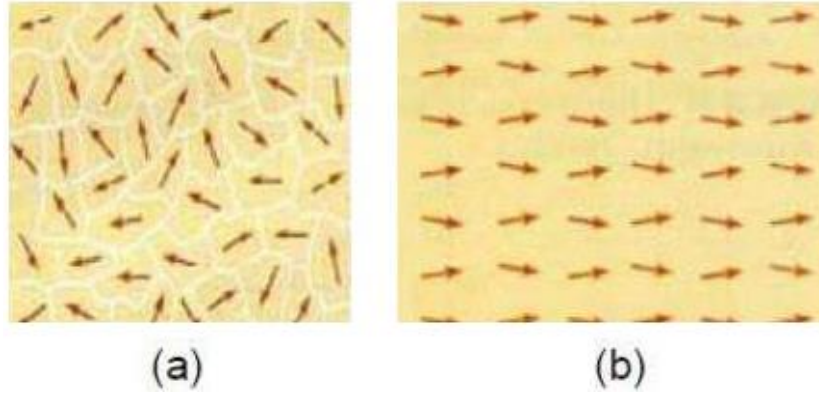
## **1.2.7. Mikrodalga Isıtma Mekanığı**

### **1.2.7.1. Dipol Rotasyon**

Gıdalar başta su olmak üzere çeşitli polar moleküller içermektedir. Bu moleküller gıda içerisinde gelişi güzel bir şekilde bulunurlar. Elektrik alanı uygulandığında gıda içerisindeki elektriksel olarak asimetric ve polar moleküller frekansa bağlı olarak polaritesi hızla değişen elektrik alanı nedeniyle dönme eğilimi (dipol rotasyon) göstermektedir. 2450 MHz’de çalışan ev tipi mikrodalga fırınlar da elektrik alanının yönü saniyede 2.45 milyar kez değişmektedir. Hızla değişen elektrik alanının polaritesine uyum sağlamak için dönen polar moleküllerinin, birbiri ile ve ortamdaki diğer moleküllerle sürtünmelerinden dolayı ısı açığa çıkmaktadır (Uslu ve Certel, 2006).

### **1.2.7.2. İyonik Polarizasyon**

Gıda içerisindeki çözülmüş tuzların iyonik bileşenleri, üzerindeki elektriksel yük nedeniyle uygulanan elektrik alanının polaritesine zıt istikamette hızlanarak hareket etmeye başlamaktadır (Şekil 2). İyonların bir biriyle çarpışması hareket eden iyonların kinetik enerjisinin termal enerjiye dönüşmesine neden olmaktadır (Uslu ve Certel, 2006).



**Şekil 2.** a) Gelişi güzel hareket eden polar moleküller, b) Elektromanyetik alanla hizaya sokulan moleküller (Toraman ve Depçi, 2007).

## **1.2.8. Mikrodalga Isıtmaya Etki Eden Faktörler**

### **1.2.8.1. Frekans**

Değişik şekillerde, çok geniş bir spektrumda elde edilen mikrodalgalarda kullanılan frekanslar ve dalga boyları endüstriyel, bilim ve tıbbi amaçlar için sınırlandırılmıştır. Gıda sanayinde işleme ve pişirme için Uluslararası Haberleşme Birliği (I.T.U.) tarafından düzenlenen mikrodalga kullanım frekansları,  $2450 \pm 50$  MHz ve  $915 \pm 15$  MHz olarak ön görülmektedir. Mikrodalga enerjinin frekansı ve buna bağlı olarak değişen dalga boyu kurutulacak gıdanın işleme derinliği direkt olarak etkilemektedir. Gıdaların içinde bulunan su için güç derinliği 2450 MHz frekansta 2–3 cm ve 915 MHz frekansta 20 cm'dir. Bu nedenle kurutulacak gıdanın boyutlarına göre seçilecek frekansta önem taşımaktadır. Genellikle geniş boyutlu gıdalar için, dondurulmuş balıkların eritilmesi gibi, 915 MHz frekansta çalışmasının, daha küçük boyutlar için örneğin sosislerin pişirilmesi gibi 2450 MHz yeterli olacağı bildirilmiştir (Yurdagel vd., 1994).

### **1.2.8.2. Mikrodalga Çıkış Gücü ve Isıtma Hızı**

Birçok endüstriyel mikrodalga sistemi 5–100 kW arasında değişen mikrodalga çıkış gücünde çalışmaktadır. Güç akısının verilen kütle için yüksek olması, sıcaklığın hızla artmasına neden olur ve pişirme, fırınlama ve diğer bazı gıda işlemlerinde başlangıçta yükselen ısı etkisiyle bazı reaksiyonların hızlanması sonucu oldukça kompleks fizikokimyasal olaylar ortaya çıkabilmektedir. Buda kurutulmuş gıdanın

değişmesine, tadının kötüleşmesine ve kalitesinin düşmesine neden olur (Yurdagel vd., 1994).

Mikrodalga çıkış gücü dolayısıyla ısıtmanın hızlı olmasından dolayı oluşan bir diğer problem homojen olmayan sıcaklık dağılımıdır. Bunun nedeni kısmen çabuk ısınan kısımlardan daha yavaş ısınan kısımlara ısı transferinin düşük hızla gerçekleşmesi, kısmen de ısıtılan materyalin şekli, örneğin köşeli bir gıda olmasıdır (Yurdagel vd., 1994).

### **1.2.8.3. Kurutulan Gıdanın Kütlesi**

Genel olarak materyalin kütlesi büyüdükçe, sabit güçteki bir mikrodalgada ısıtmak için gerekli süre de artmaktadır. Bununla birlikte, ısıtmanın etkinliği de genellikle kütledeki artışa bağlı olarak artmaktadır. Isıtılacak toplam kütle göz önüne alındığında, istenen ısıtmayı sağlayabilmek için kütle ile mikrodalga çıkış gücünün mikrodalga arasında doğrudan bir ilişkisi vardır. Toplam kütle küçük ise kesikli bir sistem için daha uygundur. Ancak kütle büyüdükçe bantlı sistemlerin kullanımı daha verimlidir. Bu gibi sistemlerde ısıyı homojen bir şekilde sağlamak da mümkün olmaktadır (Decareau, 1992; Yurdagel vd., 1994).

### **1.2.8.4. Gıdanın Su İçeriği**

Su genellikle mikrodalga enerjinin absorblanmasında önemli bir etkidir. Yüksek su içeriği, gıdanın yüksek dielektrik kayıp faktörüne sahip olmasını ve dolayısıyla da daha iyi ısınmasını sağlar. Ancak spesifik ısıdaki azalma sayesinde düşük su içeren gıdalar da mikrodalga ortamın da işlenebilmektedir. Mikrodalga ısıtma sırasında materyalin kurumasiyla daha nemli bölgelerin mikrodalga enerjii absorblamaları daha kolay olmaktadır. Bu olay, özellikle kurutma işleminde önemli bir avantajdır. Genel olarak, gıdanın nem içeriği yüksekse dielektrik sabiti yüksek olur. Dielektrik kayıp faktörü, nem içeriği %20–30 oluncaya kadar artış gösterir ve bazı durumlarda bu nem içeriğinde sonra azalma olabilir. Karışımın dielektrik sabiti karışımı oluşturan bileşenlerin dielektrik sabitleri arasında yer almaktadır (Yurdagel vd., 1994).

### **1.2.8.5. İletkenlik**

Mikrodalga sistemlerinde genellikle dipolar dönme, ısının oluşmasında etken mekanizma olurken gıda maddelerinin ısınmasında çoğunlukla iyonik kondüksiyon esas rol oynamaktadır. Gıda maddelerine çoğunlukla tuz eklenmesi gıdanın mikrodalga ısıtılmasında etkili olup ısıtma oranını artırmaktadır. Gıdanın içeriğinde böyle bir değişiklik, mikrodalga sistemlerin kullanılması sırasında dikkatle yapılmalıdır. Tuz katılması mikrodalga penetrasyon derinliğini doğrudan etkilemekte ve yüzeyde aşırı ısınmalara neden olabilmektedir (Yurdagel vd., 1994).

### **1.2.8.6. Spesifik Isı**

Mikrodalga ısıtmada gıdanın spesifik ısısı genellikle ihmal edilen bir parametredir, ancak ısıtma işleminin uzun sürmesi durumunda dikkate alınması gereken bir etken olmaktadır. Spesifik ısı özellikle mikrodalga alanında ısıtmada düşük dielektrik kaybı olan materyallerin ısıtılmasında önemli rol oynamaktadır (Yurdagel vd., 1994).

## **1.3. Literatür Taraması**

Literatür taraması yapıldığında mikrodalğanın kombine kurutma sistemleri ile birlikte kullanıldığı gözlenmiştir. Tek başına kurutma işlemleri genelde deneysel ve evsel kullanım söz konusu iken genel de sanayi kullanımının da sıcak havalı taşınım ile mikrodalga, hava hızı ve mikrodalga güç içerikleri ile birlikte vakum altında infrared radyasyon altında kurutma çalışmaları mevcuttur.

Maskan (2001), 5.03mm kalınlıktaki kivi numuneleri üzerinden sıcak hava, mikrodalga ve sıcak hava–mikrodalga ile kurutulmasını karşılaştırdı. Mikrodalga ile kurutma veya mikrodalga–sıcak hava ile kurutma oranının artmasıyla kurutma süresinin önemli derecede kısaldığını gözlemledi. Kivi numunelerinin hâlihazırda mikrodalga ile kurutulması sıcak hava ile kıyaslandığında meyvelerdeki büzülme iç gerilmeler daha fazla iken, sıcak hava–mikrodalga kurutma kombinasyonunun da az olduğunu gözlemledi. Mikrodalga ile kurutulan meyvelerde çalışılan diğer kurutma metotlarından daha düşük nem oranı tespit edildi.



Özkan vd. (2007), gelişmiş ülkelerde özellikle baklagiller ve tahıllarda kısa süreli kurutma sağlamak amacıyla yaygın olan mikrodalga ile kurutma yöntemi ile domatesin kurutulması araştırdılar. Deneyler sonucunda domatesim mikrodalga ile kurutulması yönteminin diğer kurutma yöntemlerinden daha kısa sürede kurutma sağlaması, renk, koku ve tat gibi özelliklerinin korunması ve dahi şekilsel açıdan herhangi bir problemin olmadığını tespit edildi.

Tuncer (2006), baharatlık kırmızıbiberin kurutma işlemini mikrodalga bantlı kurutucuda araştırdı. Yapılan bu çalışmada mikrodalga ile kurutulan biberin, kalitesinin doğal olduğunu, kuruma süresinin azaldığını ve enerji maliyetinin düşük olduğunu ispatladı.

Silva vd. (2006), mikrodalga enerji kullanarak macadamia cinsi fındık kurutma çalışması yapmışlardır. Kurutma süresinin geleneksel (konvansiyonel–sıcak hava) kurutmada duyulan sürenin 1/33 ila 1/26 kadar kısa sürede gerçekleştiğini ispatladı. Diğer taraftan önerilen methot olan kurutma işlemi süresince mikrodalga uygulaması ile konvansiyonel kurutma işlemi ile kurutulan ürünler karşılaştırıldığında mikrodalga kurutma da fındığın doğal özelliklerinin etkili olduğu belirlendi.

Özbek ve Dadali (2007), mikrodalga enerji kullanarak, nem içeriği, nem oranı, kurutma hızı, süresi ve efektif nem yayılma gücü (difüzyon) etkilerini araştırdılar. Çalışmada 180–900W mikrodalga çıkış güç aralığında 25–100g. Numunelerle kuruma süresinin 12.50'den 3.0 dakikaya azaldığını belirlediler. Kinetik parametrelerini belirlemek için kuruma verisi kuruma süresine karşın başlangıç ve son nem içerikli ve denge nem içeriği arasındaki oranın farklılıklarına dayalı çeşitli modellerin uygun buldular. Uygulanan modeller içerisinde yarı ampirik Midilli–Küçük modeli tüm kurutma koşullarında en uygun model olarak tespit edildi.

Karaaslan (2008), yaptığı çalışmada çay yapraklarını mikrodalga enerji ile kuruttu ve mikrodalga kurutmanın çay yapraklarının kurutulmasında en iyi teknolojik yöntem olduğunu belirledi. Araştırmalar ve deneyler sonucunda hızlı kuruma, renk, şekil ve enerji bakımından diğer kurutma yöntemlerinden üstün olduğu gözlemlendi. Mikrodalga

uygulanarak ısı enerjisinin etkin kullanılmasıyla sağlanacak enerji tasarrufu enerji maliyetini, kömüre nazaran 2.5 kat daha ucuz olduğunu tespit etti.

Karaaslan ve Tuncer (2008), ıspanağı farklı mikrodalga güçler ve sıcak hava kombinasyonlu kurutucuda kurutmuşlardır. Çalışma sonucunda kuruma zamanı, kuruma hızı ve renk değişimlerini incelemişlerdir. Ispanak bitkisinin kurutulmasında en önemli etkenin mikrodalga güç ve sıcak hava olduğunu gözlemlemişlerdir. Deneysel verilerle Midilli–Küçük, basitleştirilmiş Fick Difüzyonu, Newton, Verma, Difüzyon Yaklaşımı, İki Terimli Ekspansiyel, Wang ve Singh, Henderson ve Pabis, Modifiye Page, Page modelleri karşılaştırılmıştır. Matematiksel modelleme de kurutma davranışını açıklayan en iyi modelin Midilli–Küçük modelinin olduğunu belirlemişlerdir.

Meda vd. (2008), %75-80 nem içeriğinde hasat edilen ve nem içeriğini düşürmek için kurutulan Saskatoon çilekleri üzerinde bir çalışma yapmışlardır. Saskatoon çilekleri mikrodalga-vakum kurutma kullanılarak başlangıç nem içeriği %75,5'den %25'e kadar kurutuldu. Saskatoon çileklerinin farklı güç ve vakum basınç seviyelerinde mikrodalga ile vakumla kurutulması araştırıldı ve aşağıdaki sonuçlar çıkarılmıştır: Vakum basınç seviyeleri Saskatoon çileklerinin kuruma zamanı mikrodalga güç seviyesi ile kıyaslandığında önemli ölçüde etkilenmediği görüldü. Artan mikrodalga güç seviyesi numuneler için daha hızlı kuruma sürelerini ortaya çıkardı. Güç seviyesi gözlenerek yapılan 10 ila 12 dakikalık kurutmadan sonra örneklerin nem içeriği sırasıyla 33,5 ve 67,0 kPa'dan 29.74 ve 31.24% olduğu görüldü. Polinom ve üstel modeller kurutma modellerine uygulandı. Üstel model, düşük vakum basıncındaki kurutma verileri, yüksek belirlenme katsayısı ( $R^2$ ) ve düşük standart hata (SE) polinom modeli ile kıyaslandığında daha iyi bir sonuç elde edildi. Öte yandan polinom modelinde yüksek vakum basıncında kurutma verileri için daha iyi bir uyum sağlandı.

Demirhan ve Özbek (2008), fesleğen yapraklarını mikrodalga kurutma tekniği ile nem içeriği, nem oranı, kurutma oranı, kurutma zamanının etkili nem dağılımı etkisini araştırdılar. Fesleğen yapraklarının kurutulma kinetiği mikrodalga fırında çeşitli mikrodalga çıkış güçlerinde ve numunelerde ölçüldü. Kurutma süresi mikrodalga çıkış gücü artırılması ile düştüğü görülürken mikrodalga kurutma tekniği kullanılan fesleğen yapraklarındaki numune miktarlarında da düşüş görülmüştür. Bu teknik güneş

kurutması ve sıcak hava kurutması ile kıyaslandığında kullanımı başarılıdır. Kullanılan fesleğen yapraklarının kurutma kinetiğini tanımlamak için önerilen 8 model arasında yarı ampirik logaritmik model, daha yüksek belirleme katsayısı ve daha düşük hata tahmin standardı ile deneysel ve öngörülen nem oran değerleri arasındaki uyumu ortaya koydu. Etkin nem yayılım verilerinin ve kurutma oran sabitinin değerlendirilmesi doğrusal modelde uygun verileri gösterdi. Elde edilen sonuçların bu çalışmada kullanılan mikrodalga fırın ile sınırlı olduğuna dikkat edilmelidir, çünkü her bir mikrodalga fırın kendi güç dağılımını sergilediği tespit edildi.

Panigrahi vd. (2009), Elyaf lifinin mikrodalga-vakum şartları altında kuruma karakteristiği üzerine çalışıldı. Kurutma deneyleri mikrodalga-vakum kurutma deneyleri üç farklı proses değişkeni kullanılarak mikrodalga-vakum kurutucuda, mikrodalga gücü (750 W ve 375 W), vakum seviyesi (Hg'de 25, 10 ve 0) ve kurutma süresi (0 ila 14 dakika) kullanılarak gerçekleştirildi. Uygun kurutma eğrisi denklemini seçmek için kurutma verileri 3 farklı şekilde kullanıldı; 1) Page modeli 2) Tek üstel modeli 3) Yaklaşımlı difüzyon modeli. Biyokompozit yapmak için kullanılan işlenmiş keten lifi çeşitli mikrodalga-vakum test koşullarında kurutuldu. Sonuçlar mikrodalga-vakum kurutma teknolojisinin ticari olarak kullanılması için umut verici olduğunu gösterdi. Mikrodalga vakumla kurutma 750W güçte ve 25hg vakumda zamanda en fazla tasarruf sağlandı. Mikrodalga vakumun kombinasyonu, vakumsuz mikrodalga kurutmasıyla kıyaslandığında, kurutma kalitesinde belirgin bir etkiye sahip olduğu görüldü. Mikrodalga ısıtması ile vakum kurutma eklenerek kurutma kıyaslandığında kurutmanın hızlandığı görüldü. Morfolojik muayene ve SEM (Taramalı Elektron Mikroskopu-scanning electron microscope) görüntüleri, mikrodalga ile kurutulmuş keten elyaf yüzeyinde herhangi bir kalite bozulmasının bulunmadığını gösterdi. Seçilen üç yarı teorik model arasında Page Modeli, tüm farklı kombinasyonlarda en iyi uyumu gösterdi.

Demirbaş (2010), Ülkemizde özellikle Karadeniz bölgemizde üretimine başlanılan kivi meyvesi Karadeniz bölgemizin endüstriyel bitkisi çay ve meyvesi fıncığın yanında yerini almaya başladı. Dolayısıyla da ürünün bol olduğu mevsimde kurutulması ve uzun depolama sürecinde bozulmadan kalabilmesi raf ömrünün uzun olması için kısa süreli ucuz kurutması ve mikrodalga kurutmanın gelecek vaat ettiğini ifade etti.

Sarımeşeli (2010), gıda ve kimya endüstrisinde depolama ve diğer operasyonlar sırasında ısı ve kütle transfer süreçlerinin tasarım ve modellenmesinin ihtiyaç duyulduğu bu bilgilerden dolayı çeşitli güç çıkışlarında Kişniş yapraklarındaki mikrodalga kurutma karakteristiği inceledi. Etkin nem dağılımında mikrodalga güç çıkışının, renk parametresi ve kişniş yapraklarının rehidrasyon özellikleri üzerine etkisi mikrodalga kurutucu kullanılarak araştırıldı. 80–360W mikrodalga güç değerleri aralığında etkin nem dağılımı  $6.3 \times 10^{-11}$ - $2.19 \times 10^{-10}$  m<sup>2</sup>/s bulundu. 180W’da kurutulan numunelerde en yüksek rehidrasyon kapasitesi, 900W’da kurutulan numunelerde ise en düşük rehidrasyon kapasitesi kaydedildi. Diğer taraftan, diğer metotlarla kıyaslandığında mikrodalga kurutmanın daha kısa sürede gerçekleştiği açıktır. Kurutulmuş yaprakların, tüketici ve besin endüstrinin etkilendiği taze yapraklarla aynı renk ve kokuda olduğu görüldü. Midilli ve arkadaşları tarafından önerilen zamana göre tüm mikrodalga güç çıktılarının nem oranı varyasyonunun başarılı bir şekilde modellenebileceği göstermiş oldular.

Lombraña vd. (2010), mikrodalga enerji kullanılarak kesilmiş mantarlar kurutmada, sıcaklık kontrol durumu ve basınçla ilişkili farklı operasyonel durumlar ve kurutma kinetik ve kalitesine etkileri araştırdılar. İnce bir şekilde kesilmiş mantarlar 2.45 GHz mikrodalga enerji uygulanarak örnek bir modelde kurutuldu. Dehidre edilen mantarların kalitesine etkisi iki farklı teknikte çalışıldı; bunlar, emme izotermi ve taramalı elektron mikroskopudur. Kurutma kinetiği işlem sırasında ürünün yüzeyindeki nemdeki değişiklik hesabını alan bir matematiksel model uygulanarak yayılım kararlılığının analizi yapıldı. Taramalı elektron mikroskopunun gözlem sonuçları ve kalitesi, her bir deneyin yayılım değerleriyle bağlantılı olabilir. Genellikle işletme koşulları, kurutma kinetiği ve kalitedeki ters eğilimler sonuca uygulandı. Yüksek sıcaklık seviyeleri, mikrodalga ısıtmanın uygun ters sıcaklık gradyan karakteristiğiyle düzeltilmemişse dehidre edilen üründe olumsuz kalite sonuçlarına sebep olmaktadır. Sonuç olarak atmosferik basınç altında mikrodalga ısıtmasıyla kurutma çok uygun yayılım ve kurutma oranı sonuçlarına sebep olmasına rağmen kalite yönünde olumsuz sonuçlandı.

Nair vd. (2011), Keten lifi, kurutma oranı ve kalitesindeki değişim çalışması için kontrol edilebilen sıcaklıkta mikrodalga kurutmaya tabi tuttular. Bu kurutma oranı konvansiyonel sıcak hava kurutması ile kıyaslandı. Ürün sıcaklığı, hem mikrodalga hem de sıcak hava kurutmasında 40°C, 60°C ve 80°C’de sürdürüldü. Keten lifinin başlangıç nem içeriği %60 civarındadır. Mikrodalga kurutması, kütle kaybı, ürün sıcaklığı, mikrodalga gücü, yansıyan mikrodalga gücü ve girdi/çıktı hava sıcaklığının olduğu mikrodalga cihazlarında yapılmıştır. Nihai nem içeriği %9 olarak ayarlanmıştır. Mikrodalga-konvektif kurutma, sıcak hava kurutması ile kıyaslandığında keten lifi kurutması için kurutma süresinin yaklaşık %30 ile %70 arasında azalma sağlandı. Keten lifinin mikrodalga-konektif kurutma ve konvektif kurutulması arasından önemli derecede renk değişimi oldu. Keten lifinin sıcak hava kurutma ve mikrodalga-konvektif kurutmada gerilme özelliği çalışıldı ve kurutulmamış numunelerin başlangıç halleriyle kıyaslandı. Gerilme gücü ve elastik modülleri sıcaklığın artırılmasıyla arttığı ancak sıcak hava kurutmasıyla gerilme gücünün ve elastik modüllerinin mikrodalga kurutmadan daha fazla olduğu görüldü.

Hemis vd. (2011), Canada Wetern Red Spring (CWRS) ( Batı Kanada Kırmızı Bahar) buğdayının kurutma özellikleri, yerel bir taşınımlı mikrodalga fırını kullanılarak çalışıldı. Mikrodalga güç seviyesi, tanecik tabakasının kalınlığı ve başlangıçtaki nemin, kurutma kinetiği üzerindeki etkisi araştırıldı. Kuru maddenin başlangıçtaki nem seviyesi 0,18–0,29 kgsu/kg olan buğday numuneleri, 180 den 360s’ye kadar farklı kurutma periyotlarında kurtuldu. Nem kaybı verisi, düzenli kısa aralıklarla kaydedildi. Daha sonra nem kaybı verisi, buğdayın kuruma kinetiğinin çalışılması için, çeşitli modellere (Page denklemi, Modifiye edilmiş kurutuma denklemi ve Midilli Denklemi) uyarlandı. Sonuçlar gösterdi ki, mikrodalğanın güç seviyesi artıkça, buğdayın nem kaybı da arttı. Kütle ve enerji denklemi eşleştirilerek, non–lineer bir denklem sistemi doğuran matematiksel bir model geliştirildi. Geliştirilen modelden öngörülen nem kaybı verisi, deneysel mikrodalga verisine uyarlanarak karşılaştırıldı ki verilerin oldukça uyumlu olduğunu gözlemledi.

Alibaş (2012), ilk nem seviyesi yaş baza göre % 75.35 olan 50g ağırlığındaki asma yaprakları yaş baza göre nem %9.13 kurtulmuştur. 7 farklı ince tabaka kurutma modelinin yanı sıra Midilli–Küçük eşitliğinden türetilmiş olan ve Alibas yaklaşımı

deneysel olarak elde edilen veriler modellenmiştir. Buna göre çalışmada kullanılan üç farklı mikrodalga güç yoğunluğunda elde edilen deneysel verilere en yakın sonuçları veren model Alibas modeli olarak belirlenmiştir.

Abano vd. (2013), mikrodalga-vakumlu kurutma ile kurutulmuş domatesin likopen, askorbik asit içeriğini kinetiği ve kalite özelliklerini araştırdılar. Deneysel veriler 13 ince tabaka kurutma tekniği arasında Midilli ve arkadaşları en yüksek koralesyon kurutma katsayısı, en düşük kalan kareler toplamı, kök ortalama karesi hatası ve azaltılmış chi-karesi verdi. Likopen içeriği ve asorbik asit içeriğinin kuruma zamanı 4 mikrodalga gücü ve 3 vakum basıncının etkisi üzerine çalışıldı. Kuruma zamanı mikrodalga gücü 200W'den 700Wye çıkarıldığında 84 dk dan 14 dk.'ya indi. Mikrodalga gücü ve vakum basıncı yükseltildiğinde kuruma oranının yükseldiği ve domates dilimlerinin kuruma zamanının önemli ölçüde azaldığını gösterdi. Kuruma zamanında mikrodalga gücünün etkisi vakum basıncından daha yüksek olduğunu tespit etti. Domatesteki kurumadan sonra askorbik asit içeriğinin azaldığı yerde likopen seviyesinin arttığı gözlemlendi. Deneysel verilerden yola çıkılarak 13 ince-katman kurutma modeli arasında Midilli ve arkadaşlarının modeli en iyisi olduğu görüldü. Midilli vd. modelindeki kuruma hızı sabiti mikrodalga gücü ve vakum basınçları ile katlanarak arttığını gözlemlendi.

Öztürk (2014), muz ve kivi için dielektrik özelliklerinin mikrodalga-kızılötesi kurutma kombinasyonu ile kurutma karakteristikleri üzerine yaptığı araştırmada kivi örnekleri ile gerçekleştirilen üç farklı başlangıç nem içeriği inceledi. Kurutma işlemi için üç farklı mikrodalga gücü ve kızılötesi kombinasyon kullandı. Başlangıç nem içeriği yüksek olan örneklerde kurutma hızının daha yüksek ve işlem süresinin daha uzun olduğunu saptandı. Dielektrik özellikler mikrodalga gücünün artmasıyla azaldığını gözlemlendi. Bu olayda kivi için yapısal ve kimyasal özelliklerinin etkili olduğu düşünülmektedir. Mikrodalga-kızılötesi kombinasyonu ile kurutma işlemi konvansiyonel kurutma ile kıyaslandığında kivi örneğinde nem içeriği daha düşük ve kalitesi yüksek kurutulmuş ürünler elde edildi. Bunu yanı sıra kivi numunelerinde %57 oranında zaman tasarrufu sağlandığı tespit edildi.

Literatürde farklı tarım ürünleri için bir çok araştırmacı tarafından tek tabaka veya ince tabaka kurutma modelleri kullanılarak çalışmalar yapılmıştır (Midilli vd., 1999; Midilli vd., 2000; Toğrul ve Pehlivan, 2004; Alibaş, 2012; Küçük vd., 2014)

#### **1.4. Çalışmanın Amacı ve Önemi**

Gıda kalitesi ve güvenliği günümüzde küresel anlamda üzerinde en fazla çalışılan ve stratejiler geliştirilen bir konudur. Gıda güvenliği ve kalitesinin sağlanmasında önemli parametrelerden bir tanesi de kurutma işlemidir. Günümüzde uygulamada çok çeşitli kurutma sistemleri olmasına rağmen özellikle enerji tasarrufu ve ürün kalitesi parametreleri dikkate alındığında kurutma sistemlerinin veya proseslerinin ciddi anlamda iyileştirilmeye ve geliştirilmeye ihtiyacının olduğu görülmektedir. Özellikle gıdaların kurutulması için değişken koşullarda çalışabilen ve enerji israfını minimize edebilen kurutma sistemlerinin teorisinin geliştirilmesi, pratik uygulamalarının yapılması ve endüstriyel tatbikatlarının hayata geçirilmesi gerekmektedir. Bu bağlamda mikrodalga, ışınım uygulamalarının kurutma proseslerine sağladığı avantajlar dikkate alınmalıdır. Bu düşünceler ışığında, çalışmanın amacı, ülkemizin üretim potansiyeli yüksek ürünlerinin kurutulmasında enerji tüketimi, zaman ve ürün kaybı ve gıda kalitesi açısından mevcut olan olumsuzlukların tespiti ve/veya giderilmesi için MW kurutma yöntemi kullanarak, kayısı, kivi ve nanenin 23 farklı matematiksel model ve 14 farklı değerlendirme kriteri kullanılarak mikrodalga kurutmasının kapsamlı olarak modellenmesidir. Ülkemizin özellikle Malatya ilinin çok önemli bir gıda ürünü olan kayısının, Karadeniz Bölgesinin yeni nesil endüstriyel meyvesi kivi ve nane bitkisinin 8 farklı MW güç altında kurutma şartları, kurutma performansı ve gıda kalitesi tespitinin yapılarak en iyi kurutma modelinin seçimi yapılarak, her bir ürün için ayrı ayrı mikrodalga uygulamasının ön bilgileri elde edilecek ve en uygun kurutma modeli belirlenerek, kayısı, kivi ve nanenin mikrodalga kurutma davranışının deneysel olarak incelenmesi ve literatürde tek tabaka ve ince tabaka kurutma için verilen kurutma davranışı modelleri dikkate alınarak modellenmesidir. Ayrıca endüstriyel değeri yüksek olan kayısı, kivi ve nanenin mikrodalga kurutma şartları belirlenerek gelecekte yapılacak endüstriyel çalışmalar için bir referans oluşturmaktır. Bu sebze ve meyvelerin mikrodalga tekniği ile kurutma davranışına ait matematiksel model sonuçlarını literatüre kazandırmaktır.

## 2. YAPILAN ÇALIŞMALAR

Ülkemizin üretim potansiyeli yüksek ürünlerinin kurutulmasında enerji tüketimi, zaman ürün kaybı ve gıda kalitesi açısından mevcut olan olumsuzlukların giderilmesi için teorik ve yapılacak deneysel çalışmalar ve deneysel çalışmalardan elde edilen veriler kullanılarak yapılacak gözlem çalışmaları ile ülkemizin özellikle Malatya ilinin çok önemli bir gıda ürünü olan kayısı ve kivi, nanenin farklı kurutma enerjilerindeki etkileri 23 farklı matematiksel modelle analiz edilerek kurutma performansı ve gıda kalitesi belirlenecektir.

### 2.1. Materyal

Kurutma deneylerinde Kayısı (*Prunus armeniaca*), kivi (*Actinidia*) ve nane (*Mentha*) kullanılmıştır. Kayısı sonbahara kadar taze kalabilen Malatya ili Akçadağ ilçesi Levent mezrasında ve yine Levent cinsi kayısı olarak bilenen kayısının bahçeden alınmıştır. Kivi, markette tüketime sunulan kivilerden alınmıştır. Ülkemizin her bir ilinde yetişebilen nane bahçeden taze sürgünlerinden toplanmıştır. Hasadı ve tedariği yapılan ürünler laboratuvar ortamında kurutma işlemleri yapılmıştır.

#### 2.1.1. Kayısı

Kayısının ilk rastlanıldığı bölgenin; Türkistan, Orta Asya ve Batı Çin'i kapsayan bir alan olduğu bilinmektedir. 5000 yıl önce bu bölgelerde kayısıların bulunduğu bilinmektedir. Büyük İskender'in savaşları sırasında, kayısının Anadolu'ya getirildiği düşünülmektedir. M.ö. I.y.y.'da Roma imparatorluğunu doğu Anadolu ve şimdiki İran ve çevresinde yapmış olduğu savaşlar ile Yunanistan ve çevresinde götürülmüştür. Avrupa'ya geçişi uzun yıllar alırken coğrafik keşiflerle Amerika kıtasına geçişi 17.y.y.'dir (URL-1, 2018).

Kayısı türü mevsim, toprak yapısı ve üreticinin deneyimine göre meyve kalitesi açısından %70-88 su miktarı ve %12-30 aralığında kuru madde miktarı ile değişiklik arz etmektedir. Kayısının yapısında yüksek oran da şeker, organik maddeler, protein ve vitaminler içermektedir. Potasyum, fosfor, sodyum, demir, kalsiyum gibi insan



sağlığına faydalı minerallerin zenginliği kuru kayısıyı önemli bir enerji kaynağı yapmaktadır (Isaeva, 2007).

Kayısının ikinci anavatanı sayılan Anadolu'da yetiştirilmesi ve dünya kayısı üretiminin Türkiye'nin tek başına %62'sini karşılamaktadır. 20016 yılı kuru kayısı üretiminin 110 bin ton olduğu tahmin edilmektedir. Bu üretimin parasal karşılığı ise yaklaşık 302,7 milyon ABD dolarıdır (URL-2, 2018).

Dünyada kayısı çeşitliliği 1750 civarında olduğu bilinmektedir. Ülkemizin ekolojik yapısı nedeniyle dünya kayısı üretiminin büyük bir bölümüne sahiptir (%62) ve Hititler döneminde önemli bir yerleşim yeri olan Malatya "meyve bahçesi" anlamına gelen "Melitue, Maldiya, Melita" isimlerinden türemiştir. En önemli kayısı üretimi Malatya ovası ve çevresinde üretilmekle birlikte ülkenin hemen hemen tüm illerinde kayısıya rastlamak mümkündür. Malatya'da üretilen yerli kayısı türleri ise şöyledir: Hacıhaliloğlu kayısı, Hacıhaliloğlu kayısı, Kabaası kayısı, Hasanbey kayısı, Çataloğlu kayısı, Şekerpare kayısı, Sofralık Şalak (Aprikoz) kayısı, Karacabey kayısı, Hacıkız kayısı, Çiğli kayısı şeklindedir (Isaeva, 2007).

Yapılan deneylerde, hasattan alınan 150'şer g.'lik taze kayısılar porselen bir tabakta gelişi güzel dizilerek mikrodalga fırının döner tablasına yerleştirildi. Mikrodalga gücüne bağlı olarak periyodik zaman aralıklarında ağırlık kayıpları hassas terazi ile ölçüldü. Ürünün doğal görünümlü kuruma döngüsüne kadar kurutma işlemine devam edildi. Çalışmada kullanılan Levent cinsi kayısı örnekleri Şekil 3'de gösterilmiştir.



**Şekil 3.** Çalışmada kullanılan levent tipi kayısı örneği

### **2.1.2. Kivi**

Karadeniz bölgemizde yetiştirilen kivi numuneleri manavdan alınarak kabukları ürün kaybı minimize edilecek şekilde soyma işleminden sonra 80-100g olacak şekilde hazırlandı. Önceden hazırlanmış 1-2mm çaplı ızgara delikli tabağa kalınlıkları 5mm olan 3-5cm çaplarında dilimlenmiş kiviler tabağa dizilerek mikrodalga fırının döner tablasına yerleştirildi. Mikrodalga fırının gücüne bağlı olarak zaman ağırlık kaybı ölçümleri yapılarak ürünün doğal görünümlü kuruma döngüsüne kadar kurutma işlemine devam edildi. Çalışmada kullanılan kivi fotoğrafları Şekil 4’de gösterilmiştir.



**Şekil 4.** Çalışmada kullanılan kivi örneği

Ülkemizde son yıllarda yetiştirilmeye başlanan kivi meyvesi özellikle Karadeniz Bölgesi tarımında çay ve fındıktan sonra yerini almıştır. Ayrıca ülkemizde geçmiş yıllarda taneyle piyasaya sunulan kivi meyvesi kiloyla satılır duruma gelmiştir. Bunun yanında üretimin artışı bazı depolama sorunlarını da beraberinde getirmektedir. Taze meyve olarak tüketimin yanında farklı dayanıklı ürünlere işlenmesiyle hem tüketimin daha geniş bir alana yayılması, hem de gıda sanayinde, ticarete çeşitlilik ve katma değer artışı sağlanmış olacaktır (Demirbaş, 2010).

### **2.1.3. Nane**

Otsu nane bitkisi demet halinde manavdan alındı. Islak nane demetleri Şekil 5’de görüldüğü gibi ayıklanarak ıslaklıklarının giderilmesi için oda sıcaklığında (18°C) bekletildi. Nane yaprakları ve taze sürgünleri ile porselen tabağa yerleştirilerek mikrodalga fırının döner tablasına yerleştirildi. Mikrodalga fırının gücüne bağlı olarak zaman ağırlık kaybı ölçümleri yapılarak ürünün doğal görünümlü kuruma döngüsüne kadar kurutma işlemine devam edildi.



**Şekil 5.** Çalışmada kullanılan nane örneği

#### **2.1.4. Çalışmada Kullanılan Ölçüm Aletleri**

Mikrodalga ile kurutma denemeleri, 100W, 300W, 450W, 600W, 700W ve 800W olmak üzere toplam 6+1 güç seviyesinde çalışabilen Samsung marka ME711K model mikrodalga fırın kullanılarak gerçekleştirildi (Şekil-6a). Ağırlık ölçümlerinin yapılması için kullanılan terazi 1g hassasiyetinde Fakir marka Molly Dijital Mutfak Tartısı kullanılmıştır (Şekil-6b). Ortam sıcaklık ve nem ölçümünde kullanılan Loyka BT 3000 Sıcaklık ölçüm aralığı -50/70C ( $\pm 1C$ ), Nem ölçüm aralığı %10–%95 ( $\pm \%5$ ) kullanılmıştır (Şekil-6c). Kayısı kurutma ve öncesi ve sonrasında kullanılan DFA California nem tayini (Şekil-6d). Kivi kalınlık ölçümünde kumpas kullanılmıştır (Şekil-6e).



**Şekil 6.** Çalışmada kullanılan ölçüm cihazları (a) Mikrodalga fırın (b) Terazi (c) Termometre – Nem ölçüm (d) DFA California nem ölçüm (e) Kumpas

## 2.2. Metot

### 2.2.1. Kayısı Kurutma Metodu

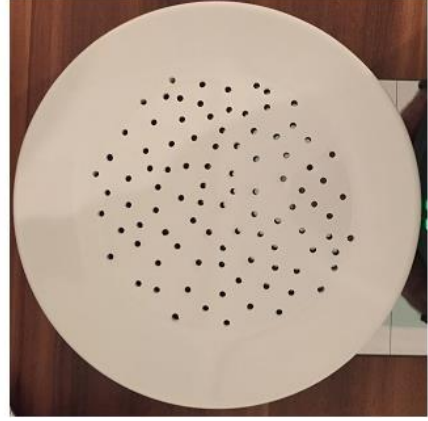
Malatya ili Akçadağ ilçesi Levent bölgesi kırsalında yetişen Levent cinsi kayısı yapısı gereği son bahar aylarında olgunlaşmaya başlaması bu kayısı cinsini endüstriyel açıdan ilgi çekici bir konuma getirmiştir. Bu çalışmada kurutulan kayısı numuneleri hasattan toplanmış olarak pazara gelen kayısı tezgâhlarından seçildi kayısı olgunluğunun eşit olmasına önem verilerek  $150\pm 10$ gr olacak şekilde numuneler seçildi. Ev tipi mikrodalga fırının döner tablasına yerleştirilen kayısılar mikrodalga gücüne bağlı olarak belli zaman aralıklarında hassas terazi ile ölçüldü. Yapılan ölçümler Statistica programı kullanılarak 23 farklı matematiksel kurutma modeline uyarlanarak en iyi 5 model için MR–Zaman grafikleri çizildi. Kuruma öncesi, kuruma safhalarında ve kurumuş ürünün örnek fotoğraflar Şekil 7’de gösterilmektedir. Kayısı için tek tabaka mikrodalga kurutma tekniği uygulandı.



**Şekil 7.** Kayısı kuruma aşamaları

### 2.2.2. Kivi Kurutma Metodu

Karadeniz bölgesinden hasat edilen kivi meyvesi endüstriyel bir aromatik tadı ve 4 mevsim de üretiminin ülkemizde zor olmasına binaen kurtularak mutfaklarda tüketimi bu ürünü doğal ve ucuz kurtulmasına araştırmacıları yönlendirmektedir. Bu çalışmada kurutulan kivi numuneleri pazar tezgâhlarından alındı. Numunelerin dış tüylü kabukları soyularak  $85\pm 10$ gr olacak şekilde numuneler seçildi. Ev tipi mikrodalga fırın yüksekliğinin  $h/2$  yüksekliğinde (Şekil 8. Mikrodalga fırında  $h/2$  yükseklikte ızgara tabak) olacak şekilde 1-2mm çaplı ızgara tabağa yerleştirilen kivi numuneleri mikrodalga gücüne bağlı olarak belli zaman aralıklarında hassas terazi ile ölçüldü. Yapılan ölçümler Statistica programı kullanılarak 23 farklı matematiksel kurutma modeline uyarlanarak en iyi 5 model için MR–Zaman grafikleri çizildi. Kuruma öncesi, kuruma safhalarında ve kurumuş ürünün örnek fotoğraflar Şekil 9’da gösterilmektedir. Kivi için tek tabaka mikrodalga kurutma tekniği uygulandı.



Şekil 8. Mikrodalga fırında h ½ yükseklikte ızgara tabak



Kivinin Başlangıç Hali



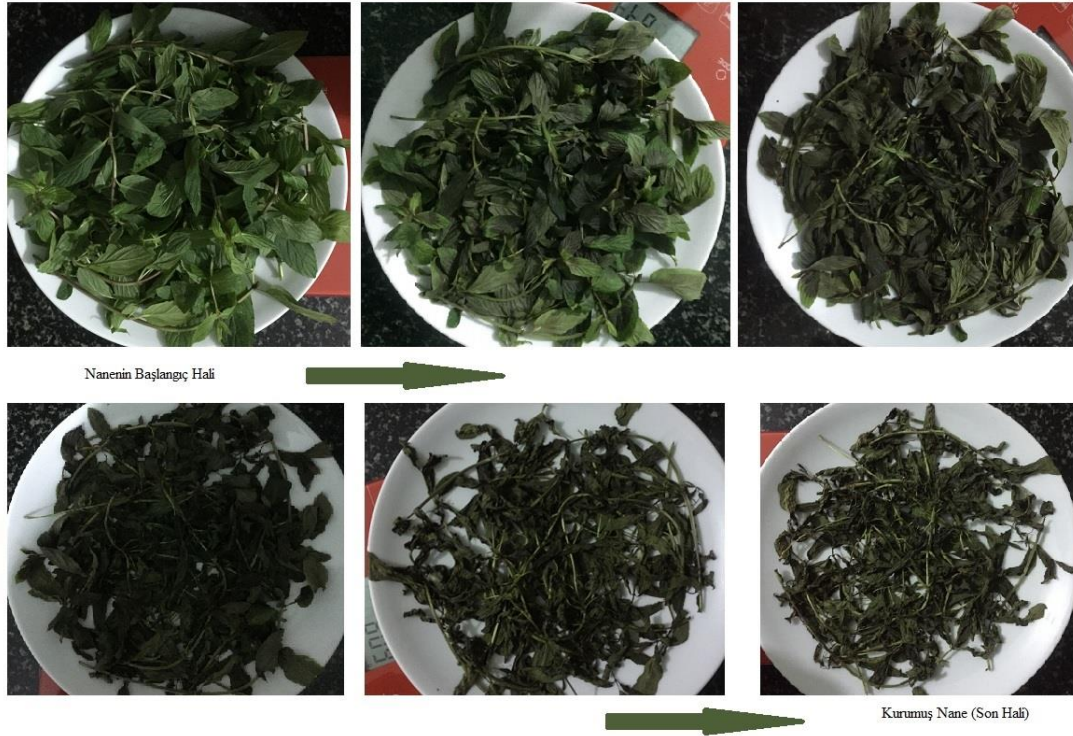
Kurumuş Kivi (Son Hali)

Şekil 9. Kivinin kuruma aşamaları

### 2.2.3. Nane Kurutma Metodu

Doğu toplumlarının mutfaklarında olmazsa olmazlarında olan baharat zenginliğinin önemli bir yere sahip nane kurtulmuş olarak tüketimi Ülkemizde de yaygın olarak kullanılmaktadır. Bu çalışmada kurutulan nane numuneleri pazar tezgâhlarından alındı. Numuneler temizlenip ayıklandıktan sonra taze sürgün ve yapraklar  $50\pm 1g$  olacak şekilde numuneler seçildi. Ev tipi mikrodalga dönel tablasına yerleştirilen nane numuneleri mikrodalga gücüne bağlı olarak belli zaman aralıklarında

hassas terazi ile ölçüldü. Yapılan ölçümler Statistica programı kullanılarak 23 farklı matematiksel kurutma modeline uyarlanarak en iyi 5 model için MR–Zaman grafikleri çizildi. Kuruma öncesi, kuruma safhalarında ve kurumuş ürünün örnek fotoğraflar Şekil 10’da gösterilmektedir. Nane için ince tabaka mikrodalga kurutma tekniği uygulandı.



**Şekil 10.** Nananın kuruma aşamaları

### 2.3. Matematiksel Modelleme

Kurutma işlemini incelemek ve nemli ürünlerin kuruma sürelerini belirlemek, kurutma için önemli iki alan olarak kabul edilir, (Küçük vd., 2014) bu alanlardaki model geliştirme üzerine odaklanmıştır. İnce tabaka kurutma eğrisi modellerini tanımlamak, sınıflandırmak, değerlendirmek ve karşılaştırmak için önemli bir ihtiyaç vardı. Küçük vd. (2014)’de 28 performans değerlendirme kriteri altında 67 modelin karşılaştırmalı incelemesi aşağıdaki parametreler göz önüne alınarak yapılmıştır: a) Ürün tipi, b) Ön muamele tipi, c) Sıcaklık, hava hızı, katman kalınlığı, mikrodalga güç seviyeleri, güneş ışınımı miktarı, vakum basıncı, ses frekansı dalga, uyarılma genliği, bağıl nem, yatak derinliği, ürün şekli, pH, tuz içeriği, mutlak basınç vs. gibi kurutma parametreleri ve d) kullanılan kurutma metodu. Küçük ve arkadaşlarının yapmış olduğu



bu derleme ışığında kullanılmış ve seçilmiş olan 23 adet matematiksel modelleme denklemleri Tablo 1’de gösterilmiştir (Küçük vd., 2014).

**Tablo 1.** Matematiksel modellemede kullanılan model denklemleri

No	Model Adı	Model Denklemi	Referans	Denklem Dnk Sabitleri No
1	Newton (Lewis, Ekspansiyel, Tek Terimli Eks.)	$MR = \exp(-kt)$	Toğrul ve Pehlivan, 2004	k (1)
2	Page	$MR = \exp(-kt^n)$	Toğrul ve Pehlivan, 2004	k, n (2)
3	Modifiye Page	$MR = \exp(-(kt)^n)$	Toğrul ve Pehlivan, 2004	k, n (3)
4	Modifiye Page-I	$MR = \exp((-kt)^n)$	Ait vd., 2005	k, n (4)
5	Modifiye Page-II	$MR = \exp\left(-c\left(\frac{t}{L^2}\right)^n\right)$	Toğrul, 2005	c, L, n (5)
6	Henderson ve Pabis (Tek Terimli)	$MR = a \exp(-kt)$	Toğrul ve Pehlivan, 2004	a, k (6)
7	Logaritmik (Asimtotik)	$MR = a \exp(-kt) + c$	Toğrul ve Pehlivan, 2004	a, k, c (7)
8	Midilli-Kucuk (Midilli, Midilli vd)	$MR = a \exp(-kt^n) + bt$	Toğrul, 2005	a, k, n, b (8)
9	Demir vd.	$MR = a \exp(-kt)^n + b$	Aghbashlo vd., 2009	a, k, n, b (9)
10	İki Terimli	$MR = a \exp(-k_0t) + b \exp(-k_1t)$	Akpınar vd., 2005	a, k <sub>0</sub> , b, k <sub>1</sub> (10)
11	İki Terimli- Ekspansiyel	$MR = a \exp(-kt) + (1-a) \exp(-kat)$	Soares vd., 2007	a, k, (11)
12	Verma vd. (Modifiye İki Terimli Ekspansiyel)	$MR = a \exp(-kt) + (1-a) \exp(-gt)$	Toğrul ve Pehlivan, 2004	a, k, g (12)
13	Difüzyon Yaklaşımı	$MR = a \exp(-kt) + (1-a) \exp(-kbt)$	Toğrul ve Pehlivan, 2004	a, k, b (13)
14	Modifiye Henderson ve Pabis (Üç Terimli Ekspansiyel)	$MR = a \exp(-kt) + b \exp(-gt) + c \exp(-ht)$	Toğrul ve Pehlivan, 2004	a, k, b, g, c, h (14)
15	Thompson	$t = a \ln(MR) + b (\ln(MR))^2$	Akpınar vd., 2004	a, b (15)
16	Wang ve Singh	$MR = 1 + at + bt^2$	Günhan vd., 2005	a, b (16)
17	Hii vd.	$MR = a \exp(-kt^n) + c \exp(-gt^n)$	Kaleta vd., 2013	a, k, n, c, g, (17)
18	Basitleştirilmiş Fick Difüzyon (SFFD)	$MR = a \exp\left(-c\left(\frac{t}{L^2}\right)\right)$	Toğrul, 2005	a, c, L (18)

**Tablo 1 (Devam)** Matematiksel modellemede kullanılan model denklemleri

No	Model Adı	Model Denklemi	Referans	Denklem Sabitleri	Dnk. No
19	Weibull	$MR = \exp\left(-\left(\frac{t}{a}\right)^b\right)$	Aghbashlo vd., 2009	a, b	(19)
20	Aghbashlo vd.	$MR = \exp\left(-\frac{k_1 t}{1+k_2 t}\right)$	Aghbashlo vd., 2009	$k_1, k_2$	(20)
21	Parabolic	$MR = a + bt + ct^2$	Doymaz, 2011	a, b, c	(21)
22	Balbay ve Şahin	$MR = (1-a)\exp(-kt^n) + b$	Balbay ve Şahin, 2012	a, k, n, b	(22)
23	Alibas (Modifiye Midilli-Kucuk)	$MR = a \exp(-kt^n) + bt + g$	Alibaş, 2012	a, k, n, b, g	(23)

#### 2.4. Değerlendirme Kriteri

İnce tabaka ve tek tabaka kurutma modelleri için literatürdeki en çok kullanılan değerlendirme kriterleri, sırasıyla belirleme katsayısı, azaltılmış ki-kare, Ortalama karekök hata, Ortalama görelî yüzde hatası, Tahmini standart hatası, Ortalama yanılğı hatası ve azaltılmış toplam karesel hatadır.

Yapılan değerlendirmeye dayanarak Midilli-Küçük, Modifiye Midilli-Kucuk, Page, Modifiye Page, Modifiye Page-I, Modifiye Page-II, Weibull, Aghbashlo vd., Parabolic ve diğeri dikkate alınan kriterler ve seçilen uygulamalar ve ürünler için daha iyi sonuçlar verdi. Kullanılacak modeli seçmeden önce, araştırmacıların kurutma deneylerini düzgün bir şekilde yürütmeleri, kurutma miktarlarını ve parametreleri- özellikleri belirsizlik analizi ile yeterince doğru bir şekilde ölçmeleri önemlidir. Ayrıca, kurutma işlemlerinin daha iyi yönetilmesi için dikkate alınması gereken kurutma havası sıcaklığı, basınç, hız, bağıl nem, kurutma materyallerinin şekil ve tipi, tutma süresi, rafların tasarım ve geometrisi, akış konfigürasyonu, kurutma ortam koşulları gibi birkaç parametre bulunmaktadır (Kucuk vd., 2014). Küçük ve arkadaşlarının seçmiş olduğı en iyi 14 adet ince tabakalı kuruma eğrisi denklemlerinin değerlendirme kriterleri Tablo 2'de gösterilmiştir (Kucuk vd., 2014).

**Tablo 2.** Matematiksel modelleme kuruma eğrisi değerlendirme kriteri denklemleri

No	Değerlendirme Parametreleri	Denklem	Dnk. No
1	Korelasyon Katsayısı	$r = \frac{N \sum_{i=1}^N (MR_{pre,i})(MR_{exp,i}) - \left( \sum_{i=1}^N MR_{pre,i} \right) \left( \sum_{i=1}^N MR_{exp,i} \right)}{\sqrt{\left( N \sum_{i=1}^N MR_{pre,i}^2 - \left( \sum_{i=1}^N MR_{pre,i} \right)^2 \right) \left( N \sum_{i=1}^N MR_{exp,i}^2 - \left( \sum_{i=1}^N MR_{exp,i} \right)^2 \right)}} \quad (24)$	
2	Toplam Kareler Toplamı	$SST = \sum_{i=1}^n (MR_{exp,i} - MR_{avg})^2 \quad (25)$	
3	Standart Tahmini Hata	$SSE = \sum_{i=1}^N (MR_{exp,i} - MR_{pre,i})^2 \quad (26)$	
4	Kalanların Kareleri Toplamı	$RSS = \sum_{i=1}^N (MR_{exp,i} - MR_{pre,i})^2 \quad (27)$	
5	Belirmele Katsayısı	$R^2 = \frac{SSR}{SST} = 1 - \frac{SSE}{SST} \quad (28)$	
6	Düzeltilmiş R <sup>2</sup>	$\bar{R}^2 = 1 - \frac{(1 - R^2)(N - 1)}{N - k - 1} \quad (29)$	
7	Azaltılmış Ki-Kare	$\chi^2 = \frac{\sum_{i=1}^N (MR_{exp,i} - MR_{pre,i})^2}{N - n} \quad (30)$	
8	Ortalama Karesel Hata	$RMSE = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^N (MR_{pre,i} - MR_{exp,i})^2}{N}} \quad (31)$	
9	Residuals	$residuals = \sum_{i=1}^N (MR_{exp,i} - MR_{pre,i}) \quad (32)$	
10	Modelleme Verimliliği	$EF = \frac{\sum_{i=1}^N (MR_{exp,i} - MR_{exp,ave})^2 - \sum_{i=1}^N (MR_{pre,i} - MR_{exp,i})^2}{\sum_{i=1}^N (MR_{exp,i} - MR_{exp,ave})^2} \quad (33)$	
11	Tahmini Standart Hata	$SEE = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^N (MR_{exp,i} - MR_{cal,i})^2}{N - n_p}} \quad (34)$	
12	İndirgenmiş Kare Hata	$RSSE = \frac{\sum_{i=1}^N (MR_{exp,i} - MR_{cal,i})^2}{N} \quad (35)$	
13	Ortalama Sapma Hata	$MBE = \frac{\sum_{i=1}^N (MR_{pre,i} - MR_{exp,i})}{N} \quad (36)$	
14	Ortalama Görelî Yüzde Hata	$P = \frac{100}{N} \sum_{i=1}^N \frac{ MR_{exp,i} - MR_{pre,i} }{MR_{exp,i}} \quad (37)$	

## 2.5. Kurutma Formüller

Yapılan çalışmanın önemli birer parametresi olan boyutsuz kütle oranı, nem oranı, kütleli büzülme oranı, kütle kayıp hızı ve kurutma hızı aşağıda tanımlanmıştır (Midilli vd., 1999; Midilli vd., 2000; Alibaş, 2012).

Boyutsuz kütle oranı

$$MR = \frac{M_t - M_s}{M_{ilk} - M_s} \quad (38)$$

Burada;

$MR$  : Boyutsuz kütle oranı

$M_t$  : “t” anındaki kütle (kg)

$M_s$  : Kuru kütle (kg)

$M_{ilk}$  : Ürünün ilk kütlesi (kg)

Nem oranı

$$WR = \frac{W_t - W_s}{W_{ilk}} \quad (39)$$

$WR$  : Nem oranı

$W_t$  : “t” anındaki nem

$W_s$  : Son nem

$W_{ilk}$  : İlk nem

Kurutma hızı

$$KH = \frac{W_{Rt} - W_s}{\Delta t} \quad (40)$$

Kütlesel büzülme oranı

$$BO = \frac{M_t}{M_i} \quad (41)$$

Kütle kayıp hızı

$$KKH = \frac{M_t - M_s}{\Delta t} \quad (42)$$

Kurutma hızı

$$KH = \frac{W_{Rt} - W_s}{\Delta t} \quad (43)$$

## 2.6. Hata ve Belirsizlik Analizi

Deneysel çalışmalarda, ölçülen değerlerin doğruluğu sonuçlar kadar önemlidir. Doğruluğu etki eden en önemli değişken deneyler aşamasında farklı nedenlerden dolayı ortaya çıkabilecek hatalardır. Bu hata iki farklı şekilde ortaya çıkabilir. Bunlardan biri, deney setinin ve ölçü araçlarının yapısından kaynaklanan hatalar, diğeri ise operatörden kaynaklanan hatalardır. Deneylerdeki hatalar ve belirsizlikler cihaz seçiminden, çevresel etki, gözlemden, verileri okumadan ve test planlanması gibi değişkenlerden oluşabilir (Midilli, 1999 ve Doğru vd., 2002).

n adet bağımsız değişkeni olan bir ölçümde toplam hata oranı:

$$W_R = \left[ \left( \frac{\partial R}{\partial x_1} w_1 \right)^2 + \left( \frac{\partial R}{\partial x_2} w_2 \right)^2 + \left( \frac{\partial R}{\partial x_3} w_3 \right)^2 + \dots + \left( \frac{\partial R}{\partial x_n} w_n \right)^2 \right]^{1/2} \quad (44)$$

veya

$$\frac{W_R}{R} = \left[ \left( \frac{w_1}{x_1} \right)^2 + \left( \frac{w_2}{x_2} \right)^2 + \left( \frac{w_3}{x_3} \right)^2 + \dots + \left( \frac{w_n}{x_n} \right)^2 \right]^{1/2} \quad (45)$$

- R : ölçülecek boyut  
 $x_1, x_2, x_3 \dots \dots \dots x_n$  : ölçümü etkileyen değişkenler  
 $w_1, w_2, w_3, \dots \dots \dots, w_n$  : bağımsız değişkenlerle ilgili hata oranı

Kütle kayıplarının ölçümünde ortaya çıkan toplam hataların analitik ifadeleri kurutulan ürünlerin periyodik olarak kütle kayıplarının (W) ölçülmesinde yapılabilecek toplam hata ( $W_R$ ) denklem kullanılarak hesaplanır ise (Midilli, 1999 ve Doğru vd., 2002).

( $a_1$ ) Deneyler sırasında kütle ölçümlerinden kaynaklanan hata =  $\pm 1$  g

( $a_2$ ) Okumadan kaynaklanan hata =  $\pm 0.01$  g

$$W_R = [(a_1)^2 + (a_2)^2 + ]^{1/2} \text{ ise } W_R = [(1)^2 + (0.01)^2 + ]^{1/2} = \%1 \quad (46)$$

olarak belirlendi.

### **3. BULGULAR**

#### **3.1. Kayısı Kurutma**

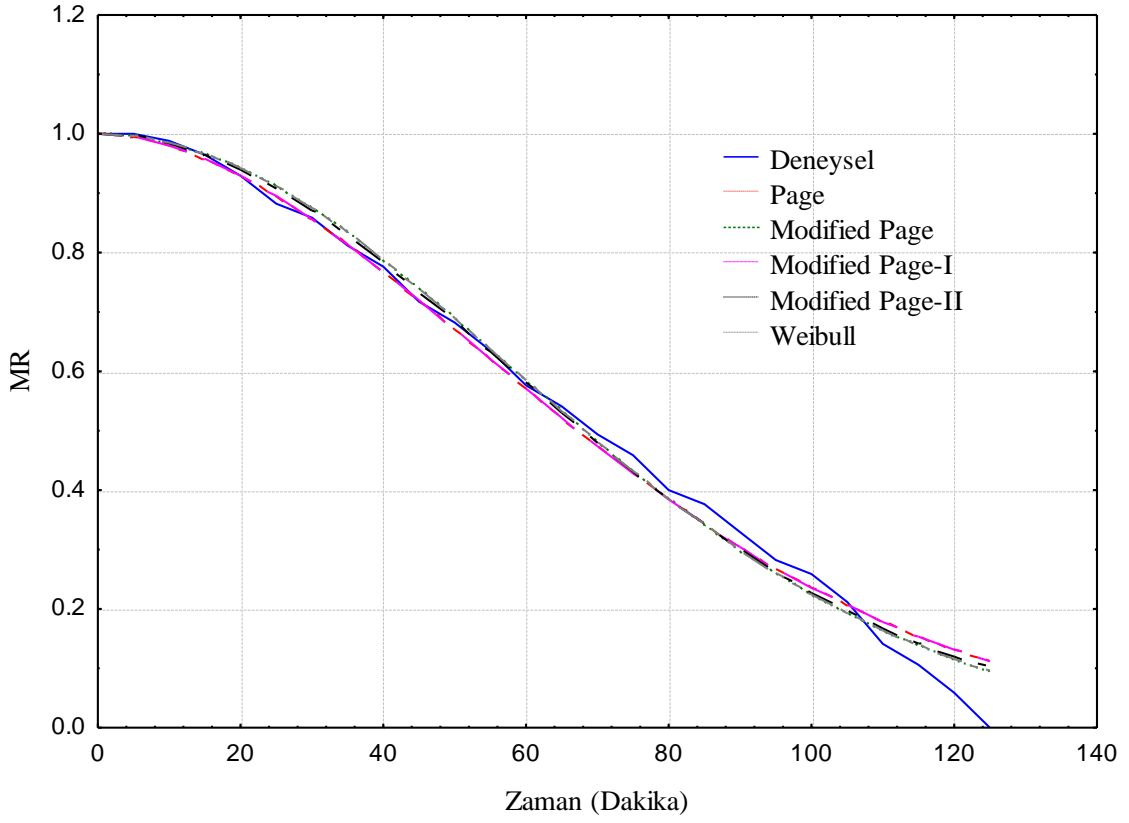
Deneyle neticesinde kayısı kurutmada yapılan tüm hesaplar, veriler ve matematiksel modelleme sonucu 100W, 300W, 450W, 600W, 700W ve 800W değerlendirme kriterleri tablolarda verilmiştir. Tablolar ışığında değerlendirme kriterleri ile en iyi 5 model için MR–Zaman Grafikleri çizilmiş, en iyi kurutma modeli seçilerek model katsayılarıyla formülize edilmiştir.



**Tablo 3.** 100W Kayısı kurutma değerlendirme kriteri

Model Name	R	RSS	SST	SSE	R <sup>2</sup>	$\chi^2$	$\bar{R}^2$	RMSE	residuals	EF	SEE	RSSE	MBE	P
Newton Lewis	0.97039	0.33412	9.84611	0.33412	0.96607	0.01336	0.96465	0.11336	0.35707	0.96607	0.01336	0.01285	0.01373	0.66364
Page	0.99542	0.02670	9.84611	0.02670	0.99729	0.00111	0.99705	0.03205	-0.03588	0.99729	0.00111	0.00103	0.00138	0.14269
Modifiye Page	0.99582	0.02225	9.84611	0.02225	0.99774	0.00093	0.99754	0.02925	-0.13197	0.99774	0.00093	0.00086	0.00508	0.14808
Modifiye Page-I	0.99542	0.02670	9.84611	0.02670	0.99729	0.00111	0.99705	0.03205	-0.03588	0.99729	0.00111	0.00103	0.00138	0.14269
Modifiye Page-II	0.99579	0.02250	9.84611	0.02250	0.99771	0.00098	0.99740	0.02942	-0.10941	0.99771	0.00098	0.00087	0.00421	0.14161
Henderson ve Pabis	0.96012	0.21426	9.84611	0.21426	0.97824	0.00893	0.97635	0.09078	-0.25338	0.97824	0.00893	0.00824	0.00975	0.51398
Logarithmic	0.99667	0.01729	9.84611	0.01729	0.99824	0.00075	0.99800	0.02578	-0.04245	0.99824	0.00075	0.00066	0.00163	0.12905
Midilli-Kucuk	-0.52365	7.05445	9.84611	7.05445	0.28353	0.32066	0.14706	0.52089	6.43875	0.28353	0.32066	0.27132	0.24764	2.95258
Demir vd.	0.99721	0.01438	9.84611	0.01438	0.99854	0.00065	0.99826	0.02352	0.00003	0.99854	0.00065	0.00055	0.00000	0.11772
Two-Term	0.96041	0.21431	9.84611	0.21431	0.97823	0.00974	0.97409	0.09079	-0.28078	0.97823	0.00974	0.00824	0.01080	0.51228
Two-Term Exponential	0.96973	0.33723	9.84611	0.33723	0.96575	0.01405	0.96277	0.11389	0.46252	0.96575	0.01405	0.01297	0.01779	0.66854
Verma vd.	0.98983	0.05514	9.84611	0.05514	0.99440	0.00240	0.99364	0.04605	-0.21268	0.99440	0.00240	0.00212	0.00818	0.23938
Approximation of Diffusion	0.98995	0.05501	9.84611	0.05501	0.99441	0.00239	0.99365	0.04600	-0.22218	0.99441	0.00239	0.00212	0.00855	0.23630
Modifiye Henderson ve Pabis	0.96012	0.21426	9.84611	0.21426	0.97824	0.01071	0.97137	0.09078	-0.25337	0.97824	0.01071	0.00824	0.00974	0.51399
Thompson														
Wang ve Singh	0.05748	9.84611	0.05748	0.99416	0.00240	0.99365	0.04702	0.07722	0.99416	0.00240	0.00221	0.00297	0.25658	0.05748
Hii vd.	0.99904	0.00497	9.84611	0.00497	0.99949	0.00024	0.99937	0.01383	-0.00302	0.99949	0.00024	0.00019	0.00012	0.07451
Simplified Fick's diffusion (SFFD)	0.28111	9.64955	9.84611	9.64955	0.01996	0.41955	-0.11368	0.60921	13.48235	0.01996	0.41955	0.37114	0.51855	3.58058
Weibull	0.99582	0.02225	9.84611	0.02225	0.99774	0.00093	0.99754	0.02925	-0.13196	0.99774	0.00093	0.00086	0.00508	0.14808
Aghbashlo vd.	0.97296	0.24719	9.84611	0.24719	0.97489	0.01030	0.97271	0.09751	-1.57389	0.97489	0.01030	0.00951	0.06053	0.53721
Parabolic	0.97381	0.14931	9.84611	0.14931	0.98484	0.00649	0.98277	0.07578	0.00169	0.98484	0.00649	0.00574	0.00007	0.44393
Balbay ve Şahin	0.99934	0.00339	9.84611	0.00339	0.99966	0.00015	0.99959	0.01142	-0.01195	0.99966	0.00015	0.00013	0.00046	0.06283
Alibas (Modifiye Midilli-Kucuk)	0.99890	0.00607	9.84611	0.00607	0.99938	0.00029	0.99923	0.01528	-0.00560	0.99938	0.00029	0.00023	0.00022	0.08453





**Şekil 11.** Kayısı 100W boyutsuz kütle oranı (MR) – zaman grafiği

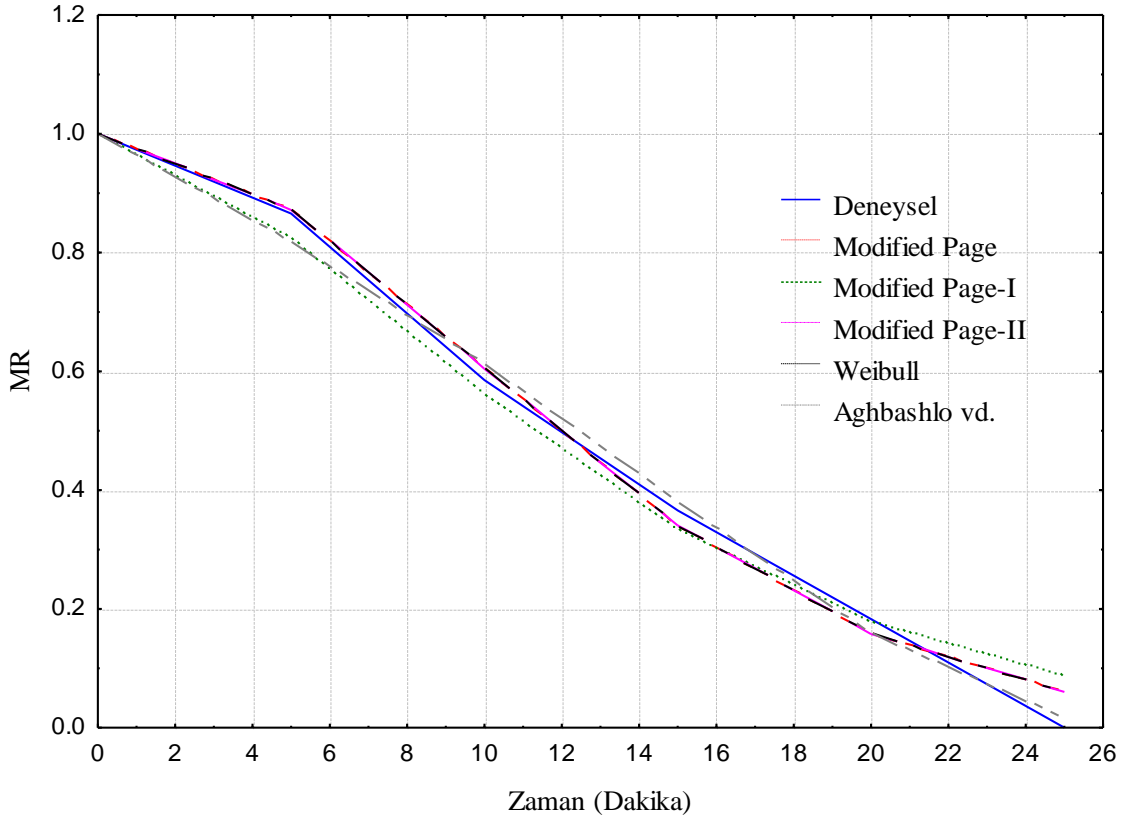
Tablo 3’de 100W kayısı kurutma değerlendirme kriteri sonucu en iyi model Weibull modeli olup 100W mikrodalga güç için model formülize edildiğinde;

$$MR = \exp\left(-\left(\frac{t}{81.86}\right)^{2.007}\right) \quad (47)$$

Denklem (47) elde edilmektedir. Şekil 11’de ise kayısı için 100W mikrodalga güçte boyutsuz kütle oranı (MR)-zaman grafiği verilmiştir.

**Tablo 4.** 300 W Kayısı kurutma değerlendirme kriteri

Model Name	R	RSS	SST	SSE	R2	$\chi^2$	$\bar{R}^2$	RMSE	residuals	EF	SEE	RSSE	MBE	P
Newton Lewis	0.96923	0.06836	1.56921	0.06836	0.95644	0.01367	0.94555	0.10674	0.02412	0.95644	0.01367	0.01139	0.00402	2.79153
Page	0.99495	0.01074	1.56921	0.01074	0.99315	0.00269	0.98859	0.04231	0.00999	0.99315	0.00269	0.00179	0.00166	1.02466
Modifiye Page	0.99671	0.00532	1.56921	0.00532	0.99661	0.00133	0.99435	0.02977	-0.03440	0.99661	0.00133	0.00089	0.00573	0.75437
Modifiye Page-I	0.99495	0.01074	1.56921	0.01074	0.99315	0.00269	0.98859	0.04231	0.00999	0.99315	0.00269	0.00179	0.00166	1.02466
Modifiye Page-II	0.99671	0.00532	1.56921	0.00532	0.99661	0.00177	0.99153	0.02977	-0.03440	0.99661	0.00177	0.00089	0.00573	0.75436
Henderson ve Pabis	0.96433	0.05827	1.56921	0.05827	0.96287	0.01457	0.93811	0.09855	-0.09143	0.96287	0.01457	0.00971	0.01524	2.89676
Logarithmic	0.99687	0.00475	1.56921	0.00475	0.99697	0.00158	0.99243	0.02813	-0.00112	0.99697	0.00158	0.00079	0.00019	0.73500
Midilli-Kucuk	0.99711	0.00447	1.56921	0.00447	0.99715	0.00223	0.98576	0.02729	-0.01046	0.99715	0.00223	0.00074	0.00174	0.77280
Demir vd.	0.99687	0.00474	1.56921	0.00474	0.99698	0.00237	0.98489	0.02811	0.00000	0.99698	0.00237	0.00079	0.00000	0.74599
Two-Term	0.99687	0.00475	1.56921	0.00475	0.99697	0.00237	0.98487	0.02814	-0.00091	0.99697	0.00237	0.00079	0.00015	0.74651
Two-Term Exponential	0.99292	0.01219	1.56921	0.01219	0.99223	0.00305	0.98705	0.04508	-0.05462	0.99223	0.00305	0.00203	0.00910	1.01170
Verma vd.	0.99403	0.01012	1.56921	0.01012	0.99355	0.00337	0.98387	0.04108	-0.05018	0.99355	0.00337	0.00169	0.00836	0.93191
Approximation of Diffusion	0.99405	0.01012	1.56921	0.01012	0.99355	0.00337	0.98388	0.04107	-0.05057	0.99355	0.00337	0.00169	0.00843	0.92940
Modifiye Henderson ve Pabis	0.94913	0.05827	1.44619	0.05827	0.95971	-0.05827	1.08058	0.10795	-0.09143	0.95971	-0.05827	0.01165	0.01829	3.47611
Thompson														
Wang ve Singh	0.00576	1.44619	0.00576	0.99601	0.00192	0.99203	0.03396	0.04655	0.99601	0.00192	0.00115	0.00931	0.77270	0.00576
Hii vd.	0.99506	0.00527	1.44619	0.00527	0.99636	#SAYI/0!	1.01457	0.03246	-0.02624	0.99636	#SAYI/0!	0.00105	0.00525	0.93579
Simplified Fick's diffusion (SFFD)	0.94913	0.05827	1.44619	0.05827	0.95971	0.02913	0.83883	0.10795	-0.09143	0.95971	0.02913	0.01165	0.01829	3.47611
Weibull	0.99491	0.00532	1.44619	0.00532	0.99632	0.00177	0.99264	0.03261	-0.03440	0.99632	0.00177	0.00106	0.00688	0.90525
Aghbashlo vd.	0.99611	0.00401	1.44619	0.00401	0.99723	0.00134	0.99446	0.02831	0.01240	0.99723	0.00134	0.00080	0.00248	0.86609
Parabolic	0.98705	0.01232	1.44619	0.01232	0.99148	0.00616	0.96593	0.04964	-0.00348	0.99148	0.00616	0.00246	0.00070	1.72640
Balbay ve Şahin	0.99869	0.00120	1.44619	0.00120	0.99917	0.00120	#SAYI/0!	0.01550	-0.00001	0.99917	0.00120	0.00024	0.00000	0.49048
Alibas (Modifiye Midilli-Kucuk)	0.99483	0.00481	1.44619	0.00481	0.99668	#SAYI/0!	1.01329	0.03101	0.00006	0.99668	#SAYI/0!	0.00096	0.00001	0.93612



**Şekil 12.** Kayısı 300W boyutsuz kütle oranı (MR) – zaman grafiği

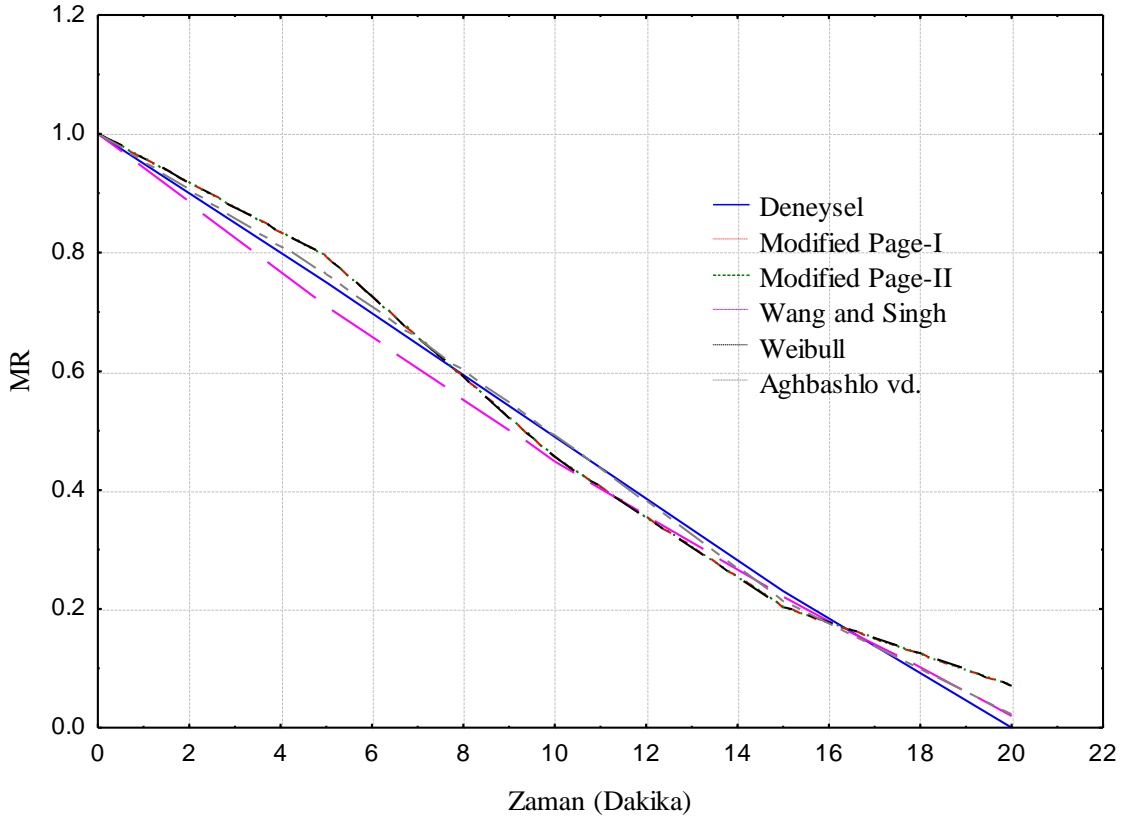
Tablo 4’de 300W kayısı kurutma değerlendirme kriteri sonucu en iyi model Modifiye Page modeli olup 300W mikrodalga güç için model formülize edildiğinde;

$$MR = \exp\left(- (0.693 t)^{1.875}\right) \quad (48)$$

Denklem (48) elde edilmektedir. Şekil 12’de ise kayısı için 300W mikrodalga gücte boyutsuz kütle oranı (MR)-zaman grafiği verilmiştir.

**Tablo 5.** 450 W Kayısı kurutma değerlendirme kriteri

Model Name	R	RSS	SST	SSE	R <sup>2</sup>	$\chi^2$	$\bar{R}^2$	RMSE	residuals	EF	SEE	RSSE	MBE	P
Newton Lewis	0.97098	0.04774	1.18752	0.04774	0.95980	0.01194	0.94639	0.09772	-0.00762	0.95980	0.01194	0.00955	0.00152	3.16047
Page	0.99362	0.00873	1.18752	0.00873	0.99265	0.00291	0.98530	0.04178	-0.05182	0.99265	0.00291	0.00175	0.01036	1.41751
Modifiye Page	0.99362	0.00873	1.18752	0.00873	0.99265	0.00291	0.98530	0.04178	-0.05182	0.99265	0.00291	0.00175	0.01036	1.41751
Modifiye Page-I	0.99362	0.00873	1.18752	0.00873	0.99265	0.00291	0.98530	0.04178	-0.05182	0.99265	0.00291	0.00175	0.01036	1.41751
Modifiye Page-II	0.99362	0.00873	1.18752	0.00873	0.99265	0.00436	0.97059	0.04178	-0.05181	0.99265	0.00436	0.00175	0.01036	1.41753
Henderson ve Pabis	0.97431	0.04990	1.18752	0.04990	0.95798	0.01663	0.91596	0.09990	-0.08542	0.95798	0.01663	0.00998	0.01708	3.19567
Logarithmic	0.99986	0.00017	1.18752	0.00017	0.99985	0.00009	0.99942	0.00587	-0.00013	0.99985	0.00009	0.00003	0.00003	0.21763
Midilli-Kucuk	0.99998	0.00003	1.18752	0.00003	0.99998	0.00003	#SAYI/0!	0.00237	-0.00001	0.99998	0.00003	0.00001	0.00000	0.08119
Demir vd.	0.99987	0.00017	1.18752	0.00017	0.99986	0.00017	#SAYI/0!	0.00579	0.00001	0.99986	0.00017	0.00003	0.00000	0.20865
Two-Term	0.96799	0.04398	1.18752	0.04398	0.96297	0.04398	#SAYI/0!	0.09378	-0.07501	0.96297	0.04398	0.00880	0.01500	3.34011
Two-Term Exponential	0.98902	0.01554	1.18752	0.01554	0.98691	0.00518	0.97382	0.05575	-0.05308	0.98691	0.00518	0.00311	0.01062	1.68327
Verma vd.	0.99023	0.01372	1.18752	0.01372	0.98845	0.00686	0.95379	0.05238	-0.05144	0.98845	0.00686	0.00274	0.01029	1.62560
Approximation of Diffusion	0.99024	0.01371	1.18752	0.01371	0.98845	0.00686	0.95380	0.05237	-0.05171	0.98845	0.00686	0.00274	0.01034	1.62517
Modifiye Henderson ve Pabis	0.96798	0.04398	1.18752	0.04398	0.96297	-0.04398	1.07407	0.09378	-0.07501	0.96297	-0.04398	0.00880	0.01500	3.34013
Thompson														
Wang ve Singh	0.99803	0.00395	1.18752	0.00395	0.99668	0.00132	0.99335	0.02809	0.07420	0.99668	0.00132	0.00079	0.01484	0.92201
Hii vd.	0.99391	0.00840	1.18752	0.00840	0.99293	#SAYI/0!	1.02829	0.04098	-0.03314	0.99293	#SAYI/0!	0.00168	0.00663	1.50778
Simplified Fick's diffusion (SFFD)	0.96799	0.04398	1.18752	0.04398	0.96297	0.02199	0.85187	0.09378	-0.07501	0.96297	0.02199	0.00880	0.01500	3.34011
Weibull	0.99362	0.00873	1.18752	0.00873	0.99265	0.00291	0.98530	0.04178	-0.05181	0.99265	0.00291	0.00175	0.01036	1.41753
Aghbashlo vd.	0.99930	0.00099	1.18752	0.00099	0.99916	0.00033	0.99833	0.01409	-0.02167	0.99916	0.00033	0.00020	0.00433	0.45191
Parabolic	0.99987	0.00017	1.18752	0.00017	0.99986	0.00008	0.99944	0.00576	0.00000	0.99986	0.00008	0.00003	0.00000	0.20821
Balbay ve Şahin	0.99998	0.00003	1.18752	0.00003	0.99998	0.00003	#SAYI/0!	0.00237	-0.00005	0.99998	0.00003	0.00001	0.00001	0.08065
Alibas (Modifiye Midilli-Kucuk)	0.99981	0.00024	1.18752	0.00024	0.99980	#SAYI/0!	1.00080	0.00689	-0.00026	0.99980	#SAYI/0!	0.00005	0.00005	0.23603



**Şekil 13.** Kayısı 450W boyutsuz kütle oranı (MR) – zaman grafiği

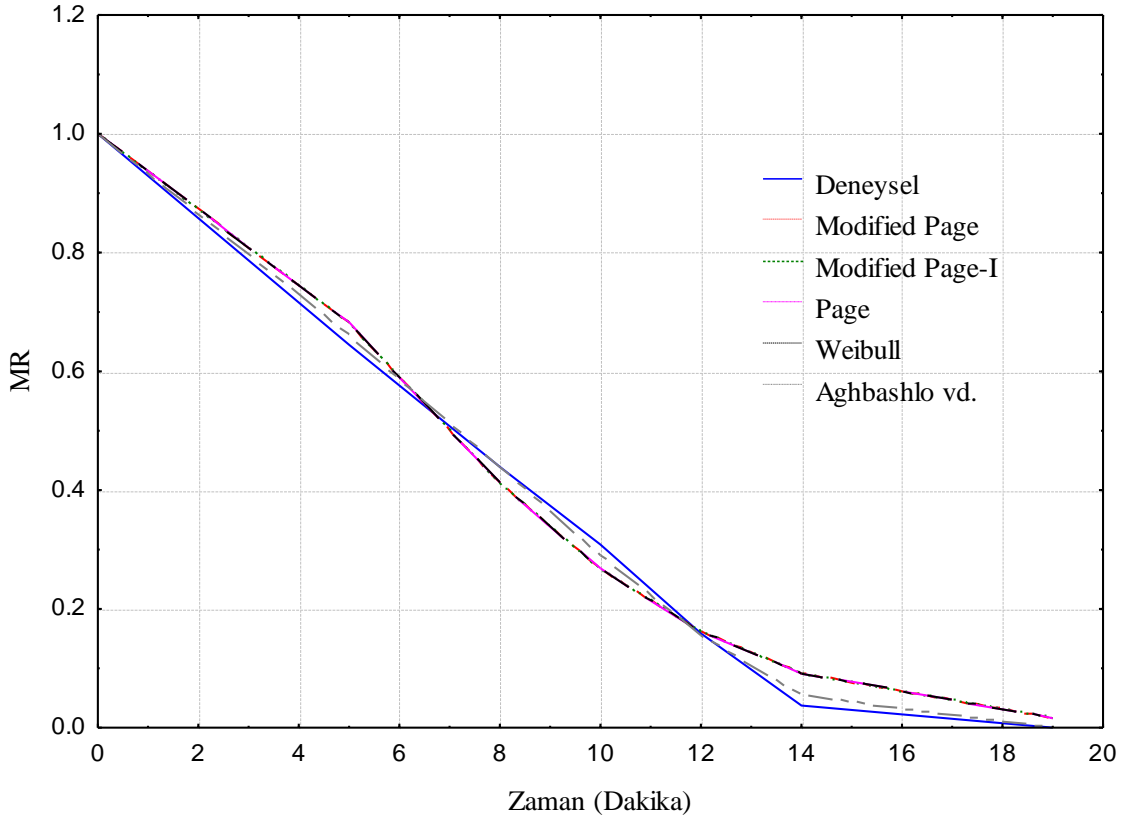
Tablo 5’de 450W kayısı kurutma değerlendirme kriteri sonucu en iyi model Aghbashlo vd. modeli olup 450W mikrodalga güç için model formülize edildiğinde;

$$MR = \exp\left(-\frac{0.043543 t}{1 - 0.038517t}\right) \quad (49)$$

Denklem (49) elde edilmektedir. Şekil 13’de ise kayısı için 450W mikrodalga güçte boyutsuz kütle oranı (MR)-zaman grafiği verilmiştir.

**Tablo 6.** 600 W Kayısı kurutma değerlendirme kriteri

Model Name	r	RSS	SST	SSE	R <sup>2</sup>	$\chi^2$	$\bar{R}^2$	RMSE	residuals	EF	SEE	RSSE	MBE	P
Newton Lewis	0.97497	0.04874	1.27142	0.04874	0.96167	0.00812	0.95400	0.08344	-0.05617	0.96167	0.00812	0.00696	0.00802	2.76073
Page	0.99580	0.00683	1.27142	0.00683	0.99463	0.00137	0.99195	0.03123	-0.04478	0.99463	0.00137	0.00098	0.00640	0.97174
Modifiye Page	0.99580	0.00683	1.27142	0.00683	0.99463	0.00137	0.99195	0.03123	-0.04478	0.99463	0.00137	0.00098	0.00640	0.97173
Modifiye Page-I	0.99580	0.00683	1.27142	0.00683	0.99463	0.00137	0.99195	0.03123	-0.04478	0.99463	0.00137	0.00098	0.00640	0.97174
Modifiye Page-II	0.99580	0.00683	1.27142	0.00683	0.99463	0.00171	0.98926	0.03123	-0.04478	0.99463	0.00171	0.00098	0.00640	0.97173
Henderson ve Pabis	0.97279	0.04609	1.27142	0.04609	0.96375	0.00922	0.94562	0.08115	-0.11082	0.96375	0.00922	0.00658	0.01583	2.89066
Logarithmic	0.99070	0.01432	1.27142	0.01432	0.98874	0.00358	0.97748	0.04523	0.00000	0.98874	0.00358	0.00205	0.00000	1.55792
Midilli-Kucuk	0.99671	0.00508	1.27142	0.00508	0.99601	0.00169	0.98802	0.02694	-0.00139	0.99601	0.00169	0.00073	0.00020	0.90115
Demir vd.	0.99070	0.01432	1.27142	0.01432	0.98874	0.00477	0.96621	0.04523	0.00000	0.98874	0.00477	0.00205	0.00000	1.55792
Two-Term	0.97279	0.04609	1.27142	0.04609	0.96375	0.01536	0.89124	0.08115	-0.11082	0.96375	0.01536	0.00658	0.01583	2.89066
Two-Term Exponential	0.97471	0.04922	1.27142	0.04922	0.96129	0.00984	0.94193	0.08386	-0.05694	0.96129	0.00984	0.00703	0.00813	2.77271
Verma vd.	0.99332	0.01135	1.27142	0.01135	0.99107	0.00284	0.98214	0.04027	-0.05847	0.99107	0.00284	0.00162	0.00835	1.30930
Approximation of Diffusion	0.99107	0.01417	1.27142	0.01417	0.98885	0.00354	0.97771	0.04500	0.02498	0.98885	0.00354	0.00202	0.00357	1.46160
Modifiye Henderson ve Pabis	0.97279	0.04609	1.27142	0.04609	0.96375	0.04609	#SAYI/0!	0.08115	-0.11082	0.96375	0.04609	0.00658	0.01583	2.89066
Thompson														
Wang ve Singh	0.99316	0.01119	1.27142	0.01119	0.99120	0.00224	0.98679	0.03999	0.03052	0.99120	0.00224	0.00160	0.00436	1.32611
Hii vd.	0.99589	0.00672	1.27142	0.00672	0.99471	0.00336	0.96828	0.03099	-0.03408	0.99471	0.00336	0.00096	0.00487	1.00999
Simplified Fick's diffusion (SFFD)	0.97279	0.04609	1.27142	0.04609	0.96375	0.01152	0.92749	0.08115	-0.11082	0.96375	0.01152	0.00658	0.01583	2.89066
Weibull	0.99580	0.00683	1.27142	0.00683	0.99463	0.00137	0.99195	0.03123	-0.04478	0.99463	0.00137	0.00098	0.00640	0.97173
Aghbashlo vd.	0.99939	0.00097	1.27142	0.00097	0.99924	0.00019	0.99886	0.01177	-0.01335	0.99924	0.00019	0.00014	0.00191	0.31635
Parabolic	0.99327	0.01038	1.27142	0.01038	0.99184	0.00259	0.98368	0.03850	0.00000	0.99184	0.00259	0.00148	0.00000	1.38170
Balbay ve Şahin	0.99681	0.00493	1.27142	0.00493	0.99613	0.00164	0.98838	0.02653	0.00000	0.99613	0.00164	0.00070	0.00000	0.88830
Alibas (Modifiye Midilli-Kucuk)	0.99785	0.00332	1.27142	0.00332	0.99739	0.00166	0.98435	0.02177	-0.00039	0.99739	0.00166	0.00047	0.00006	0.69670



**Şekil 14.** Kayısı 600W boyutsuz kütle oranı (MR) – zaman grafiği

Tablo 6’da 600W kayısı kurutma değerlendirme kriteri sonucu en iyi model Aghbashlo vd. modeli olup 600W mikrodalga güç için model formülize edildiğinde;

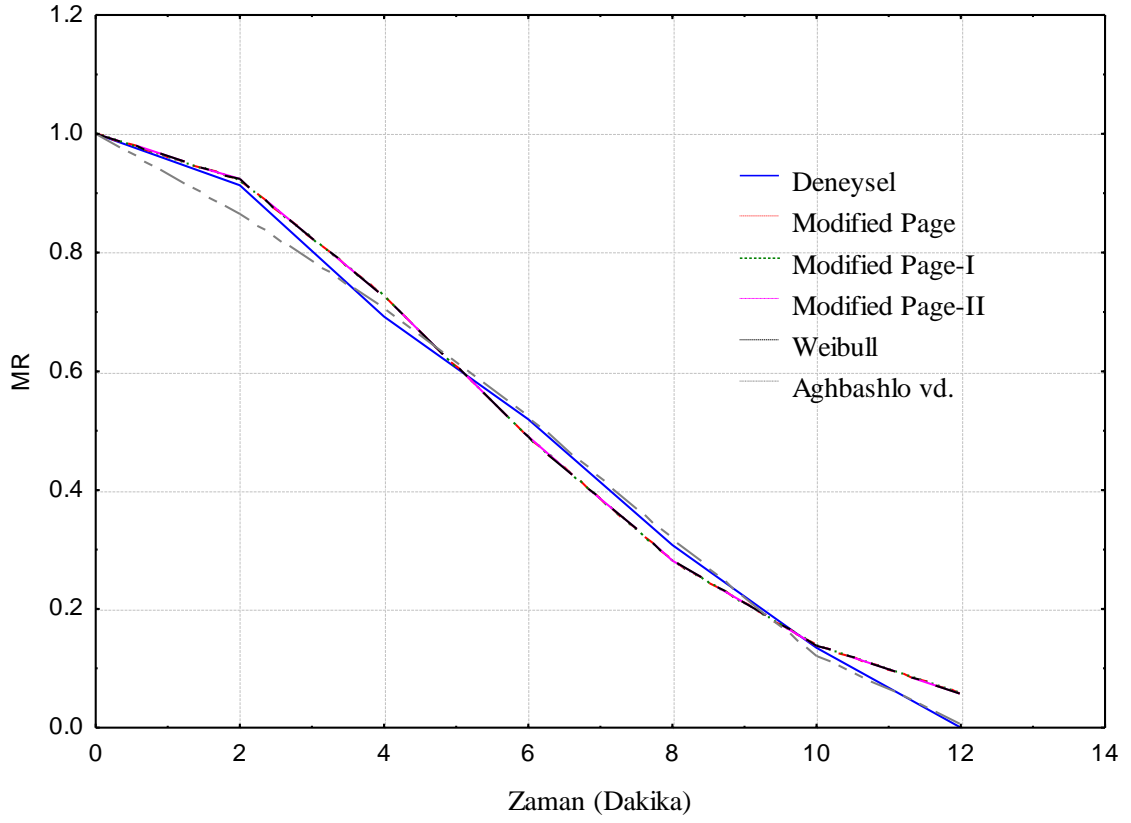
$$MR = \exp\left(-\frac{0.061575t}{1-0.050239t}\right) \quad (50)$$

Denklem (50) elde edilmektedir. Şekil 14’de ise kayısı için 600W mikrodalga güçte boyutsuz kütle oranı (MR)-zaman grafiği verilmiştir.

**Tablo 7.** 700 W Kayısı kurutma değerlendirme kriteri

Model Name	r	RSS	SST	SSE	R <sup>2</sup>	$\chi^2$	$\bar{R}^2$	RMSE	residuals	EF	SEE	RSSE	MBE	P
Newton Lewis	0.96503	0.09481	1.98081	0.09481	0.95214	0.01580	0.94256	0.11638	0.04926	0.95214	0.01580	0.01354	0.00704	2.73614
Page	0.00628	1.98081	0.00628	0.99683	0.00126	0.99524	0.02996	-0.05256	0.99683	0.00126	0.00090	0.00751	0.65238	0.00628
Modifiye Page	0.99669	0.00628	1.98081	0.00628	0.99683	0.00126	0.99524	0.02996	-0.05257	0.99683	0.00126	0.00090	0.00751	0.65238
Modifiye Page-I	0.99669	0.00628	1.98081	0.00628	0.99683	0.00126	0.99524	0.02996	-0.05256	0.99683	0.00126	0.00090	0.00751	0.65238
Modifiye Page-II	0.99669	0.00628	1.98081	0.00628	0.99683	0.00157	0.99365	0.02996	-0.05257	0.99683	0.00157	0.00090	0.00751	0.65238
Henderson ve Pabis	0.95847	0.07785	1.98081	0.07785	0.96070	0.01557	0.94105	0.10546	-0.10869	0.96070	0.01557	0.01112	0.01553	2.69478
Logarithmic	0.99666	0.00586	1.98081	0.00586	0.99704	0.00147	0.99408	0.02894	-0.00082	0.99704	0.00147	0.00084	0.00012	0.70024
Midilli-Kucuk	0.99948	0.00092	1.98081	0.00092	0.99954	0.00031	0.99861	0.01146	-0.00015	0.99954	0.00031	0.00013	0.00002	0.23408
Demir vd.	0.99670	0.00578	1.98081	0.00578	0.99708	0.00193	0.99125	0.02873	0.00000	0.99708	0.00193	0.00083	0.00000	0.69369
Two-Term	0.99669	0.00628	1.98081	0.00628	0.99683	0.00209	0.99048	0.02996	-0.05256	0.99683	0.00209	0.00090	0.00751	0.65238
Two-Term Exponential	0.96463	0.09570	1.98081	0.09570	0.95169	0.01914	0.92753	0.11693	0.05073	0.95169	0.01914	0.01367	0.00725	2.74899
Verma vd.	0.99179	0.01624	1.98081	0.01624	0.99180	0.00406	0.98361	0.04816	-0.07363	0.99180	0.00406	0.00232	0.01052	1.00517
Approximation of Diffusion	0.99633	0.00743	1.98081	0.00743	0.99625	0.00186	0.99250	0.03258	0.04598	0.99625	0.00186	0.00106	0.00657	0.67232
Modifiye Henderson ve Pabis	0.95847	0.07785	1.98081	0.07785	0.96070	0.07785	#SAYI/0!	0.10546	-0.10872	0.96070	0.07785	0.01112	0.01553	2.69478
Thompson														
Wang ve Singh	0.00727	1.98081	0.00727	0.99633	0.00145	0.99449	0.03223	0.04537	0.99633	0.00145	0.00104	0.00648	0.66113	0.00727
Hii vd.	0.99685	0.00601	1.98081	0.00601	0.99697	0.00300	0.98181	0.02929	-0.03233	0.99697	0.00300	0.00086	0.00462	0.65557
Simplified Fick's diffusion (SFFD)	0.95847	0.07785	1.98081	0.07785	0.96070	0.01946	0.92140	0.10546	-0.10869	0.96070	0.01946	0.01112	0.01553	2.69478
Weibull	0.99669	0.00628	1.98081	0.00628	0.99683	0.00126	0.99524	0.02996	-0.05257	0.99683	0.00126	0.00090	0.00751	0.65238
Aghbashlo vd.	0.99852	0.00294	1.98081	0.00294	0.99851	0.00059	0.99777	0.02051	0.02377	0.99851	0.00059	0.00042	0.00340	0.40173
Parabolic	0.99675	0.00570	1.98081	0.00570	0.99712	0.00143	0.99424	0.02854	0.00000	0.99712	0.00143	0.00081	0.00000	0.67844
Balbay ve Şahin	0.99952	0.00085	1.98081	0.00085	0.99957	0.00028	0.99872	0.01100	0.00000	0.99957	0.00028	0.00012	0.00000	0.22967
Alibas (Modifiye Midilli-Kucuk)	0.99834	0.00291	1.98081	0.00291	0.99853	0.00146	0.99118	0.02040	0.00032	0.99853	0.00146	0.00042	0.00005	0.46354





**Şekil 15.** Kayısı 700W boyutsuz kütle oranı (MR) – zaman grafiği

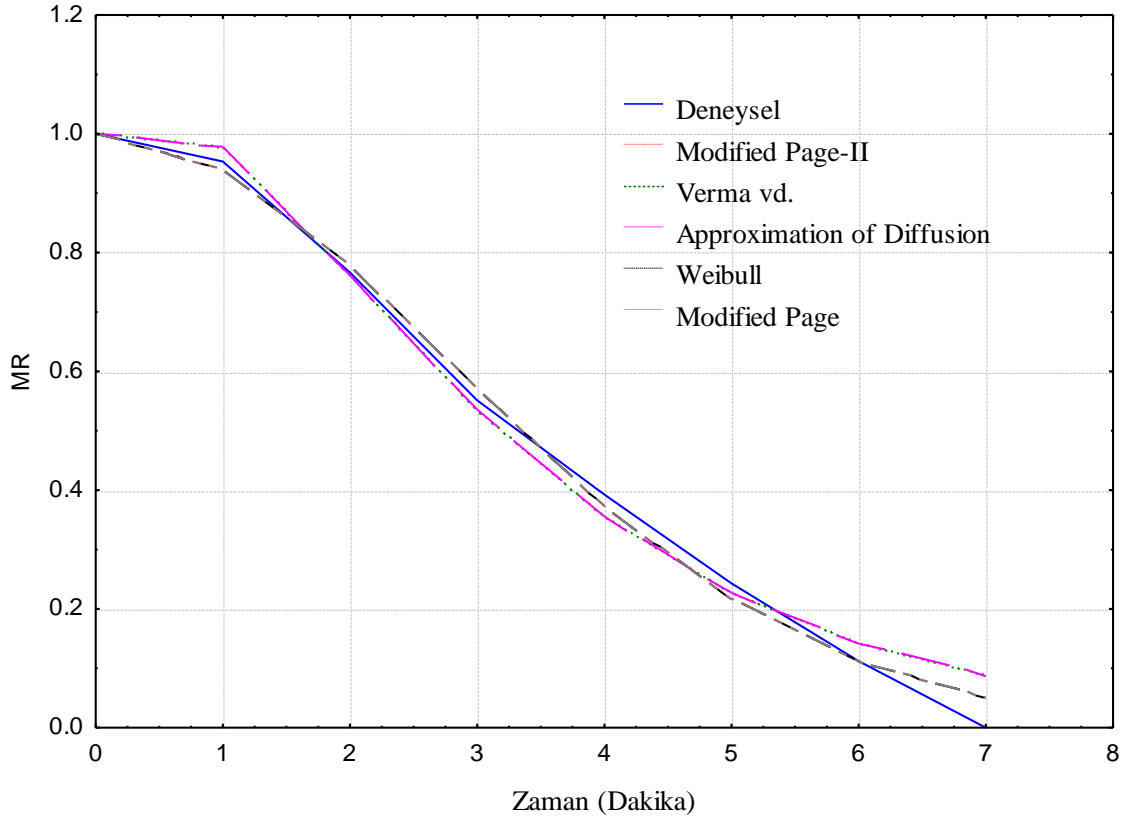
Tablo 7’de 700W kayısı kurutma değerlendirme kriteri sonucu en iyi model Aghbashlo vd. modeli olup 700W mikrodalga güç için model formülize edildiğinde;

$$MR = \exp\left(-\frac{0.062151t}{1-0.070597t}\right) \quad (51)$$

Denklem (51) elde edilmektedir. Şekil 15’de ise kayısı için 700W mikrodalga güçte boyutsuz kütle oranı (MR)-zaman grafiği verilmiştir.

**Tablo 8.** 800 W Kayısı kurutma değerlendirme kriteri

Model Name	r	RSS	SST	SSE	R <sup>2</sup>	$\chi^2$	$\bar{R}^2$	RMSE	residuals	EF	SEE	RSSE	MBE	P
Newton Lewis	0.96912	0.07503	2.31660	0.07503	0.96761	0.01072	0.96221	0.09685	0.07304	0.96761	0.01072	0.00938	0.00913	2.37226
Page	0.00188	2.31660	0.00188	0.99919	0.00031	0.99887	0.01531	-0.02303	0.99919	0.00031	0.00023	0.00288	0.45195	0.00188
Modifiye Page	0.99791	0.00188	2.31660	0.00188	0.99919	0.00031	0.99887	0.01531	-0.02303	0.99919	0.00031	0.00023	0.00288	0.45195
Modifiye Page-I	0.00000	1.98838	2.31660	1.98838	0.14168	0.33140	-0.20165	0.49855	-3.98131	0.14168	0.33140	0.24855	0.49766	12.38372
Modifiye Page-II	0.99791	0.00188	2.31660	0.00188	0.99919	0.00038	0.99858	0.01531	-0.02303	0.99919	0.00038	0.00023	0.00288	0.45195
Henderson ve Pabis	0.96192	0.05628	2.31660	0.05628	0.97571	0.00938	0.96599	0.08387	-0.12322	0.97571	0.00938	0.00703	0.01540	2.26952
Logarithmic	0.99471	0.01003	2.31660	0.01003	0.99567	0.00201	0.99243	0.03540	-0.00003	0.99567	0.00201	0.00125	0.00000	0.79244
Midilli-Kucuk	0.99914	0.00162	2.31660	0.00162	0.99930	0.00041	0.99836	0.01425	-0.00035	0.99930	0.00041	0.00020	0.00004	0.30454
Demir ve Ark.	0.99471	0.01003	2.31660	0.01003	0.99567	0.00251	0.98990	0.03541	-0.00001	0.99567	0.00251	0.00125	0.00000	0.79189
Two-Term	0.96192	0.05628	2.31660	0.05628	0.97571	0.01407	0.94332	0.08387	-0.12322	0.97571	0.01407	0.00703	0.01540	2.26952
Two-Term Exponential	0.99396	0.00475	2.31660	0.00475	0.99795	0.00079	0.99713	0.02438	-0.07691	0.99795	0.00079	0.00059	0.00961	0.78488
Verma ve Ark.	0.99528	0.00337	2.31660	0.00337	0.99854	0.00067	0.99745	0.02053	-0.06834	0.99854	0.00067	0.00042	0.00854	0.66463
Approximation of Diffusion	0.99529	0.00336	2.31660	0.00336	0.99855	0.00067	0.99746	0.02050	-0.06853	0.99855	0.00067	0.00042	0.00857	0.66422
Modifiye Henderson ve Pabis	0.96192	0.05628	2.31660	0.05628	0.97571	0.02814	0.82995	0.08387	-0.12322	0.97571	0.02814	0.00703	0.01540	2.26952
Thompson														
Wang ve Singh	0.99384	0.01368	2.31660	0.01368	0.99409	0.00228	0.99173	0.04136	0.07697	0.99409	0.00228	0.00171	0.00962	0.84473
Hii ve Ark.	0.99791	0.00184	2.31660	0.00184	0.99921	0.00061	0.99722	0.01516	-0.02622	0.99921	0.00061	0.00023	0.00328	0.45460
Simplified Fick's diffusion (SFFD)	0.96192	0.05628	2.31660	0.05628	0.97571	0.01126	0.95749	0.08387	-0.12322	0.97571	0.01126	0.00703	0.01540	2.26952
Weibull	0.99791	0.00188	2.31660	0.00188	0.99919	0.00031	0.99887	0.01531	-0.02303	0.99919	0.00031	0.00023	0.00288	0.45195
Aghbashlo ve Ark.	0.99635	0.00860	2.31660	0.00860	0.99629	0.00143	0.99480	0.03279	0.05915	0.99629	0.00143	0.00108	0.00739	0.59281
Parabolic	0.99473	0.01003	2.31660	0.01003	0.99567	0.00201	0.99242	0.03541	0.00000	0.99567	0.00201	0.00125	0.00000	0.78488
Balbay ve Şahin	0.99919	0.00154	2.31660	0.00154	0.99933	0.00039	0.99845	0.01389	0.00000	0.99933	0.00039	0.00019	0.00000	0.29388
Alibas (Modifiye Midilli-Kucuk)	0.99956	0.00081	2.31660	0.00081	0.99965	0.00027	0.99878	0.01003	-0.00002	0.99965	0.00027	0.00010	0.00000	0.21299



**Şekil 16.** Kayısı 800W boyutsuz kütle oranı (MR) – zaman grafiği

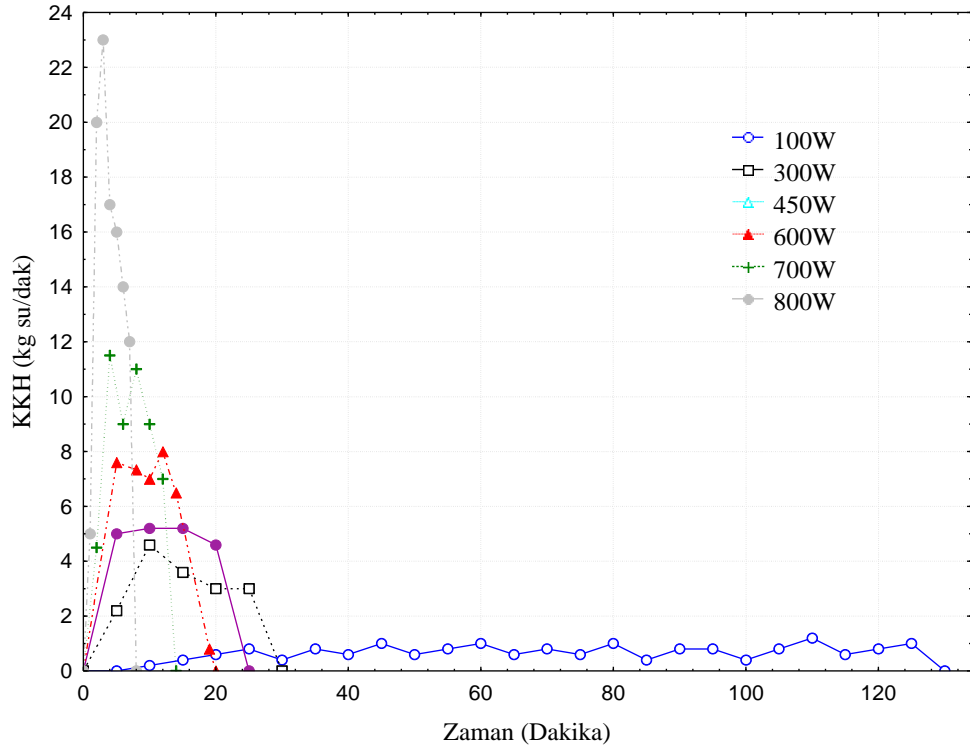
Tablo 8’de 800W kayısı kurutma değerlendirme kriteri sonucu en iyi model Modifiye Page II veya Weibull modelleri olup 800W mikrodalga güç için model formülize edildiğinde;

$$MR = \exp \left( -1.4706 \left( \frac{t}{-2.2137^2} \right)^{1.9751} \right) \quad (52)$$

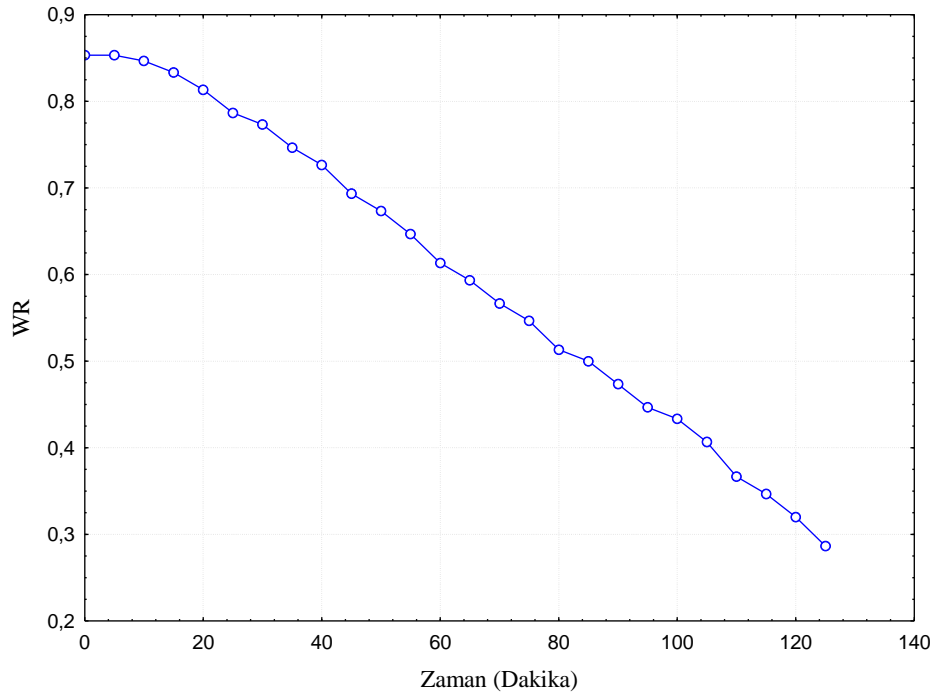
ve

$$MR = \exp \left( - \left( \frac{t}{4.0311} \right)^{1.9751} \right) \quad (53)$$

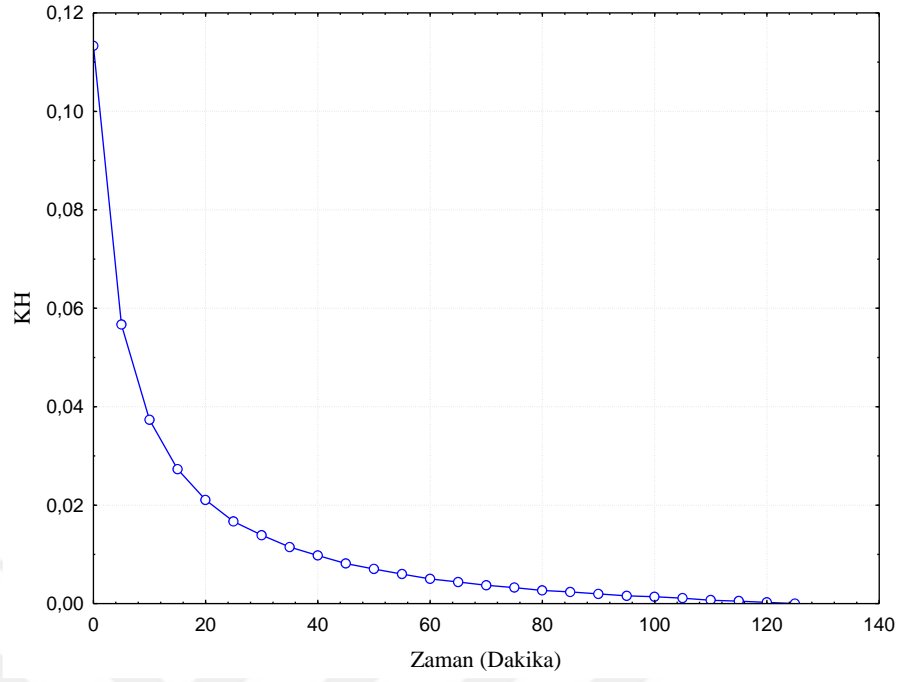
Denklem (52) ve (53) elde edilmektedir. Şekil 16’da ise kayısı için 800W mikrodalga güçte boyutsuz kütle oranı (MR)-zaman grafiği verilmiştir.



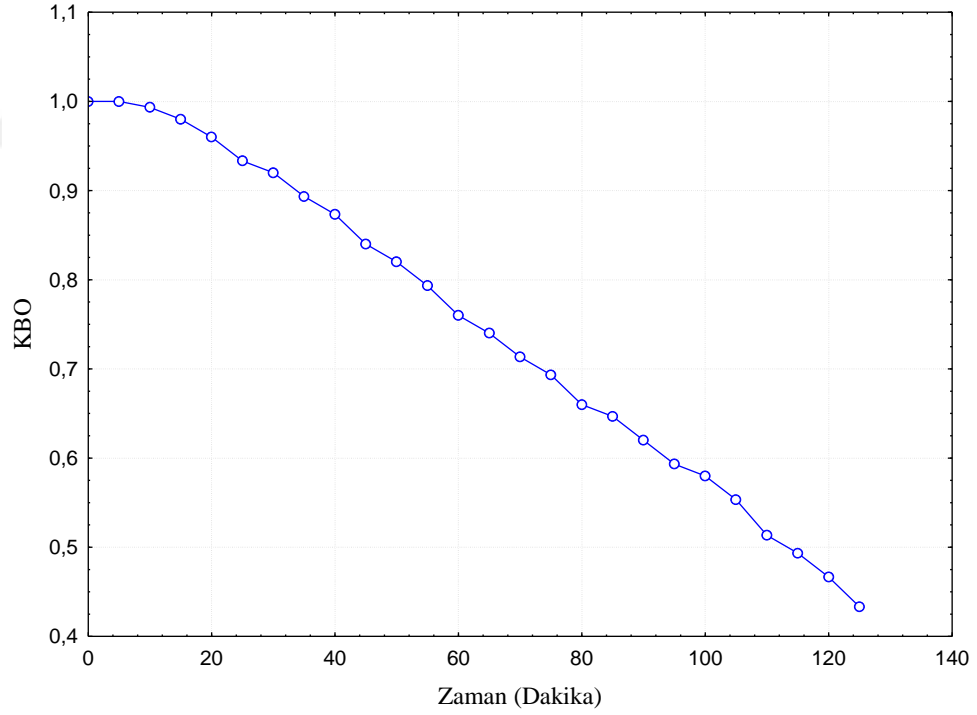
Şekil 17. Kayısının farklı mikrodalga güçlerde kütle kayıp hızı (KKH) – zaman grafiği



Şekil 18. Kayısının 100W mikrodalga güçte nem oranı (WR) – zaman grafiği



**Şekil 19.** Kayısının 100W mikrodalga güçte kuruma hızı (KH) – zaman grafiği



**Şekil 20.** Kayısının 100W mikrodalga güçte kütleli büzülme oranı (KBO) – zaman grafiği

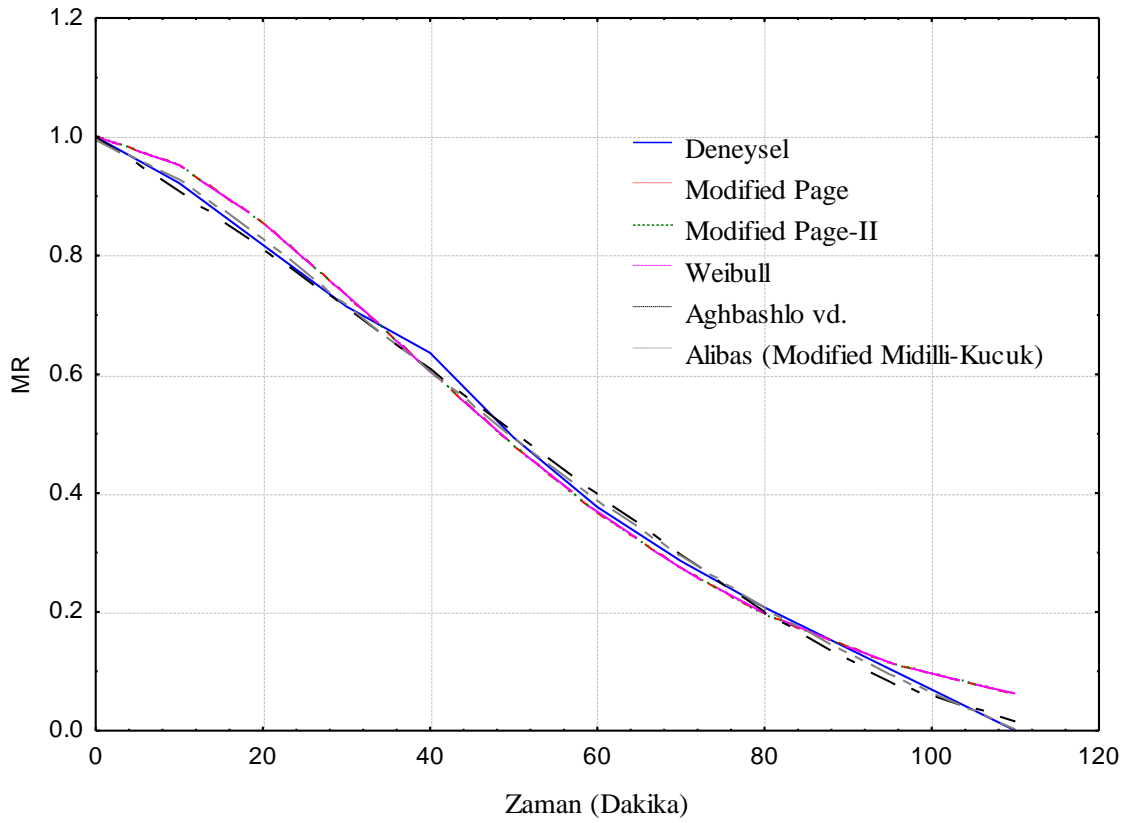
### 3.2. Kivi Kurutma

Deneyler neticesinde kivi kurutmada yapılan tüm çalışmalar, veriler ve matematiksel modelleme sonucu 100W, 300W, 450W, 600W, 700W ve 800W değerlendirme kriterleri tablolarında verilmiştir. Tablolar ışığında değerlendirme kriterleri ile en iyi 5 model için MR – Zaman Grafikleri çizilmiş, en iyi kurutma modeli seçilerek model katsayılarıyla formülize edilmiştir.



**Tablo 9.** 100 W Kivi kurutma değerlendirme kriteri

Model Name	r	RSS	SST	SSE	R <sup>2</sup>	$\chi^2$	$\bar{R}^2$	RMSE	residuals	EF	SEE	RSSE	MBE	P
Newton Lewis	0.97897	0.08536	3.26926	0.08536	0.97389	0.00854	0.97099	0.08809	0.06289	0.97389	0.00854	0.00776	0.00572	1.32331
Page	0.97897	0.08536	3.26926	0.08536	0.97389	0.00948	0.96736	0.08809	0.06286	0.97389	0.00948	0.00776	0.00571	1.32330
Modifiye Page	0.99673	0.00818	3.26926	0.00818	0.99750	0.00091	0.99687	0.02727	-0.08662	0.99750	0.00091	0.00074	0.00787	0.38315
Modifiye Page-I	#SAYI!	3.83893	3.26926	3.83893	-0.17425	0.42655	-0.46781	0.59076	-5.44156	-0.17425	0.42655	0.34899	0.49469	8.89975
Modifiye Page-II	0.99673	0.00818	3.26926	0.00818	0.99750	0.00102	0.99643	0.02727	-0.08662	0.99750	0.00102	0.00074	0.00787	0.38315
Henderson ve Pabis	0.97350	0.06581	3.26926	0.06581	0.97987	0.00731	0.97484	0.07735	-0.12518	0.97987	0.00731	0.00598	0.01138	1.15658
Logarithmic	0.99779	0.00507	3.26926	0.00507	0.99845	0.00063	0.99779	0.02146	0.00024	0.99845	0.00063	0.00046	0.00002	0.33570
Midilli-Kucuk	0.99934	0.00152	3.26926	0.00152	0.99953	0.00022	0.99922	0.01176	-0.00208	0.99953	0.00022	0.00014	0.00019	0.15238
Demir vd.	0.99779	0.00507	3.26926	0.00507	0.99845	0.00072	0.99742	0.02146	0.00000	0.99845	0.00072	0.00046	0.00000	0.33593
Two-Term	0.97350	0.06581	3.26926	0.06581	0.97987	0.00940	0.96645	0.07735	-0.12518	0.97987	0.00940	0.00598	0.01138	1.15659
Two-Term Exponential	0.97893	0.08610	3.26926	0.08610	0.97366	0.00957	0.96708	0.08847	0.05756	0.97366	0.00957	0.00783	0.00523	1.32993
Verma vd.	0.99364	0.01590	3.26926	0.01590	0.99514	0.00199	0.99305	0.03802	-0.09529	0.99514	0.00199	0.00145	0.00866	0.49969
Approximation of Diffusion	0.99369	0.01589	3.26926	0.01589	0.99514	0.00199	0.99306	0.03800	-0.09718	0.99514	0.00199	0.00144	0.00883	0.49718
Modifiye Henderson ve Pabis	0.97350	0.06581	3.26926	0.06581	0.97987	0.01316	0.94968	0.07735	-0.12516	0.97987	0.01316	0.00598	0.01138	1.15659
Thompson														
Wang ve Singh	0.99541	0.01253	3.26926	0.01253	0.99617	0.00139	0.99521	0.03375	-0.14503	0.99617	0.00139	0.00114	0.01318	0.45286
Hii vd.	0.99762	0.00598	3.26926	0.00598	0.99817	0.00100	0.99634	0.02331	-0.03905	0.99817	0.00100	0.00054	0.00355	0.32030
Simplified Fick's diffusion (SFFD)	0.48443	2.95581	3.26926	2.95581	0.09588	0.36948	-0.29160	0.51837	4.55849	0.09588	0.36948	0.26871	0.41441	7.45548
Weibull	0.99673	0.00818	3.26926	0.00818	0.99750	0.00091	0.99687	0.02727	-0.08662	0.99750	0.00091	0.00074	0.00787	0.38315
Aghbashlo vd.	0.99900	0.00241	3.26926	0.00241	0.99926	0.00027	0.99908	0.01480	0.01490	0.99926	0.00027	0.00022	0.00135	0.22105
Parabolic	0.92910	0.15691	3.26926	0.15691	0.95200	0.01961	0.93144	0.11943	-0.00278	0.95200	0.01961	0.01426	0.00025	1.84710
Balbay ve Şahin	0.99932	0.00156	3.26926	0.00156	0.99952	0.00022	0.99921	0.01190	0.00020	0.99952	0.00022	0.00014	0.00002	0.15077
Alibas (Modifiye Midilli-Kucuk)	0.99942	0.00133	3.26926	0.00133	0.99959	0.00022	0.99919	0.01100	-0.01081	0.99959	0.00022	0.00012	0.00098	0.15046



Şekil 21. Kivi 100W boyutsuz kütle oranı (MR) – zaman grafiği

Tablo 9’da 100W kivi kurutma değerlendirme kriteri sonucu en iyi model Alibaş (Modifiye Midilli – Küçük) modelli olup 100W mikrodalga güç için model formülize edildiğinde;

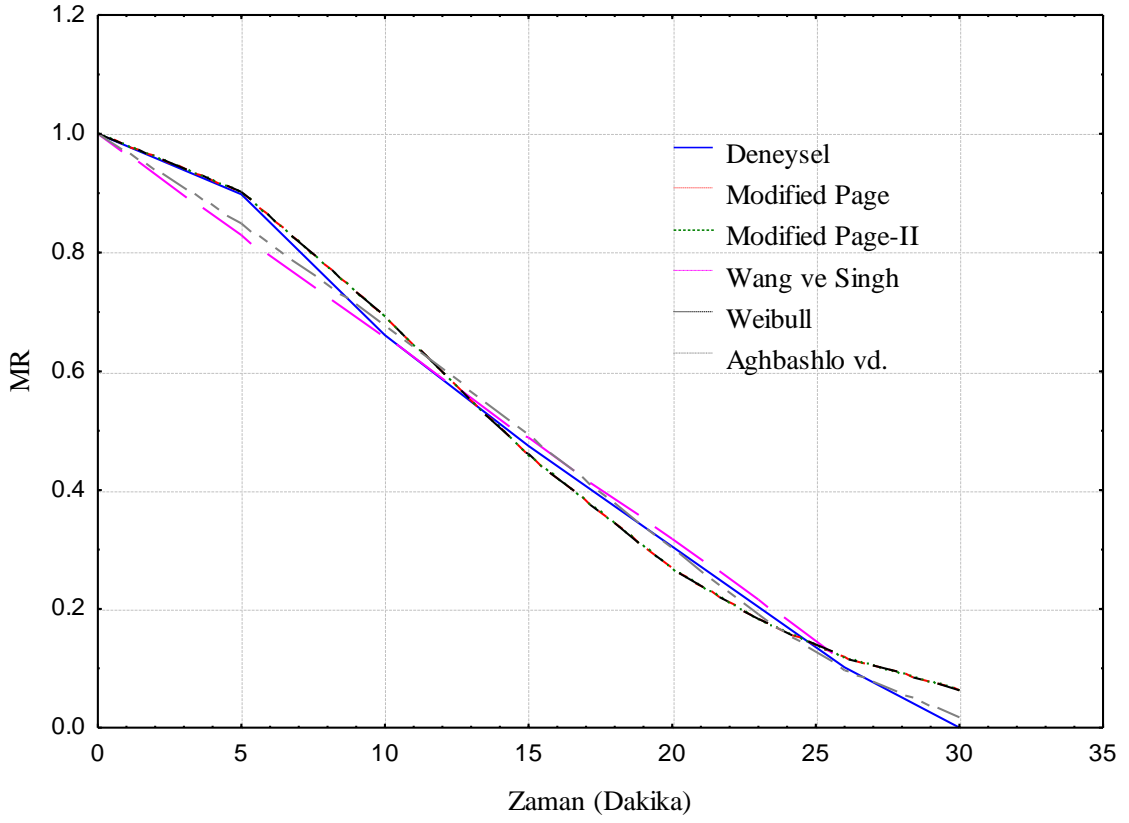
$$MR = 0.27811 \exp\left(-0.00185t^{2.18479}\right) - 0.00656t + 0.71709 \quad (54)$$

Denklem (54) elde edilmektedir. Şekil 21’de ise kivi için 100W mikrodalga güçte boyutsuz kütle oranı (MR)-zaman grafiği verilmiştir.



**Tablo 10.** 300 W Kivi kurutma değerlendirme kriteri

Model Name	r	RSS	SST	SSE	R <sup>2</sup>	$\chi^2$	$\bar{R}^2$	RMSE	residuals	EF	SEE	RSSE	MBE	P
Newton Lewis	0.97188	0.08343	2.00127	0.08343	0.95831	0.01192	0.95137	0.10212	0.02824	0.95831	0.01192	0.01043	0.00353	2.28005
Page	0.97188	0.08343	2.00127	0.08343	0.95831	0.01390	0.94164	0.10212	0.02824	0.95831	0.01390	0.01043	0.00353	2.28005
Modifiye Page	0.99643	0.00717	2.00127	0.00717	0.99642	0.00119	0.99499	0.02993	-0.04640	0.99642	0.00119	0.00090	0.00580	0.63720
Modifiye Page-I	#SAYI!	3.32577	2.00127	3.32577	-0.66183	0.55429	-1.32656	0.64476	-4.35593	-0.66183	0.55429	0.41572	0.54449	14.94186
Modifiye Page-II	0.99643	0.00717	2.00127	0.00717	0.99642	0.00143	0.99373	0.02993	-0.04640	0.99642	0.00143	0.00090	0.00580	0.63719
Henderson ve Pabis	0.96662	0.06826	2.00127	0.06826	0.96589	0.01138	0.95225	0.09237	-0.11729	0.96589	0.01138	0.00853	0.01466	2.27079
Logarithmic	0.99760	0.00458	2.00127	0.00458	0.99771	0.00092	0.99599	0.02393	-0.00116	0.99771	0.00092	0.00057	0.00015	0.48729
Midilli-Kucuk	0.99754	0.00469	2.00127	0.00469	0.99766	0.00117	0.99453	0.02421	0.00534	0.99766	0.00117	0.00059	0.00067	0.54792
Demir vd.	0.99281	0.01372	2.00127	0.01372	0.99314	0.00343	0.98400	0.04142	-0.00389	0.99314	0.00343	0.00172	0.00049	0.96427
Two-Term	0.96662	0.06826	2.00127	0.06826	0.96589	0.01707	0.92041	0.09237	-0.11729	0.96589	0.01707	0.00853	0.01466	2.27079
Two-Term Exponential	0.97171	0.08403	2.00127	0.08403	0.95801	0.01400	0.94122	0.10249	0.02616	0.95801	0.01400	0.01050	0.00327	2.28610
Verma vd.	0.99353	0.01349	2.00127	0.01349	0.99326	0.00270	0.98820	0.04106	-0.06548	0.99326	0.00270	0.00169	0.00819	0.84027
Approximation of Diffusion	0.99354	0.01349	2.00127	0.01349	0.99326	0.00270	0.98821	0.04106	-0.06603	0.99326	0.00270	0.00169	0.00825	0.83923
Modifiye Henderson ve Pabis	0.96662	0.06826	2.00127	0.06826	0.96589	0.03413	0.76123	0.09237	-0.11740	0.96589	0.03413	0.00853	0.01467	2.27076
Thompson														
Wang ve Singh	0.99734	0.00592	2.00127	0.00592	0.99704	0.00099	0.99586	0.02719	0.04271	0.99704	0.00099	0.00074	0.00534	0.49675
Hii vd.	0.99672	0.00662	2.00127	0.00662	0.99669	0.00221	0.98842	0.02877	-0.03245	0.99669	0.00221	0.00083	0.00406	0.62694
Simplified Fick's diffusion (SFFD)	0.96662	0.06826	2.00127	0.06826	0.96589	0.01365	0.94031	0.09237	-0.11729	0.96589	0.01365	0.00853	0.01466	2.27079
Weibull	0.99643	0.00717	2.00127	0.00717	0.99642	0.00119	0.99499	0.02993	-0.04640	0.99642	0.00119	0.00090	0.00580	0.63720
Aghbashlo vd.	0.99823	0.00368	2.00127	0.00368	0.99816	0.00061	0.99742	0.02145	0.01372	0.99816	0.00061	0.00046	0.00172	0.43527
Parabolic	0.98853	0.02222	2.00127	0.02222	0.98890	0.00444	0.98057	0.05270	0.00810	0.98890	0.00444	0.00278	0.00101	1.33785
Balbay ve Şahin	0.99937	0.00120	2.00127	0.00120	0.99940	0.00030	0.99860	0.01226	0.00001	0.99940	0.00030	0.00015	0.00000	0.28082
Alibas (Modifiye Midilli-Kucuk)	0.99814	0.00363	2.00127	0.00363	0.99818	0.00121	0.99365	0.02131	-0.00060	0.99818	0.00121	0.00045	0.00007	0.45428



**Şekil 22.** Kivi 300W boyutsuz kütle oranı (MR) – zaman grafiği

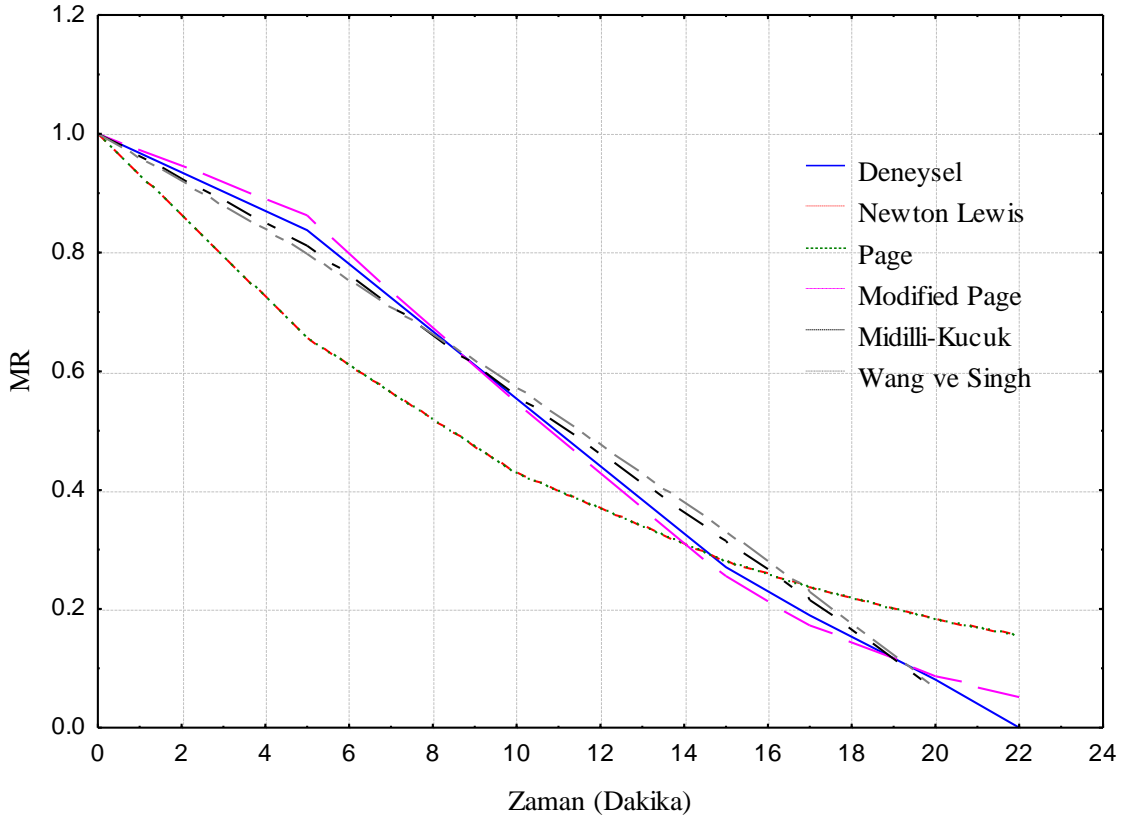
Tablo 10’da 300W kivi kurutma değerlendirme kriteri sonucu en iyi model Aghbashlo ve Ark. modeli olup 300W mikrodalga güç için model formülize edildiğinde;

$$MR = \exp\left(-\frac{0.02841t}{1-0.02630t}\right) \quad (55)$$

Denklem (55) elde edilmektedir. Şekil 22’de ise kivi için 300W mikrodalga güçte boyutsuz kütle oranı (MR)-zaman grafiği verilmiştir.

**Tablo 11.** 450W Kivi kurutma değerlendirme kriteri

Model Name	r	RSS	SST	SSE	R <sup>2</sup>	$\chi^2$	$\bar{R}^2$	RMSE	residuals	EF	SEE	RSSE	MBE	P
Newton Lewis	0.98042	0.05174	1.55592	0.05174	0.96675	0.00862	0.96010	0.08597	0.25126	0.96675	0.00862	0.00739	0.03589	1.83663
Page	0.98042	0.05174	1.55592	0.05174	0.96675	0.01035	0.95012	0.08597	0.25126	0.96675	0.01035	0.00739	0.03589	1.83663
Modifiye Page	0.99955	0.00117	1.55592	0.00117	0.99925	0.00023	0.99888	0.01290	0.01282	0.99925	0.00023	0.00017	0.00183	0.31354
Modifiye Page-I	1.13399	1.41508	1.55592	1.41508	0.09052	0.28302	-0.36422	0.44962	-2.14865	0.09052	0.28302	0.20215	0.30695	10.76506
Modifiye Page-II	1.00161	0.00117	1.55592	0.00117	0.99925	0.00029	0.99850	0.01290	0.01283	0.99925	0.00029	0.00017	0.00183	0.31354
Henderson ve Pabis	0.99256	0.04488	1.55592	0.04488	0.97116	0.00898	0.95674	0.08007	0.11806	0.97116	0.00898	0.00641	0.01687	2.02178
Logarithmic	0.99816	0.00578	1.55592	0.00578	0.99629	0.00144	0.99258	0.02873	-0.02535	0.99629	0.00144	0.00083	0.00362	0.77758
Midilli-Kucuk	0.99939	0.00339	1.55592	0.00339	0.99782	0.00113	0.99346	0.02201	-0.05277	0.99782	0.00113	0.00048	0.00754	0.52821
Demir vd.	0.99450	0.01375	1.55592	0.01375	0.99117	0.00458	0.97350	0.04431	0.03998	0.99117	0.00458	0.00196	0.00571	1.11630
Two-Term	0.99256	0.04488	1.55592	0.04488	0.97116	0.01496	0.91347	0.08007	0.11806	0.97116	0.01496	0.00641	0.01687	2.02178
Two-Term Exponential	1.01271	0.05174	1.55592	0.05174	0.96675	0.01035	0.95012	0.08597	0.25126	0.96675	0.01035	0.00739	0.03589	1.83663
Verma vd.	1.01271	0.05174	1.55592	0.05174	0.96675	0.01293	0.93349	0.08597	0.25126	0.96675	0.01293	0.00739	0.03589	1.83663
Approximation of Diffusion	1.00255	0.00434	1.55592	0.00434	0.99721	0.00109	0.99442	0.02491	0.04940	0.99721	0.00109	0.00062	0.00706	0.55700
Modifiye Henderson ve Pabis Thompson	0.99256	0.04488	1.55592	0.04488	0.97116	0.04488	#SAYI/0!	0.08007	0.11806	0.97116	0.04488	0.00641	0.01687	2.02178
Wang ve Singh	0.99773	0.00739	1.55592	0.00739	0.99525	0.00148	0.99287	0.03250	-0.08208	0.99525	0.00148	0.00106	0.01173	0.81224
Hii vd.	1.00181	0.00088	1.55592	0.00088	0.99943	0.00044	0.99660	0.01123	0.02509	0.99943	0.00044	0.00013	0.00358	0.29542
Simplified Fick's diffusion (SFFD)	0.99256	0.04488	1.55592	0.04488	0.97116	0.01122	0.94231	0.08007	0.11806	0.97116	0.01122	0.00641	0.01687	2.02178
Weibull	1.00161	0.00117	1.55592	0.00117	0.99925	0.00023	0.99888	0.01290	0.01282	0.99925	0.00023	0.00017	0.00183	0.31354
Aghbashlo vd.	1.00043	0.00190	1.55592	0.00190	0.99878	0.00038	0.99817	0.01647	0.00894	0.99878	0.00038	0.00027	0.00128	0.34985
Parabolic	0.99822	0.00563	1.55592	0.00563	0.99638	0.00141	0.99277	0.02835	-0.02823	0.99638	0.00141	0.00080	0.00403	0.76071
Balbay ve Şahin	1.00110	0.00008	1.55592	0.00008	0.99995	0.00003	0.99984	0.00346	-0.00346	0.99995	0.00003	0.00001	0.00049	0.07386
Alibas (Modifiye Midilli-Kucuk)	1.00112	0.00008	1.55592	0.00008	0.99995	0.00004	0.99968	0.00343	-0.00294	0.99995	0.00004	0.00001	0.00042	0.07883



Şekil 23. Kivi 450W boyutsuz kütle oranı (MR) – zaman grafiği

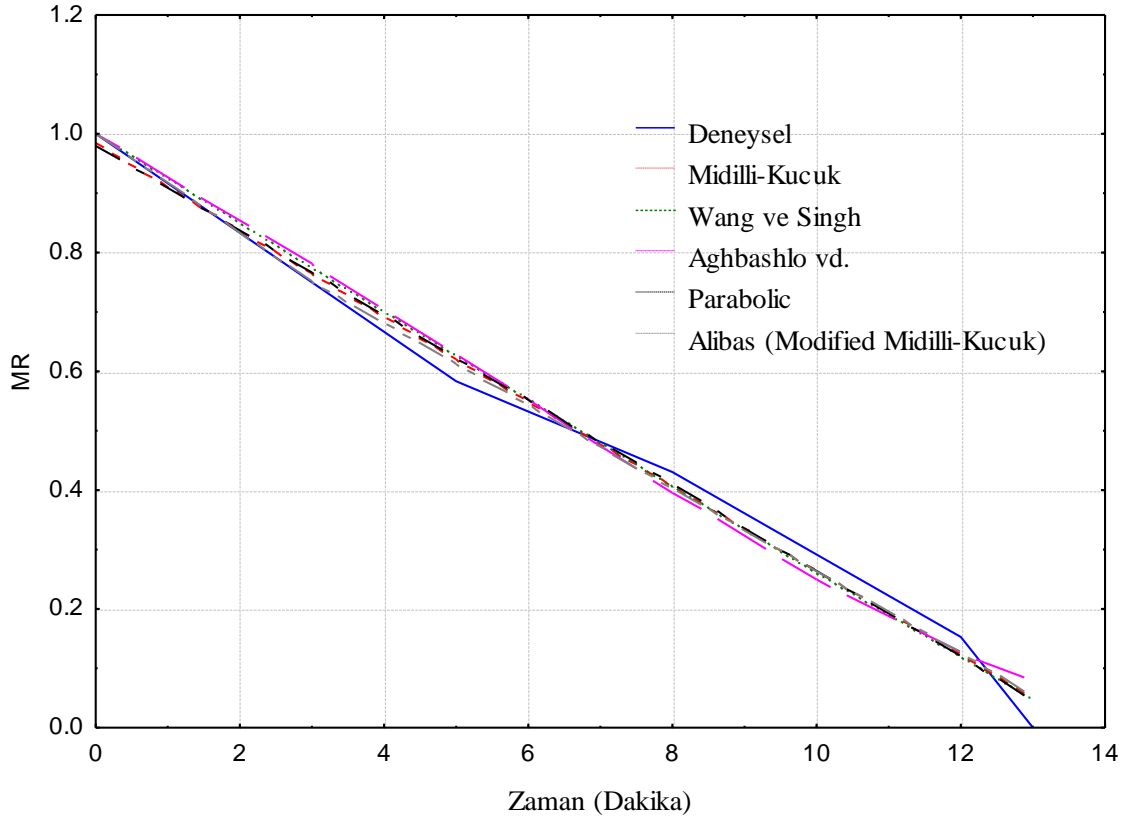
Tablo 11’de 450W kivi kurutma değerlendirme kriteri sonucu en iyi model Midilli-Küçük modellenmiş olup 450W mikrodalga güç için model formülize edildiğinde;

$$MR = 0.99986 \exp\left(0.05861t^{0.0000008}\right) - 0.049716t \quad (56)$$

Denklem (56) elde edilmiştir. Şekil 23’de ise kivi için 450W mikrodalga güçte boyutsuz kütle oranı (MR)-zaman grafiği verilmiştir.

**Tablo 12.** 600W Kivi kurutma değeriendirme kriteri

Model Name	r	RSS	SST	SSE	R <sup>2</sup>	$\chi^2$	$\bar{R}^2$	RMSE	residuals	EF	SEE	RSSE	MBE	P
Newton Lewis	0.97014	0.05272	1.61380	0.05272	0.96733	0.00879	0.96080	0.08679	-0.00822	0.96733	0.00879	0.00753	0.00117	2.10817
Page	0.97014	0.05272	1.61380	0.05272	0.96733	0.01054	0.95099	0.08679	-0.00822	0.96733	0.01054	0.00753	0.00117	2.10817
Modifiye Page	0.98351	0.02426	1.61380	0.02426	0.98497	0.00485	0.97745	0.05887	-0.05759	0.98497	0.00485	0.00347	0.00823	1.36552
Modifiye Page-I	1.23245	2.77990	1.61380	2.77990	-0.72258	0.55598	-1.58386	0.63018	-3.79167	-0.72258	0.55598	0.39713	0.54167	16.88312
Modifiye Page-II	0.98351	0.02426	1.61380	0.02426	0.98497	0.00606	0.96994	0.05887	-0.05759	0.98497	0.00606	0.00347	0.00823	1.36551
Henderson ve Pabis	0.96764	0.04906	1.61380	0.04906	0.96960	0.00981	0.95440	0.08372	-0.07477	0.96960	0.00981	0.00701	0.01068	2.17362
Logarithmic	0.99516	0.00701	1.61380	0.00701	0.99566	0.00175	0.99132	0.03164	-0.00230	0.99566	0.00175	0.00100	0.00033	0.90818
Midilli-Kucuk	0.99529	0.00683	1.61380	0.00683	0.99577	0.00228	0.98730	0.03124	-0.00001	0.99577	0.00228	0.00098	0.00000	0.90645
Demir vd.	0.99020	0.01423	1.61380	0.01423	0.99118	0.00474	0.97355	0.04508	-0.00294	0.99118	0.00474	0.00203	0.00042	1.01982
Two-Term	0.96764	0.04906	1.61380	0.04906	0.96960	0.01635	0.90880	0.08372	-0.07478	0.96960	0.01635	0.00701	0.01068	2.17362
Two-Term Exponential	0.98087	0.02855	1.61380	0.02855	0.98231	0.00571	0.97346	0.06387	-0.05337	0.98231	0.00571	0.00408	0.00762	1.37354
Verma vd.	0.98178	0.02708	1.61380	0.02708	0.98322	0.00677	0.96644	0.06219	-0.05278	0.98322	0.00677	0.00387	0.00754	1.35907
Approximation of Diffusion	0.98178	0.02708	1.61380	0.02708	0.98322	0.00677	0.96644	0.06219	-0.05293	0.98322	0.00677	0.00387	0.00756	1.35881
Modifiye Henderson ve Pabis	0.96764	0.04906	1.61380	0.04906	0.96960	0.04906	#SAYI/0!	0.08372	-0.07477	0.96960	0.04906	0.00701	0.01068	2.17362
Thompson														
Wang ve Singh	0.99514	0.00734	1.61380	0.00734	0.99545	0.00147	0.99318	0.03239	-0.02370	0.99545	0.00147	0.00105	0.00339	0.90380
Hii vd.	0.98391	0.02376	1.61380	0.02376	0.98528	0.01188	0.91167	0.05826	-0.03537	0.98528	0.01188	0.00339	0.00505	1.45610
Simplified Fick's diffusion (SFFD)	0.96764	0.04906	1.61380	0.04906	0.96960	0.01227	0.93920	0.08372	-0.07477	0.96960	0.01227	0.00701	0.01068	2.17362
Weibull	0.98351	0.02426	1.61380	0.02426	0.98497	0.00485	0.97745	0.05887	-0.05759	0.98497	0.00485	0.00347	0.00823	1.36552
Aghbashlo vd.	0.99152	0.01270	1.61380	0.01270	0.99213	0.00254	0.98819	0.04260	-0.04956	0.99213	0.00254	0.00181	0.00708	1.14770
Parabolic	0.99526	0.00686	1.61380	0.00686	0.99575	0.00172	0.99149	0.03131	0.00000	0.99575	0.00172	0.00098	0.00000	0.92226
Balbay ve Şahin	0.99530	0.00681	1.61380	0.00681	0.99578	0.00227	0.98735	0.03118	-0.00135	0.99578	0.00227	0.00097	0.00019	0.87227
Alibas (Modifiye Midilli-Kucuk)	0.99575	0.00616	1.61380	0.00616	0.99618	0.00308	0.97709	0.02967	0.00000	0.99618	0.00308	0.00088	0.00000	0.75648



**Şekil 24.** Kivi 600W boyutsuz kütle oranı (MR) – zaman grafiği

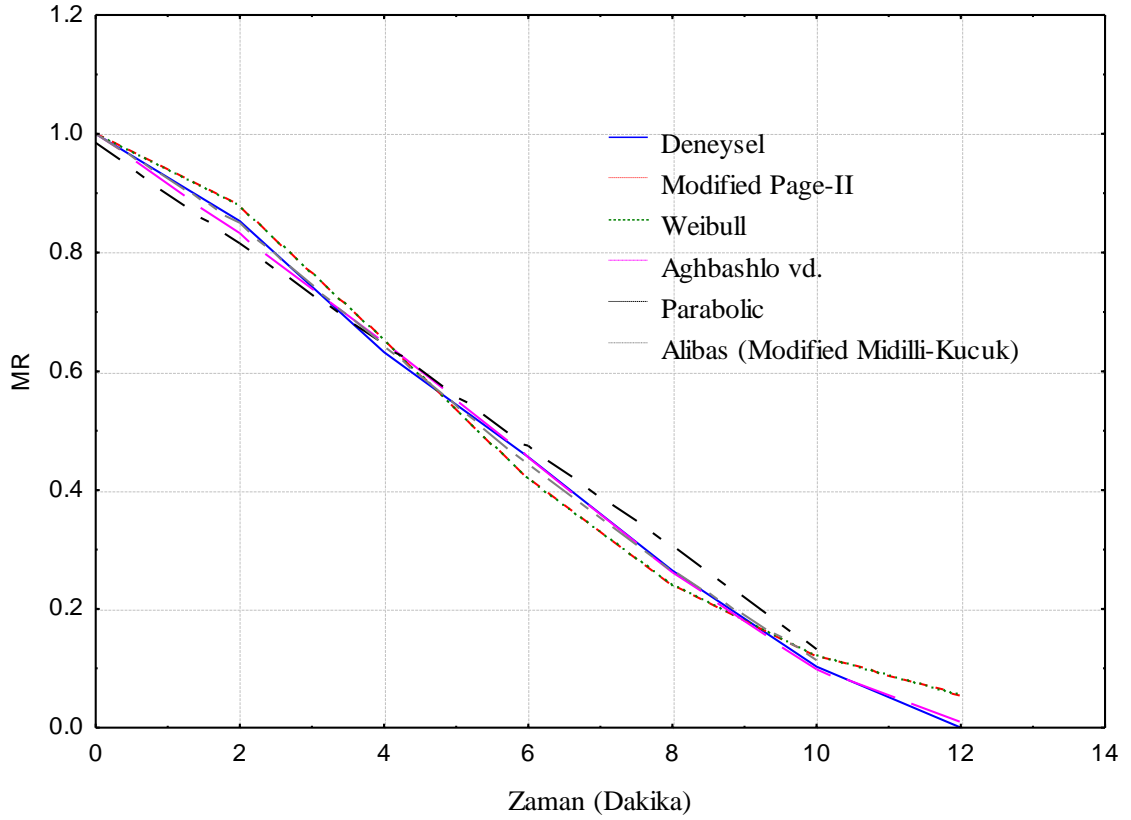
Tablo 12’de 600W kivi kurutma değerlendirme kriteri sonucu en iyi model Midilli-Küçük modellenmiş olup 600W mikrodalga güç için model formülize edildiğinde;

$$MR = 0.98466 \exp\left(0.003166t^{1.18693}\right) - 0.077114t \quad (57)$$

Denklem (57) elde edilmiştir. Şekil 24’de ise kivi için 600W mikrodalga güçte boyutsuz kütle oranı (MR)-zaman grafiği verilmiştir.

**Tablo 13.** 700W Kivi kurutma değerlendirme kriteri

Model Name	r	RSS	SST	SSE	R <sup>2</sup>	$\chi^2$	$\bar{R}^2$	RMSE	residuals	EF	SEE	RSSE	MBE	P
Newton Lewis	0.97556	0.06364	1.77493	0.06364	0.96415	0.01061	0.95698	0.09535	0.00897	0.96415	0.01061	0.00909	0.00128	2.43653
Page	0.97556	0.06364	1.77493	0.06364	0.96415	0.01273	0.94622	0.09535	0.00897	0.96415	0.01273	0.00909	0.00128	2.43653
Modifiye Page	0.99655	0.00640	1.77493	0.00640	0.99640	0.00128	0.99459	0.03023	-0.05843	0.99640	0.00128	0.00091	0.00835	0.78430
Modifiye Page-I	1.17349	2.79823	1.77493	2.79823	-0.57653	0.55965	-1.36480	0.63226	-3.69118	-0.57653	0.55965	0.39975	0.52731	15.93651
Modifiye Page-II	0.99655	0.00640	1.77493	0.00640	0.99640	0.00160	0.99279	0.03023	-0.05842	0.99640	0.00160	0.00091	0.00835	0.78430
Henderson ve Pabis	0.97110	0.05391	1.77493	0.05391	0.96962	0.01078	0.95444	0.08776	-0.10545	0.96962	0.01078	0.00770	0.01506	2.43109
Logarithmic	0.99825	0.00298	1.77493	0.00298	0.99832	0.00075	0.99664	0.02065	0.00000	0.99832	0.00075	0.00043	0.00000	0.54630
Midilli-Kucuk	0.99970	0.00051	1.77493	0.00051	0.99971	0.00017	0.99914	0.00851	-0.00004	0.99971	0.00017	0.00007	0.00001	0.20561
Demir vd.	0.99825	0.00298	1.77493	0.00298	0.99832	0.00099	0.99496	0.02065	-0.00001	0.99832	0.00099	0.00043	0.00000	0.54629
Two-Term	0.97110	0.05391	1.77493	0.05391	0.96962	0.01797	0.90887	0.08776	-0.10545	0.96962	0.01797	0.00770	0.01506	2.43109
Two-Term Exponential	0.97526	0.06399	1.77493	0.06399	0.96395	0.01280	0.94592	0.09561	0.01490	0.96395	0.01280	0.00914	0.00213	2.44285
Verma vd.	0.99354	0.01244	1.77493	0.01244	0.99299	0.00311	0.98598	0.04216	-0.06849	0.99299	0.00311	0.00178	0.00978	1.00334
Approximation of Diffusion	0.99354	0.01244	1.77493	0.01244	0.99299	0.00311	0.98598	0.04216	-0.06864	0.99299	0.00311	0.00178	0.00981	1.00302
Modifiye Henderson ve Pabis	0.97110	0.05391	1.77493	0.05391	0.96962	0.05391	#SAYI/0!	0.08776	-0.10545	0.96962	0.05391	0.00770	0.01506	2.43109
Thompson														
Wang ve Singh	0.99820	0.00351	1.77493	0.00351	0.99802	0.00070	0.99703	0.02240	0.03033	0.99802	0.00070	0.00050	0.00433	0.52268
Hii vd.	0.99679	0.00598	1.77493	0.00598	0.99663	0.00299	0.97980	0.02922	-0.03486	0.99663	0.00299	0.00085	0.00498	0.81635
Simplified Fick's diffusion (SFFD)	0.97110	0.05391	1.77493	0.05391	0.96962	0.01348	0.93925	0.08776	-0.10545	0.96962	0.01348	0.00770	0.01506	2.43109
Weibull	0.99655	0.00640	1.77493	0.00640	0.99640	0.00128	0.99459	0.03023	-0.05843	0.99640	0.00128	0.00091	0.00835	0.78430
Aghbashlo vd.	0.99953	0.00086	1.77493	0.00086	0.99952	0.00017	0.99927	0.01107	0.00002	0.99952	0.00017	0.00012	0.00000	0.24492
Parabolic	0.99655	0.00613	1.77493	0.00613	0.99655	0.00153	0.99309	0.02959	-0.00871	0.99655	0.00153	0.00088	0.00124	0.83209
Balbay ve Şahin	0.99971	0.00049	1.77493	0.00049	0.99973	0.00016	0.99918	0.00835	0.00000	0.99973	0.00016	0.00007	0.00000	0.20105
Alibas (Modifiye Midilli-Kucuk)	0.99974	0.00045	1.77493	0.00045	0.99975	0.00022	0.99848	0.00801	-0.00027	0.99975	0.00022	0.00006	0.00004	0.18941



**Şekil 25.** Kivi 700W boyutsuz kütle oranı (MR) – zaman grafiği

Tablo 13’de 700W kivi kurutma değerlendirme kriteri sonucu en iyi model Alibaş (Modifiye Midilli-Kucuk) modeli olup 700W mikrodalga güç için model formülize edildiğinde;

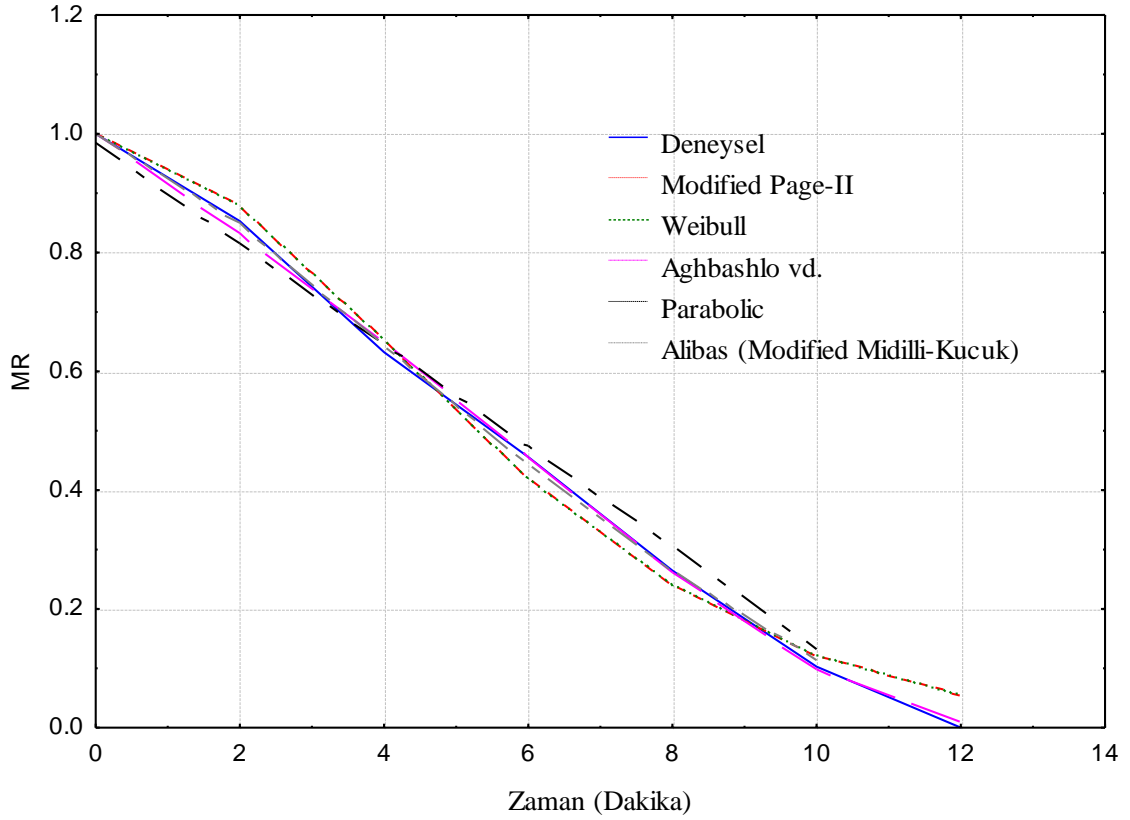
$$MR = 4.76926 \exp\left(-0.35410t^{1.178834}\right) + 0.108842t - 3.76936 \quad (58)$$

Denklem (58) elde edilmektedir. Şekil 25’de ise kivi için 700W mikrodalga güçte boyutsuz kütle oranı (MR)-zaman grafiği verilmiştir.



**Tablo 14.** 800W Kivi kurutma değerlendirme kriteri

Model Name	r	RSS	SST	SSE	R <sup>2</sup>	$\chi^2$	$\bar{R}^2$	RMSE	residuals	EF	SEE	RSSE	MBE	P
Newton Lewis	0.97584	0.05133	2.20107	0.05133	0.97668	0.00733	0.97279	0.08010	0.05372	0.97668	0.00733	0.00642	0.00671	2.04046
Page	0.97584	0.05133	2.20107	0.05133	0.97668	0.00855	0.96735	0.08010	0.05372	0.97668	0.00855	0.00642	0.00671	2.04046
Modifiye Page	0.99695	0.00237	2.20107	0.00237	0.99892	0.00040	0.99849	0.01722	-0.02347	0.99892	0.00040	0.00030	0.00293	0.53671
Modifiye Page-I	-	2.03616	2.20107	2.03616	0.07492	0.33936	-0.29511	0.50450	-4.08065	0.07492	0.33936	0.25452	0.51008	13.01440
Modifiye Page-II	0.99695	0.00237	2.20107	0.00237	0.99892	0.00047	0.99811	0.01722	-0.02347	0.99892	0.00047	0.00030	0.00293	0.53671
Henderson ve Pabis	0.97021	0.03815	2.20107	0.03815	0.98267	0.00636	0.97573	0.06906	-0.10933	0.98267	0.00636	0.00477	0.01367	1.96123
Logarithmic	0.99606	0.00742	2.20107	0.00742	0.99663	0.00148	0.99410	0.03047	0.00000	0.99663	0.00148	0.00093	0.00000	0.59127
Midilli-Kucuk	0.99860	0.00240	2.20107	0.00240	0.99891	0.00060	0.99746	0.01730	-0.00007	0.99891	0.00060	0.00030	0.00001	0.41712
Demir vd.	0.99606	0.00743	2.20107	0.00743	0.99663	0.00186	0.99213	0.03047	0.00000	0.99663	0.00186	0.00093	0.00000	0.59126
Two-Term	0.97021	0.03815	2.20107	0.03815	0.98267	0.00954	0.95955	0.06906	-0.10933	0.98267	0.00954	0.00477	0.01367	1.96123
Two-Term Exponential	0.99466	0.00254	2.20107	0.00254	0.99885	0.00042	0.99839	0.01781	-0.05816	0.99885	0.00042	0.00032	0.00727	0.66820
Verma vd.	0.99549	0.00211	2.20107	0.00211	0.99904	0.00042	0.99832	0.01623	-0.05096	0.99904	0.00042	0.00026	0.00637	0.60283
Approximation of Diffusion	0.99549	0.00211	2.20107	0.00211	0.99904	0.00042	0.99833	0.01623	-0.05104	0.99904	0.00042	0.00026	0.00638	0.60275
Modifiye Henderson ve Pabis	0.97021	0.03815	2.20107	0.03815	0.98267	0.01908	0.87866	0.06906	-0.10933	0.98267	0.01908	0.00477	0.01367	1.96123
Thompson														
Wang ve Singh	0.99560	0.00983	2.20107	0.00983	0.99554	0.00164	0.99375	0.03505	0.06167	0.99554	0.00164	0.00123	0.00771	0.60475
Hii vd.	0.99694	0.00234	2.20107	0.00234	0.99894	0.00078	0.99629	0.01709	-0.02608	0.99894	0.00078	0.00029	0.00326	0.53941
Simplified Fick's diffusion (SFFD)	0.97021	0.03815	2.20107	0.03815	0.98267	0.00763	0.96967	0.06906	-0.10933	0.98267	0.00763	0.00477	0.01367	1.96123
Weibull	0.99695	0.00237	2.20107	0.00237	0.99892	0.00040	0.99849	0.01722	-0.02347	0.99892	0.00040	0.00030	0.00293	0.53671
Aghbashlo vd.	0.99650	0.00712	2.20107	0.00712	0.99676	0.00119	0.99547	0.02984	0.03776	0.99676	0.00119	0.00089	0.00472	0.55859
Parabolic	0.99616	0.00729	2.20107	0.00729	0.99669	0.00146	0.99421	0.03018	0.00000	0.99669	0.00146	0.00091	0.00000	0.57197
Balbay ve Şahin	0.99861	0.00237	2.20107	0.00237	0.99892	0.00059	0.99748	0.01723	0.00000	0.99892	0.00059	0.00030	0.00000	0.41688
Alibas (Modifiye Midilli-Kucuk)	0.99854	0.00279	2.20107	0.00279	0.99873	0.00093	0.99557	0.01867	0.00006	0.99873	0.00093	0.00035	0.00001	0.35611



**Şekil 26.** Kivi 800W boyutsuz kütle oranı (MR) – zaman grafiği

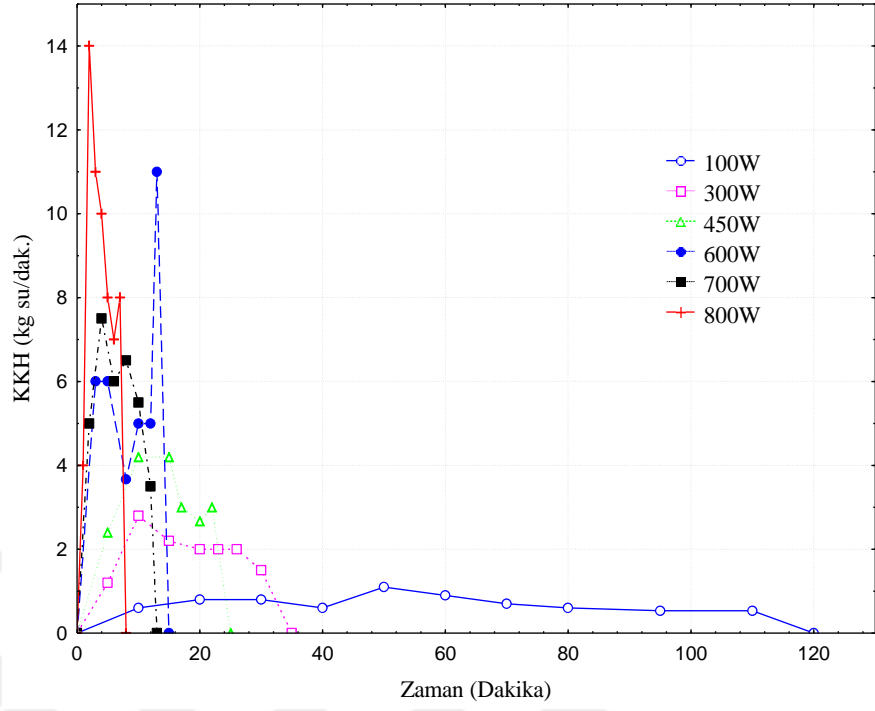
Tablo 14’de 800W kivi kurutma değerlendirme kriteri sonucu en iyi model Modifiye Page veya Weibull modelleri olup 800W mikrodalga güç için modeller formülize edildiğinde;

$$MR = \exp\left(- (0.25485t)^{1.77583}\right) \quad (59)$$

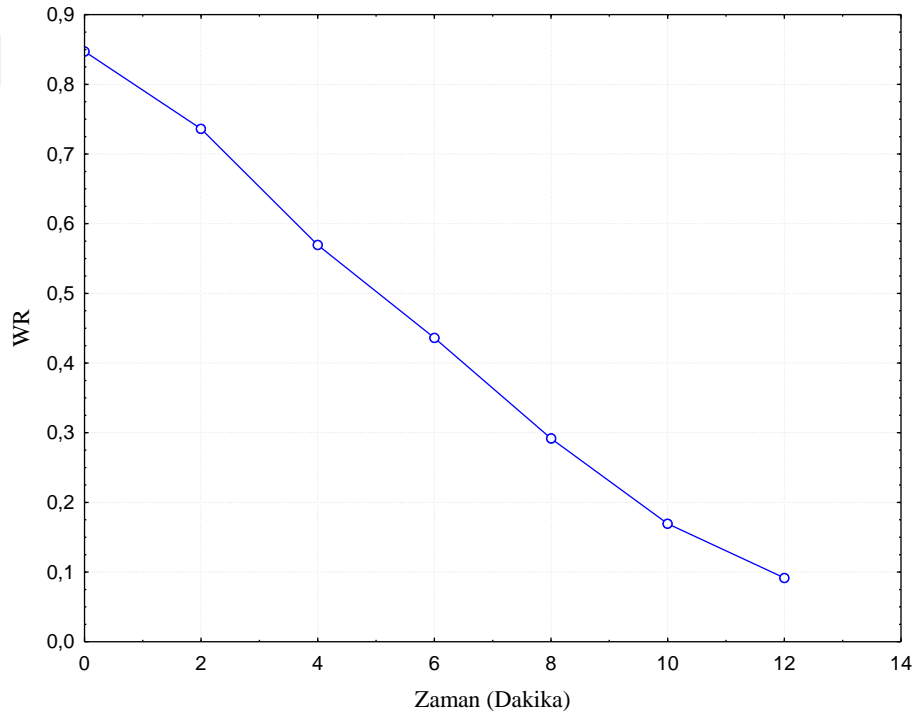
ve

$$MR = \exp\left(- \left(\frac{t}{3.923805}\right)^{1.775833}\right) \quad (60)$$

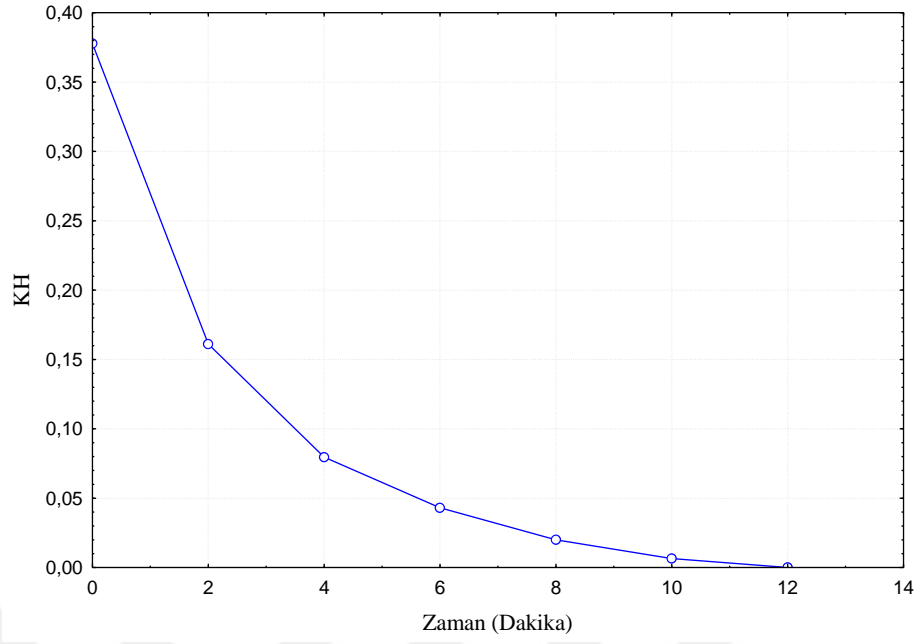
Denklem (59) ve (60) elde edilmektedir. Şekil 26’da ise kivi için 800W mikrodalga güçte boyutsuz kütle oranı (MR)-zaman grafiği verilmiştir.



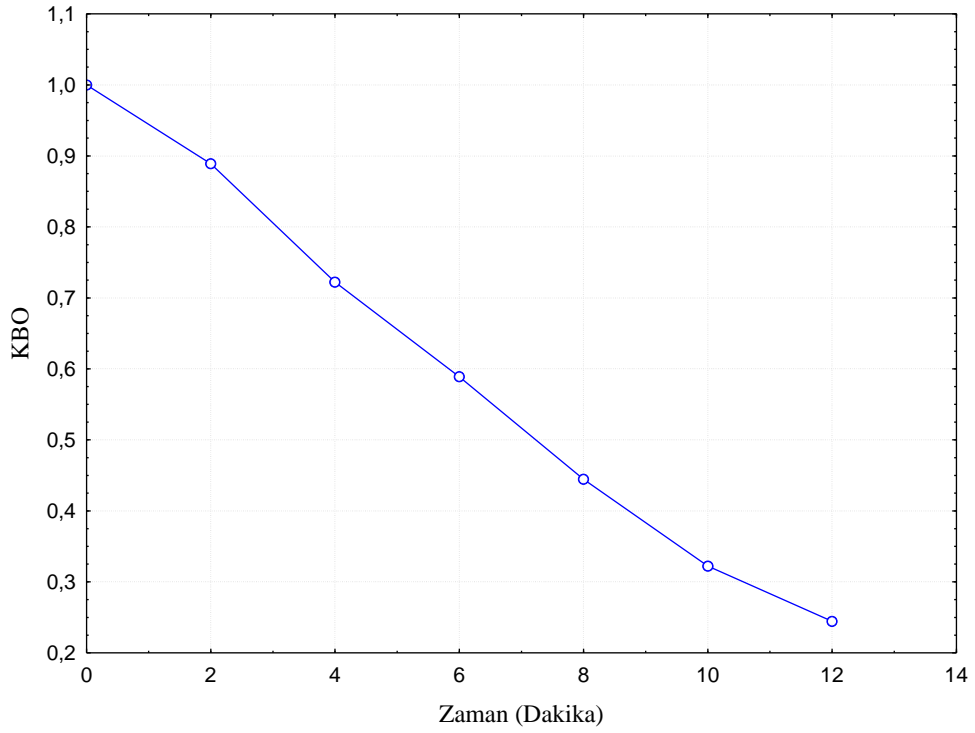
Şekil 27. Kivinin farklı güçlerde kütle kayıp hızı (KKH) – zaman grafiği



Şekil 28. Kivinin 700W mikrodalga güçte nem oranı (WR) – zaman grafiği



**Şekil 29.** Kivinin 700W mikrodalga güçte kuruma hızı (KH) – zaman grafiği



**Şekil 30.** Kivinin 700W mikrodalga güçte kütleli büzülme oranı (KBO) – zaman grafiği

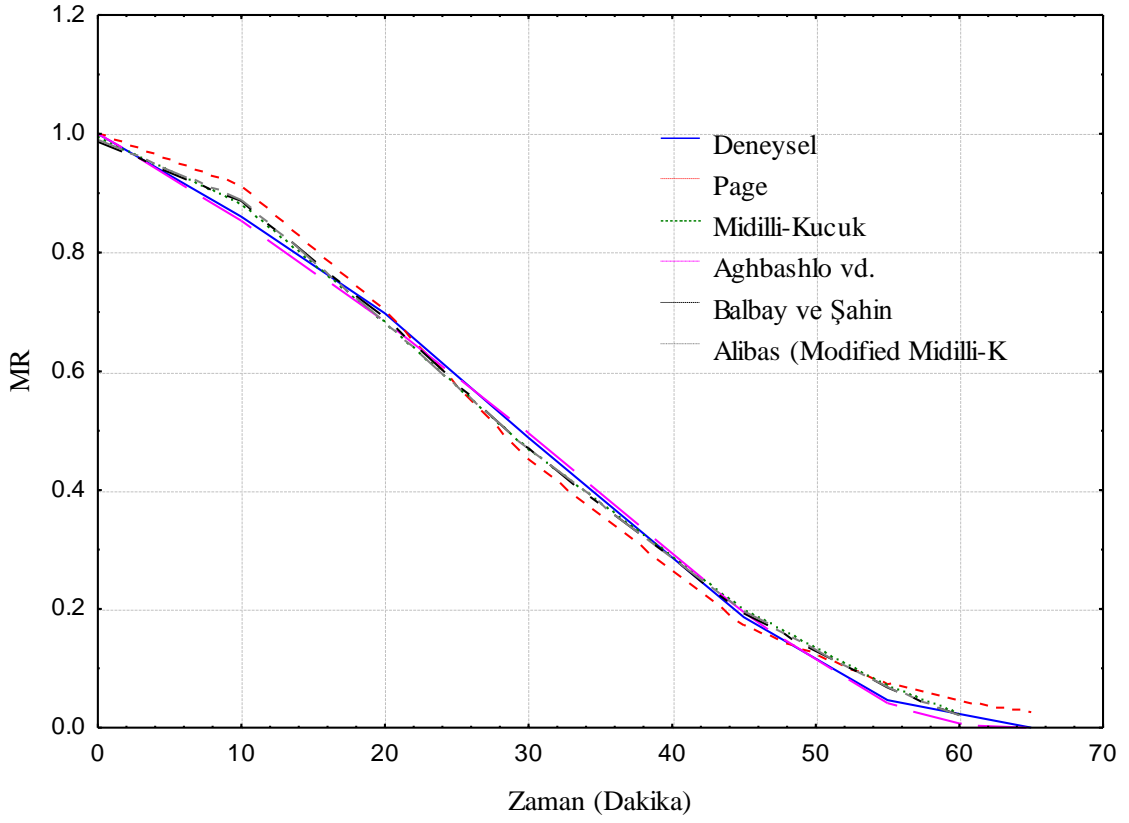
### 3.3. Nane Kurutma

Deneyler neticesinde nane kurutmada yapılan tüm çalışmalar, veriler ve matematiksel modelleme sonucu 100W, 300W, 450W, 600W, 700W ve 800W değerlendirme kriterleri tablolarında verilmiştir. Tablolar ışığında değerlendirme kriterleri ile en iyi 5 model için MR – Zaman grafikleri çizilmiş, en iyi kurutma modeli seçilerek model katsayılarıyla formülize edilmiştir.



**Tablo 15.** 100W Nane kurutma değerlendirme kriteri

Model Name	r	RSS	SST	SSE	R <sup>2</sup>	$\chi^2$	$\bar{R}^2$	RMSE	residuals	EF	SEE	RSSE	MBE	P
Newton Lewis	0.97019	0.10734	1.91634	0.10734	0.94399	0.01533	0.93465	0.11583	-0.02750	0.94399	0.01533	0.01342	0.00344	3.16599
Page	0.99773	0.00610	1.91634	0.00610	0.99682	0.00102	0.99554	0.02761	-0.08572	0.99682	0.00102	0.00076	0.01071	0.68215
Modifiye Page	0.99773	0.00610	1.91634	0.00610	0.99682	0.00102	0.99554	0.02761	-0.08578	0.99682	0.00102	0.00076	0.01072	0.68268
Modifiye Page-I	#SAYI/0!	3.89832	1.91634	3.89832	-1.03425	0.64972	-1.84796	0.69806	-4.69767	-1.03425	0.64972	0.48729	0.58721	17.78169
Modifiye Page-II	0.99770	0.00614	1.91634	0.00614	0.99680	0.00123	0.99439	0.02770	-0.08457	0.99680	0.00123	0.00077	0.01057	0.67808
Henderson ve Pabis	0.96452	0.09058	1.91634	0.09058	0.95273	0.01510	0.93383	0.10641	-0.18131	0.95273	0.01510	0.01132	0.02266	3.11010
Logarithmic	0.99521	0.01089	1.91634	0.01089	0.99432	0.00218	0.99006	0.03689	-0.00008	0.99432	0.00218	0.00136	0.00001	0.98375
Midilli-Kucuk	0.99906	0.00214	1.91634	0.00214	0.99888	0.00054	0.99739	0.01636	-0.00606	0.99888	0.00054	0.00027	0.00076	0.43577
Demir vd.	0.99521	0.01089	1.91634	0.01089	0.99432	0.00272	0.98674	0.03689	0.00000	0.99432	0.00272	0.00136	0.00000	0.98376
Two-Term	0.96451	0.09058	1.91634	0.09058	0.95273	0.02264	0.88971	0.10641	-0.18163	0.95273	0.02264	0.01132	0.02270	3.11004
Two-Term Exponential	0.97019	0.10734	1.91634	0.10734	0.94399	0.01789	0.92158	0.11583	-0.02749	0.94399	0.01789	0.01342	0.00344	3.16599
Verma vd.	0.99220	0.02125	1.91634	0.02125	0.98891	0.00425	0.98059	0.05154	-0.12632	0.98891	0.00425	0.00266	0.01579	1.34866
Approximation of Diffusion	0.99223	0.02123	1.91634	0.02123	0.98892	0.00425	0.98061	0.05152	-0.12734	0.98892	0.00425	0.00265	0.01592	1.34907
Modifiye Henderson ve Pabis	0.99240	0.02105	1.91634	0.02105	0.98902	0.01052	0.92313	0.05129	-0.11146	0.98902	0.01052	0.00263	0.01393	1.38776
Thompson														
Wang ve Singh	0.99387	0.02245	1.91634	0.02245	0.98828	0.00374	0.98360	0.05298	0.14091	0.98828	0.00374	0.00281	0.01761	1.24945
Hii vd.	0.98526	0.03705	1.91634	0.03705	0.98067	0.01235	0.93233	0.06805	-0.11006	0.98067	0.01235	0.00463	0.01376	1.85540
Simplified Fick's diffusion (SFFD)	0.58799	1.50297	1.91634	1.50297	0.21571	0.30059	-0.37252	0.43344	2.30233	0.21571	0.30059	0.18787	0.28779	8.71479
Weibull	0.99773	0.00610	1.91634	0.00610	0.99682	0.00102	0.99554	0.02761	-0.08578	0.99682	0.00102	0.00076	0.01072	0.68268
Aghbashlo vd.	0.99977	0.00060	1.91634	0.00060	0.99969	0.00010	0.99956	0.00868	0.02391	0.99969	0.00010	0.00008	0.00299	0.21227
Parabolic	0.90343	0.21858	1.91634	0.21858	0.88594	0.04372	0.80039	0.16530	-0.08024	0.88594	0.04372	0.02732	0.01003	4.41111
Balbay ve Şahin	0.99913	0.00198	1.91634	0.00198	0.99897	0.00049	0.99759	0.01572	-0.00129	0.99897	0.00049	0.00025	0.00016	0.41694
Alibas (Modifiye Midilli-Kucuk)	0.99898	0.00233	1.91634	0.00233	0.99879	0.00078	0.99575	0.01705	-0.00033	0.99879	0.00078	0.00029	0.00004	0.46513



**Şekil 31.** Nane 100W boyutsuz kütle oranı (MR) – zaman grafiği

Tablo 15’de 100W nane kurutma değerlendirme kriteri sonucu en iyi model Aghbashlo ve Ark. modeli olup 100W mikrodalga güç için model formülize edildiğinde;

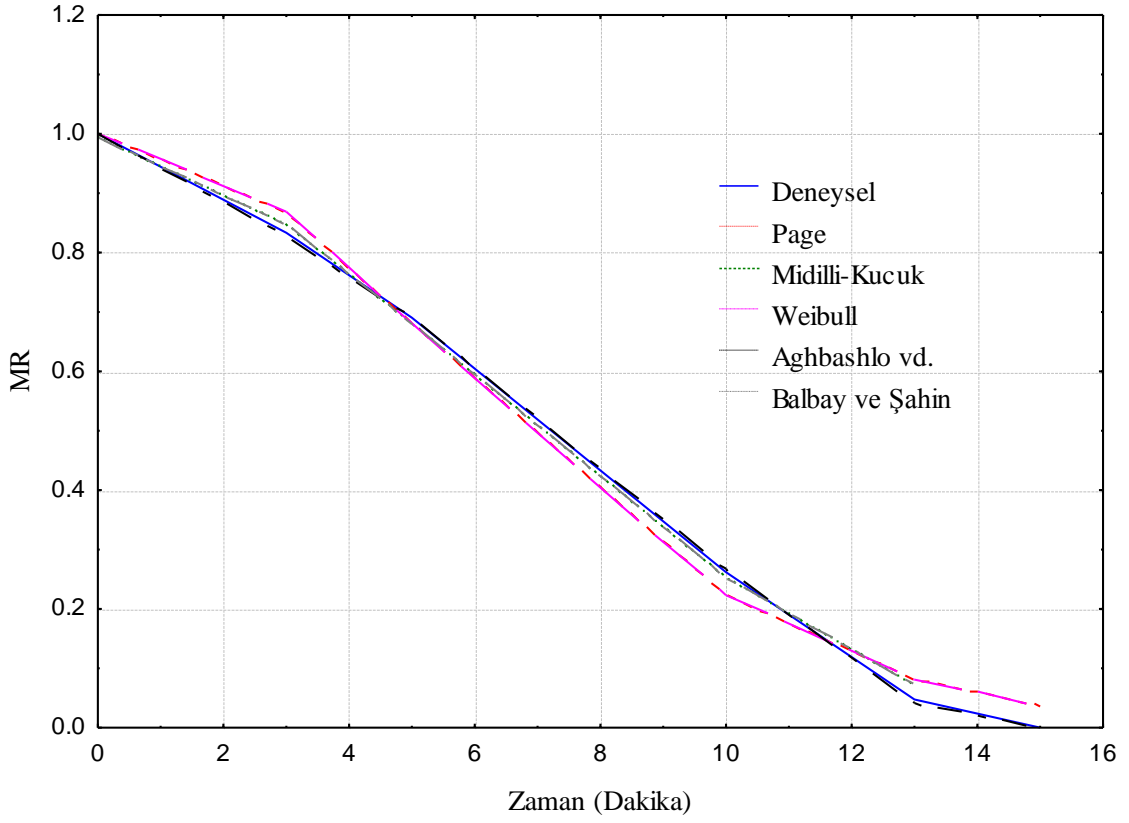
$$MR = \exp\left(-\frac{0.013633t}{1-0.013896t}\right) \quad (61)$$

Denklem (61) elde edilmektedir. Şekil 31’de ise nane için 100W mikrodalga güçte boyutsuz kütle oranı (MR)-zaman grafiği verilmiştir.

**Tablo 16.** 300W Nane kurutma değerlendirme kriteri

Model Name	r	RSS	SST	SSE	R <sup>2</sup>	$\chi^2$	$\bar{R}^2$	RMSE	residuals	EF	SEE	RSSE	MBE	P
Newton Lewis	0.96657	0.09163	1.55699	0.09163	0.94115	0.01833	0.92644	0.12358	0.00264	0.94115	0.01833	0.01527	0.00044	3.65751
Page	0.99742	0.00525	1.55699	0.00525	0.99663	0.00131	0.99438	0.02958	-0.05662	0.99663	0.00131	0.00088	0.00944	0.89917
Modifiye Page	0.99742	0.00525	1.55699	0.00525	0.99663	0.00131	0.99438	0.02958	-0.05662	0.99663	0.00131	0.00088	0.00944	0.89916
Modifiye Page-I	#SAYI!	2.57540	1.55699	2.57540	-0.65409	0.64385	-1.75681	0.65516	-3.16667	-0.65409	0.64385	0.42923	0.52778	18.62745
Modifiye Page-II	0.99742	0.00525	1.55699	0.00525	0.99663	0.00175	0.99157	0.02958	-0.05662	0.99663	0.00175	0.00088	0.00944	0.89916
Henderson ve Pabis	0.96090	0.07829	1.55699	0.07829	0.94972	0.01957	0.91620	0.11423	-0.13176	0.94972	0.01957	0.01305	0.02196	3.71535
Logarithmic	0.99550	0.00812	1.55699	0.00812	0.99479	0.00271	0.98697	0.03678	-0.00047	0.99479	0.00271	0.00135	0.00008	1.28328
Midilli-Kucuk	0.99935	0.00117	1.55699	0.00117	0.99925	0.00059	0.99624	0.01397	0.00007	0.99925	0.00059	0.00020	0.00001	0.45109
Demir vd.	0.99550	0.00812	1.55699	0.00812	0.99479	0.00406	0.97394	0.03678	0.00000	0.99479	0.00406	0.00135	0.00000	1.28201
Two-Term	0.96090	0.07829	1.55699	0.07829	0.94972	0.03914	0.74859	0.11423	-0.13176	0.94972	0.03914	0.01305	0.02196	3.71535
Two-Term Exponential	0.96648	0.09237	1.55699	0.09237	0.94067	0.02309	0.90112	0.12408	-0.00327	0.94067	0.02309	0.01539	0.00055	3.68183
Verma vd.	0.99348	0.01371	1.55699	0.01371	0.99119	0.00457	0.97799	0.04780	-0.07289	0.99119	0.00457	0.00229	0.01215	1.51694
Approximation of Diffusion	0.99518	0.00945	1.55699	0.00945	0.99393	0.00315	0.98482	0.03969	0.03383	0.99393	0.00315	0.00158	0.00564	1.27458
Modifiye Henderson ve Pabis	0.96090	0.07829	1.55699	0.07829	0.94972	#SAYI/0!	1.25141	0.11423	-0.13176	0.94972	#SAYI/0!	0.01305	0.02196	3.71535
Thompson														
Wang ve Singh	0.99528	0.01204	1.55699	0.01204	0.99227	0.00301	0.98711	0.04480	0.10520	0.99227	0.00301	0.00201	0.01753	1.30416
Hii vd.	0.99760	0.00487	1.55699	0.00487	0.99687	0.00487	#SAYI/0!	0.02850	-0.03526	0.99687	0.00487	0.00081	0.00588	0.92791
Simplified Fick's diffusion (SFFD)	0.96090	0.07829	1.55699	0.07829	0.94972	0.02610	0.87429	0.11423	-0.13176	0.94972	0.02610	0.01305	0.02196	3.71535
Weibull	0.99742	0.00525	1.55699	0.00525	0.99663	0.00131	0.99438	0.02958	-0.05662	0.99663	0.00131	0.00088	0.00944	0.89916
Aghbashlo vd.	0.99994	0.00012	1.55699	0.00012	0.99992	0.00003	0.99987	0.00442	0.00752	0.99992	0.00003	0.00002	0.00125	0.11803
Parabolic	0.99552	0.00807	1.55699	0.00807	0.99481	0.00269	0.98704	0.03668	0.00000	0.99481	0.00269	0.00135	0.00000	1.28167
Balbay ve Şahin	0.99934	0.00119	1.55699	0.00119	0.99923	0.00060	0.99617	0.01410	-0.00001	0.99923	0.00060	0.00020	0.00000	0.45649
Alibas (Modifiye Midilli-Kucuk)	0.99579	0.00759	1.55699	0.00759	0.99512	0.00759	#SAYI/0!	0.03557	-0.00039	0.99512	0.00759	0.00127	0.00007	1.03426





Şekil 32. Nane 300W boyutsuz kütle oranı (MR) – zaman grafiği

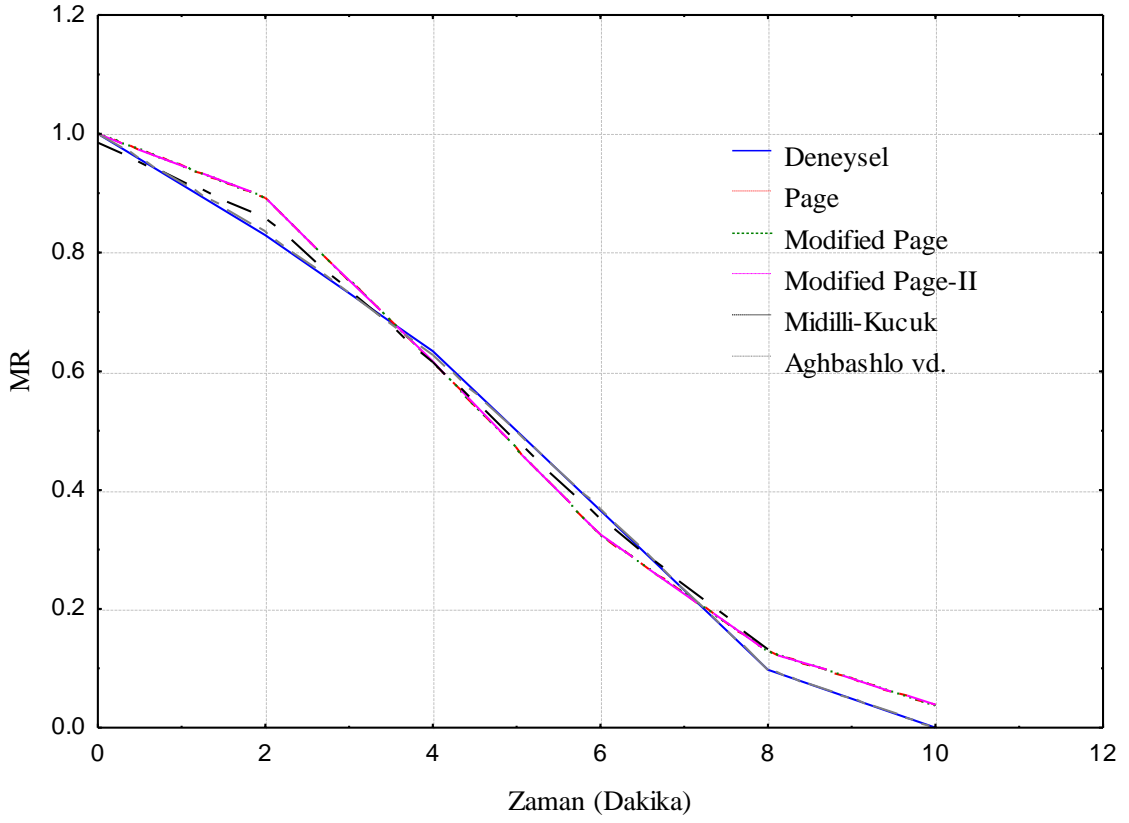
Tablo 16’da 300W nane kurutma değerlendirme kriteri sonucu en iyi model Aghbashlo ve vd. Modeli olup 300W mikrodalga güç için model formülize edildiğinde;

$$MR = \exp\left(-\frac{0.051884t}{1-0.060599t}\right) \quad (62)$$

Denklem (62) elde edilmektedir. Şekil 32’de ise nane için 300W mikrodalga güçte boyutsuz kütle oranı (MR)-zaman grafiği verilmiştir.

**Tablo 17.** 450W Nane kurutma değerlendirme kriteri

Model Name	r	RSS	SST	SSE	R2	$\chi^2$	$\bar{R}^2$	RMSE	residuals	EF	SEE	RSSE	MBE	P
Newton Lewis	0.96101	0.08647	1.55083	0.08647	0.94424	0.01729	0.93030	0.12005	0.00678	0.94424	0.01729	0.01441	0.00113	3.48037
Page	1.00000	0.00587	1.54422	0.00587	0.99620	0.00147	0.99367	0.03127	-0.03223	0.99620	0.00147	0.00098	0.00537	5.50524
Modifiye Page	1.00000	0.00587	1.54422	0.00587	0.99620	0.00147	0.99367	0.03127	-0.03223	0.99620	0.00147	0.00098	0.00537	5.50513
Modifiye Page-I	#DEĞER!	#SAYI/0!	1.54422	#SAYI/0!	#SAYI/0!	#SAYI/0!	#SAYI/0!	#SAYI/0!	#SAYI/0!	#DEĞER!	#SAYI/0!	#SAYI/0!	#SAYI/0!	#DEĞER!
Modifiye Page-II	1.00000	0.00587	1.54422	0.00587	0.99620	0.00196	0.99050	0.03127	-0.03223	0.99620	0.00196	0.00098	0.00537	5.50530
Henderson ve Pabis	0.95574	0.07658	1.55083	0.07658	0.95062	0.01914	0.91770	0.11297	-0.10879	0.95062	0.01914	0.01276	0.01813	3.59648
Logarithmic	0.99398	0.00967	1.55083	0.00967	0.99377	0.00322	0.98442	0.04014	-0.00020	0.99377	0.00322	0.00161	0.00003	1.21487
Midilli-Kucuk	0.99798	0.00326	1.55083	0.00326	0.99790	0.00163	0.98950	0.02330	0.00052	0.99790	0.00163	0.00054	0.00009	0.74969
Demir vd.	0.99398	0.00967	1.55083	0.00967	0.99377	0.00483	0.96884	0.04014	-0.00005	0.99377	0.00483	0.00161	0.00001	1.21475
Two-Term	0.95574	0.07658	1.55083	0.07658	0.95062	0.03829	0.75311	0.11297	-0.10879	0.95062	0.03829	0.01276	0.01813	3.59648
Two-Term Exponential	0.98595	0.02596	1.55083	0.02596	0.98326	0.00649	0.97210	0.06578	-0.08714	0.98326	0.00649	0.00433	0.01452	1.98974
Verma vd.	0.98793	0.02204	1.55083	0.02204	0.98579	0.00735	0.96447	0.06061	-0.08428	0.98579	0.00735	0.00367	0.01405	1.85576
Approximation of Diffusion	0.98794	0.02204	1.55083	0.02204	0.98579	0.00735	0.96447	0.06060	-0.08433	0.98579	0.00735	0.00367	0.01405	1.85564
Modifiye Henderson ve Pabis Thompson	0.95574	0.07658	1.55083	0.07658	0.95062	#SAYI/0!	1.24689	0.11297	-0.10879	0.95062	#SAYI/0!	0.01276	0.01813	3.59648
Wang ve Singh	0.99381	0.01044	1.55083	0.01044	0.99327	0.00261	0.98879	0.04170	0.03075	0.99327	0.00261	0.00174	0.00513	1.18927
Hii vd.	0.99594	0.00706	1.55083	0.00706	0.99545	0.00706	#SAYI/0!	0.03429	-0.03328	0.99545	0.00706	0.00118	0.00555	1.07820
Simplified Fick's diffusion (SFFD)	0.95574	0.07658	1.55083	0.07658	0.95062	0.02553	0.87656	0.11297	-0.10879	0.95062	0.02553	0.01276	0.01813	3.59648
Weibull	0.99537	0.00842	1.55083	0.00842	0.99457	0.00210	0.99096	0.03745	-0.07643	0.99457	0.00210	0.00140	0.01274	1.08974
Aghbashlo vd.	0.99994	0.00009	1.55083	0.00009	0.99994	0.00002	0.99990	0.00397	-0.00253	0.99994	0.00002	0.00002	0.00042	0.09337
Parabolic	0.99399	0.00966	1.55083	0.00966	0.99377	0.00322	0.98443	0.04012	0.00000	0.99377	0.00322	0.00161	0.00000	1.21429
Balbay ve Şahin	0.99787	0.00342	1.55083	0.00342	0.99779	0.00171	0.98897	0.02388	0.00000	0.99779	0.00171	0.00057	0.00000	0.76571
Alibas (Modifiye Midilli-Kucuk)	0.99452	0.00880	1.55083	0.00880	0.99432	0.00880	#SAYI/0!	0.03831	0.00000	0.99432	0.00880	0.00147	0.00000	1.00000



**Şekil 33.** Nane 450W boyutsuz kütle oranı (MR) – zaman grafiği

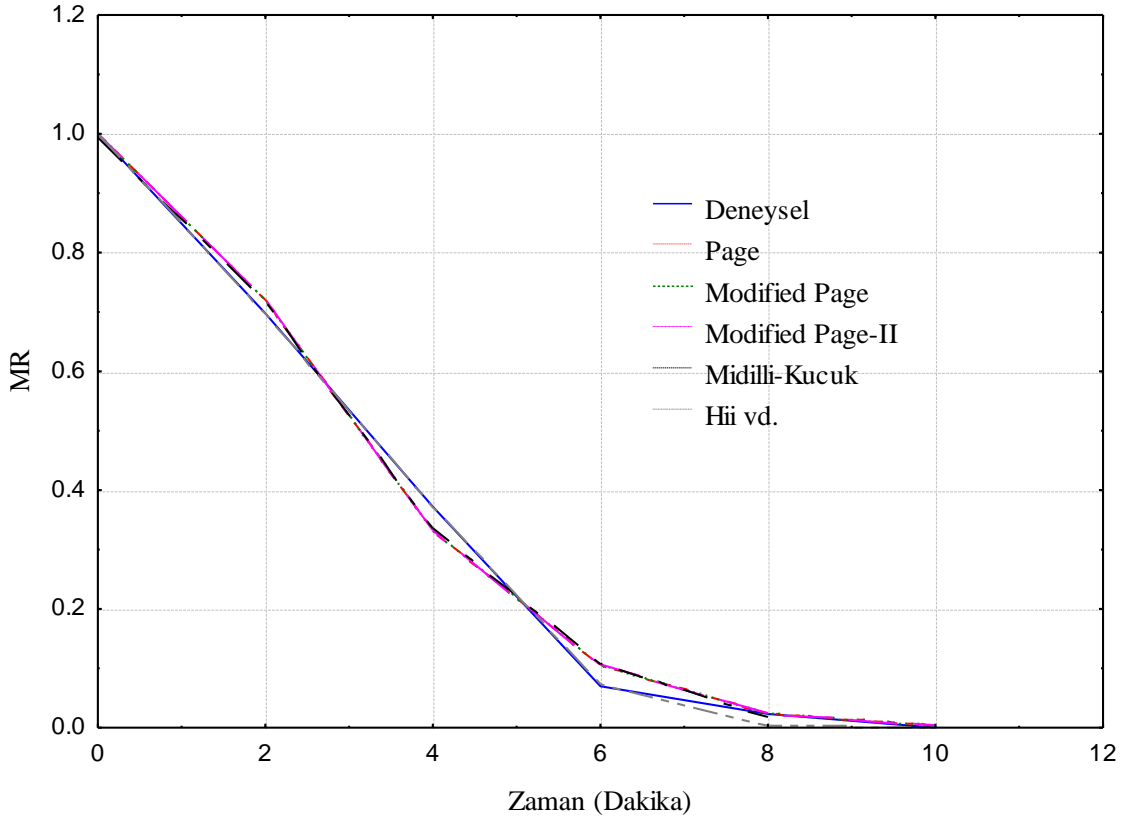
Tablo 17’de 450W nane kurutma değerlendirme kriteri sonucu en iyi model Aghbashlo ve vd. Modeli olup 450W mikrodalga güç için model formülize edildiğinde;

$$MR = \exp\left(-\frac{0.072717t}{1-0.093828t}\right) \quad (63)$$

Denklem (63) elde edilmektedir. Şekil 33’de ise nane için 450W mikrodalga güçte boyutsuz kütle oranı (MR)-zaman grafiği verilmiştir.

**Tablo 18.** 600W Nane kurutma değerlendirme kriteri

Model Name	r	RSS	SST	SSE	R <sup>2</sup>	$\chi^2$	$\bar{R}^2$	RMSE	residuals	EF	SEE	RSSE	MBE	P
Newton Lewis	0.98180	0.04213	1.13237	0.04213	0.96280	0.00843	0.95349	0.08379	-0.06166	0.96280	0.00843	0.00702	0.01028	3.33186
Page	0.99802	0.00348	1.13237	0.00348	0.99693	0.00087	0.99488	0.02408	-0.02607	0.99693	0.00087	0.00058	0.00434	0.81058
Modifiye Page	0.99802	0.00348	1.13237	0.00348	0.99693	0.00087	0.99488	0.02408	-0.02607	0.99693	0.00087	0.00058	0.00434	0.81058
Modifiye Page-I	#SAYI/0!	#SAYI/0!	1.13237	#SAYI/0!	#SAYI/0!	#SAYI/0!	#SAYI/0!	#SAYI/0!	2.16279	#SAYI/0!	#SAYI/0!	#SAYI/0!	0.36047	16.66667
Modifiye Page-II	0.99802	0.00348	1.13237	0.00348	0.99693	0.00116	0.99232	0.02408	-0.02607	0.99693	0.00116	0.00058	0.00434	0.81058
Henderson ve Pabis	0.98001	0.03897	1.13237	0.03897	0.96558	0.00974	0.94264	0.08060	-0.12011	0.96558	0.00974	0.00650	0.02002	3.51523
Logarithmic	0.98936	0.01802	1.13237	0.01802	0.98409	0.00601	0.96022	0.05480	0.00000	0.98409	0.00601	0.00300	0.00000	2.14909
Midilli-Kucuk	0.99811	0.00322	1.13237	0.00322	0.99716	0.00161	0.98578	0.02317	-0.00204	0.99716	0.00161	0.00054	0.00034	0.86727
Demir vd.	0.98936	0.01802	1.13237	0.01802	0.98409	0.00901	0.92044	0.05480	0.00000	0.98409	0.00901	0.00300	0.00000	2.14909
Two-Term	0.98001	0.03897	1.13237	0.03897	0.96558	0.01949	0.82791	0.08060	-0.12011	0.96558	0.01949	0.00650	0.02002	3.51526
Two-Term Exponential	0.98151	0.04259	1.13237	0.04259	0.96239	0.01065	0.93731	0.08425	-0.05978	0.96239	0.01065	0.00710	0.00996	3.34807
Verma vd.	0.99662	0.00642	1.13237	0.00642	0.99433	0.00214	0.98584	0.03270	-0.04686	0.99433	0.00214	0.00107	0.00781	1.19752
Approximation of Diffusion	0.99662	0.00642	1.13237	0.00642	0.99433	0.00214	0.98584	0.03270	-0.04680	0.99433	0.00214	0.00107	0.00780	1.19727
Modifiye Henderson ve Pabis	0.99663	0.00642	1.13237	0.00642	0.99433	#SAYI/0!	1.02837	0.03272	-0.04566	0.99433	#SAYI/0!	0.00107	0.00761	1.20946
Thompson														
Wang ve Singh	0.99442	0.01062	1.13237	0.01062	0.99063	0.00265	0.98438	0.04206	0.04044	0.99063	0.00265	0.00177	0.00674	1.42479
Hii vd.	0.99981	0.00040	1.13237	0.00040	0.99964	0.00040	#SAYI/0!	0.00820	0.01652	0.99964	0.00040	0.00007	0.00275	0.19439
Simplified Fick's diffusion (SFFD)	0.98001	0.03897	1.13237	0.03897	0.96558	0.01299	0.91395	0.08060	-0.12011	0.96558	0.01299	0.00650	0.02002	3.51523
Weibull	0.99802	0.00348	1.13237	0.00348	0.99693	0.00087	0.99488	0.02408	-0.02607	0.99693	0.00087	0.00058	0.00434	0.81058
Aghbashlo vd.	#SAYI/0!	#SAYI/0!	1.13237	#SAYI/0!	#SAYI/0!	#SAYI/0!	#SAYI/0!	#SAYI/0!	2.16279	#SAYI/0!	#SAYI/0!	#SAYI/0!	0.36047	16.66667
Parabolic	0.99454	0.00927	1.13237	0.00927	0.99181	0.00309	0.97953	0.03931	0.00000	0.99181	0.00309	0.00155	0.00000	1.53610
Balbay ve Şahin	0.99814	0.00316	1.13237	0.00316	0.99720	0.00158	0.98602	0.02297	0.00000	0.99720	0.00158	0.00053	0.00000	0.87086
Alibas (Modifiye Midilli-Kucuk)	0.98144	0.03130	1.13237	0.03130	0.97236	0.03130	#SAYI/0!	0.07222	-0.00094	0.97236	0.03130	0.00522	0.00016	2.74641



**Şekil 34.** Nane 600W boyutsuz kütle oranı (MR) – zaman grafiği

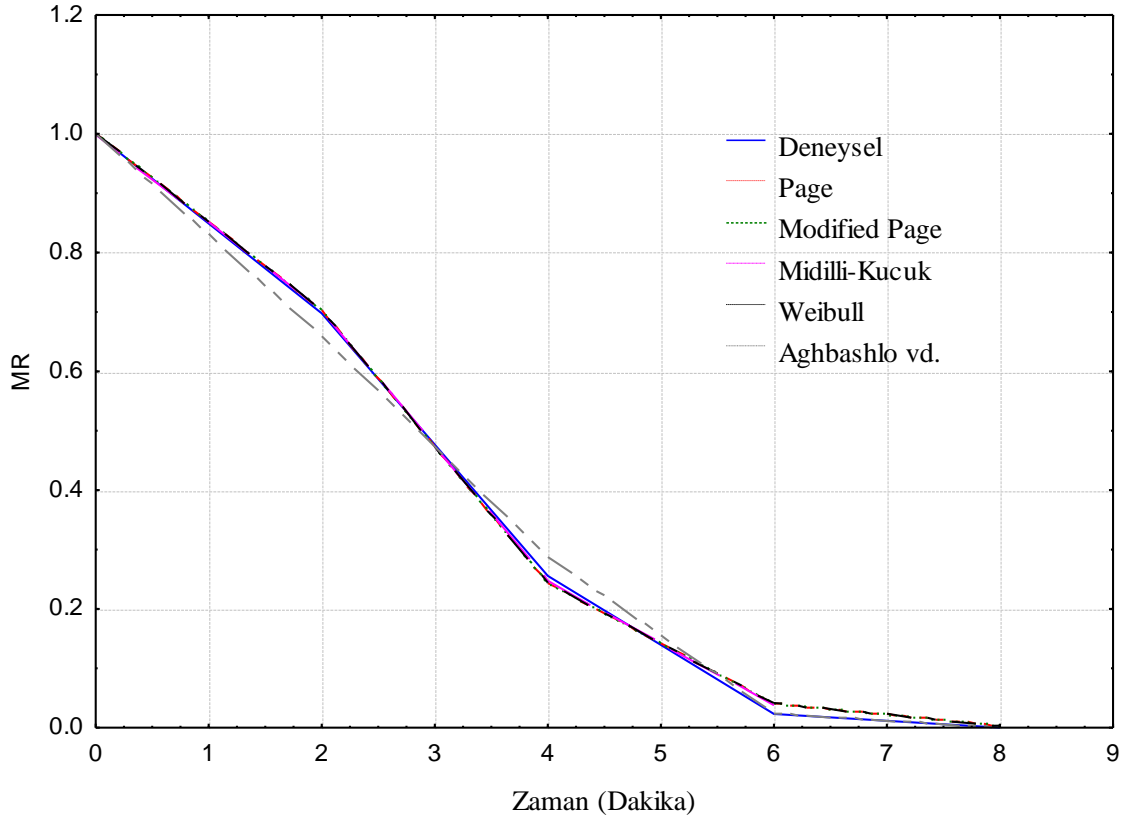
Tablo 18’de 600W nane kurutma değerlendirme kriteri sonucu en iyi model Hii ve vd. Modeli olup 600W mikrodalga güç için model formülize edildiğinde;

$$MR = 0.7714 \exp\left(-0.0136 t^{2.8727}\right) + 0.2285 \exp\left(-6.6419 t^{2.8727}\right) \quad (64)$$

Denklem (64) elde edilmektedir. Şekil 34’de ise nane için 600W mikrodalga güçte boyutsuz kütle oranı (MR)-zaman grafiği verilmiştir.

**Tablo 19.** 700W Nane kurutma değerlendirme kriteri

Model Name	r	RSS	SST	SSE	R <sup>2</sup>	$\chi^2$	$\bar{R}^2$	RMSE	residuals	EF	SEE	RSSE	MBE	P
Newton Lewis	0.97470	0.05072	0.99375	0.05072	0.94897	0.01268	0.93195	0.10071	-0.05134	0.94897	0.01268	0.01014	0.01027	3.97392
Page	0.99971	0.00052	0.99375	0.00052	0.99947	0.00017	0.99895	0.01023	-0.01633	0.99947	0.00017	0.00010	0.00327	0.40058
Modifiye Page	0.99971	0.00052	0.99375	0.00052	0.99947	0.00017	0.99895	0.01023	-0.01633	0.99947	0.00017	0.00010	0.00327	0.40058
Modifiye Page-I	#SAYI/0!	2.59924	0.99375	2.59924	-1.61560	0.86641	-4.23119	0.72101	-3.02326	-1.61560	0.86641	0.51985	0.60465	30.58824
Modifiye Page-II	0.99971	0.00052	0.99375	0.00052	0.99947	0.00026	0.99789	0.01023	-0.01633	0.99947	0.00026	0.00010	0.00327	0.40058
Henderson ve Pabis	0.97264	0.04752	0.99375	0.04752	0.95218	0.01584	0.90436	0.09749	-0.11134	0.95218	0.01584	0.00950	0.02227	4.29770
Logarithmic	0.98697	0.01996	0.99375	0.01996	0.97991	0.00998	0.91965	0.06319	0.00000	0.97991	0.00998	0.00399	0.00000	3.01515
Midilli-Kucuk	0.99977	0.00036	0.99375	0.00036	0.99964	0.00036	#SAYI/0!	0.00851	-0.00109	0.99964	0.00036	0.00007	0.00022	0.36837
Demir vd.	0.98697	0.01996	0.99375	0.01996	0.97991	0.01996	#SAYI/0!	0.06319	0.00000	0.97991	0.01996	0.00399	0.00000	3.01515
Two-Term	0.97264	0.04752	0.99375	0.04752	0.95218	0.04752	#SAYI/0!	0.09749	-0.11134	0.95218	0.04752	0.00950	0.02227	4.29770
Two-Term Exponential	0.97446	0.05115	0.99375	0.05115	0.94853	0.01705	0.89706	0.10114	-0.05183	0.94853	0.01705	0.01023	0.01037	3.99278
Verma vd.	0.98749	0.02014	0.99375	0.02014	0.97973	0.01007	0.91893	0.06347	0.03677	0.97973	0.01007	0.00403	0.00735	2.74790
Approximation of Diffusion	0.98748	0.02014	0.99375	0.02014	0.97974	0.01007	0.91894	0.06346	0.03675	0.97974	0.01007	0.00403	0.00735	2.74957
Modifiye Henderson ve Pabis	0.97264	0.04752	0.99375	0.04752	0.95218	-0.04752	1.09564	0.09749	-0.11134	0.95218	-0.04752	0.00950	0.02227	4.29770
Thompson														
Wang ve Singh	0.99075	0.01570	0.99375	0.01570	0.98420	0.00523	0.96840	0.05604	0.04501	0.98420	0.00523	0.00314	0.00900	2.27704
Hii vd.	0.99972	0.00052	0.99375	0.00052	0.99948	#SAYI/0!	1.00209	0.01018	-0.01401	0.99948	#SAYI/0!	0.00010	0.00280	0.41894
Simplified Fick's diffusion (SFFD)	0.97264	0.04752	0.99375	0.04752	0.95218	0.02376	0.80873	0.09749	-0.11134	0.95218	0.02376	0.00950	0.02227	4.29770
Weibull	0.99971	0.00052	0.99375	0.00052	0.99947	0.00017	0.99895	0.01023	-0.01633	0.99947	0.00017	0.00010	0.00327	0.40058
Aghbashlo vd.	0.99855	0.00251	0.99375	0.00251	0.99748	0.00084	0.99495	0.02240	0.00607	0.99748	0.00084	0.00050	0.00121	0.72738
Parabolic	0.99094	0.01391	0.99375	0.01391	0.98601	0.00695	0.94402	0.05274	0.00000	0.98601	0.00695	0.00278	0.00000	2.42017
Balbay ve Şahin	0.99978	0.00034	0.99375	0.00034	0.99966	0.00034	#SAYI/0!	0.00819	0.00000	0.99966	0.00034	0.00007	0.00000	0.35603
Alibas (Modifiye Midilli-Kucuk)	1.00000	0.00000	0.99375	0.00000	1.00000	#SAYI/0!	1.00000	0.00000	0.00000	1.00000	#SAYI/0!	0.00000	0.00000	0.00000



**Şekil 35.** Nane 700W boyutsuz kütle oranı (MR) – zaman grafiği

Tablo 19’de 700W nane kurutma değerlendirme kriteri sonucu en iyi model Midilli – Küçük modeli olup 700W mikrodalga güç için model formülize edildiğinde;

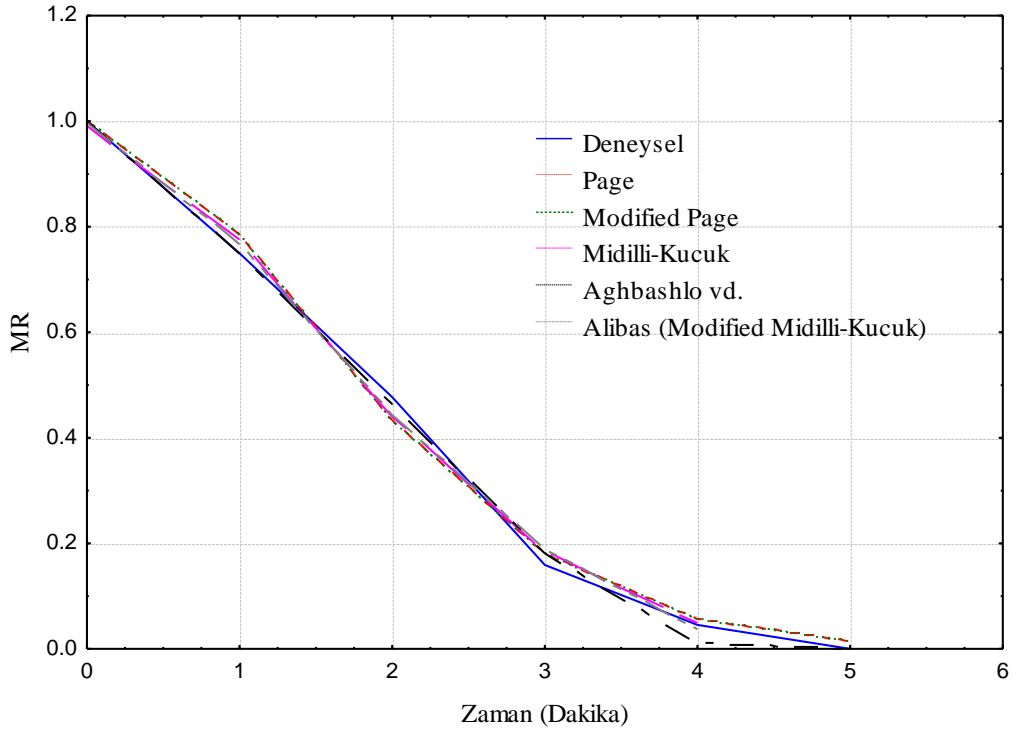
$$MR = 0.998522 \exp\left(-0.088416 t^{1.977331}\right) - 0.001532 t \quad (65)$$

Denklem (65) elde edilmektedir. Şekil 35’de ise nane için 700W mikrodalga güçte boyutsuz kütle oranı (MR)-zaman grafiği verilmiştir.

**Tablo 20.** 800W Nane kurutma değerlendirme kriteri

Model Name	r	RSS	SST	SSE	R <sup>2</sup>	$\chi^2$	$\bar{R}^2$	RMSE	residuals	EF	SEE	RSSE	MBE	P
Newton Lewis	0.97838	0.05064	1.26227	0.05064	0.95988	0.01013	0.94985	0.09187	-0.04108	0.95988	0.01013	0.00844	0.00685	3.39219
Page	0.99787	0.00379	1.26227	0.00379	0.99700	0.00095	0.99500	0.02512	-0.03742	0.99700	0.00095	0.00063	0.00624	0.84496
Modifiye Page	0.99787	0.00379	1.26227	0.00379	0.99700	0.00095	0.99500	0.02512	-0.03742	0.99700	0.00095	0.00063	0.00624	0.84496
Modifiye Page-I	#SAYI/0!	2.95403	1.26227	2.95403	-1.34026	0.73851	-2.90043	0.70167	-3.56818	-1.34026	0.73851	0.49234	0.59470	24.45483
Modifiye Page-II	0.99787	0.00379	1.26227	0.00379	0.99700	0.00126	0.99250	0.02512	-0.03742	0.99700	0.00126	0.00063	0.00624	0.84496
Henderson ve Pabis	0.97567	0.04578	1.26227	0.04578	0.96373	0.01145	0.93955	0.08735	-0.11623	0.96373	0.01145	0.00763	0.01937	3.54081
Logarithmic	0.99145	0.01416	1.26227	0.01416	0.98878	0.00472	0.97195	0.04859	0.00000	0.98878	0.00472	0.00236	0.00000	1.89023
Midilli-Kucuk	0.99823	0.00294	1.26227	0.00294	0.99767	0.00147	0.98836	0.02213	-0.00074	0.99767	0.00147	0.00049	0.00012	0.76202
Demir vd.	0.99145	0.01416	1.26227	0.01416	0.98878	0.00708	0.94390	0.04859	0.00000	0.98878	0.00708	0.00236	0.00000	1.89023
Two-Term	0.97567	0.04578	1.26227	0.04578	0.96373	0.02289	0.81864	0.08735	-0.11623	0.96373	0.02289	0.00763	0.01937	3.54081
Two-Term Exponential	0.99474	0.01031	1.26227	0.01031	0.99183	0.00258	0.98639	0.04146	-0.06496	0.99183	0.00258	0.00172	0.01083	1.44887
Verma vd.	0.99170	0.01458	1.26227	0.01458	0.98845	0.00486	0.97112	0.04929	0.03619	0.98845	0.00486	0.00243	0.00603	1.76408
Approximation of Diffusion	0.99564	0.00837	1.26227	0.00837	0.99337	0.00279	0.98343	0.03734	-0.05827	0.99337	0.00279	0.00139	0.00971	1.31192
Modifiye Henderson ve Pabis	0.97567	0.04578	1.26227	0.04578	0.96373	#SAYI/0!	1.18136	0.08735	-0.11623	0.96373	#SAYI/0!	0.00763	0.01937	3.54081
Thompson														
Wang ve Singh	0.99362	0.01173	1.26227	0.01173	0.99071	0.00293	0.98451	0.04421	0.04249	0.99071	0.00293	0.00195	0.00708	1.56944
Hii vd.	0.99794	0.00362	1.26227	0.00362	0.99714	0.00362	#SAYI/0!	0.02455	-0.02264	0.99714	0.00362	0.00060	0.00377	0.89133
Simplified Fick's diffusion (SFFD)	0.97567	0.04578	1.26227	0.04578	0.96373	0.01526	0.90932	0.08735	-0.11623	0.96373	0.01526	0.00763	0.01937	3.54081
Weibull	0.99787	0.00379	1.26227	0.00379	0.99700	0.00095	0.99500	0.02512	-0.03742	0.99700	0.00095	0.00063	0.00624	0.84496
Aghbashlo vd.	0.99904	0.00177	1.26227	0.00177	0.99860	0.00044	0.99766	0.01719	0.02611	0.99860	0.00044	0.00030	0.00435	0.47803
Parabolic	0.99382	0.01025	1.26227	0.01025	0.99188	0.00342	0.97971	0.04132	0.00000	0.99188	0.00342	0.00171	0.00000	1.61104
Balbay ve Şahin	0.99826	0.00289	1.26227	0.00289	0.99771	0.00144	0.98856	0.02194	0.00000	0.99771	0.00144	0.00048	0.00000	0.75017
Alibas (Modifiye Midilli-Kucuk)	0.99857	0.00237	1.26227	0.00237	0.99812	0.00237	#SAYI/0!	0.01989	-0.00015	0.99812	0.00237	0.00040	0.00002	0.62801



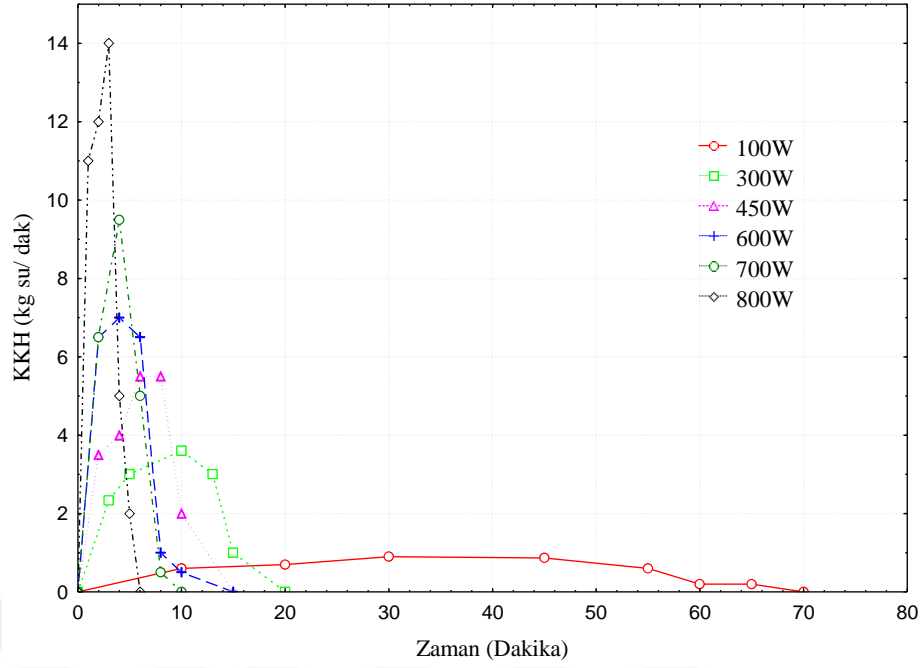


**Şekil 36.** Nane 800W boyutsuz kütle oranı (MR) – zaman grafiği

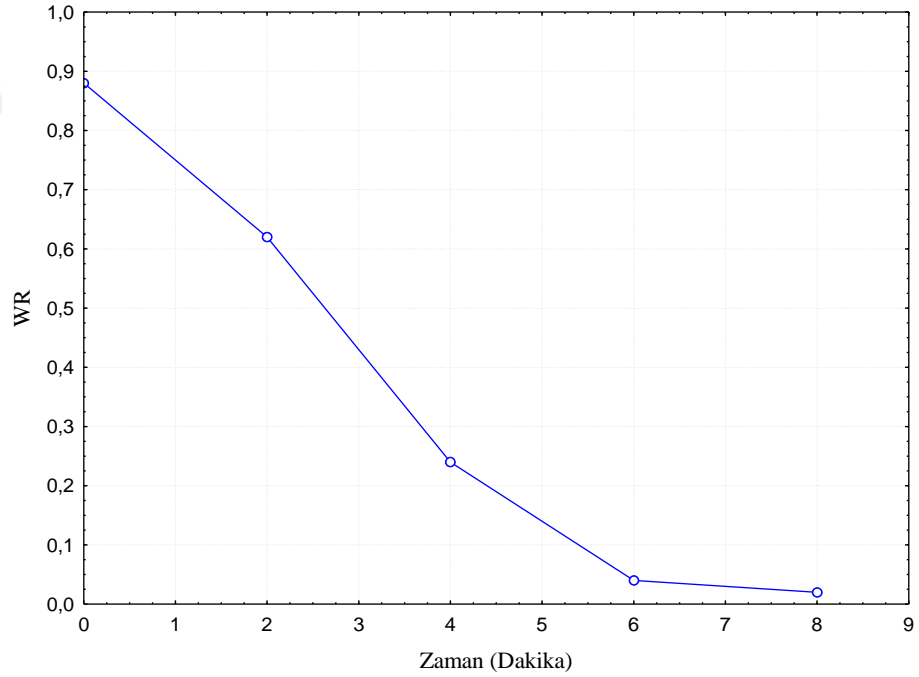
Tablo 18’de 800W nane kurutma değerlendirme kriteri sonucu en iyi model Aghbashlo ve Ark. modeli olup 800W mikrodalga güç için model formülize edildiğinde;

$$MR = \exp\left(-\frac{0.232215 t}{1 - 0.197517 t}\right) \quad (66)$$

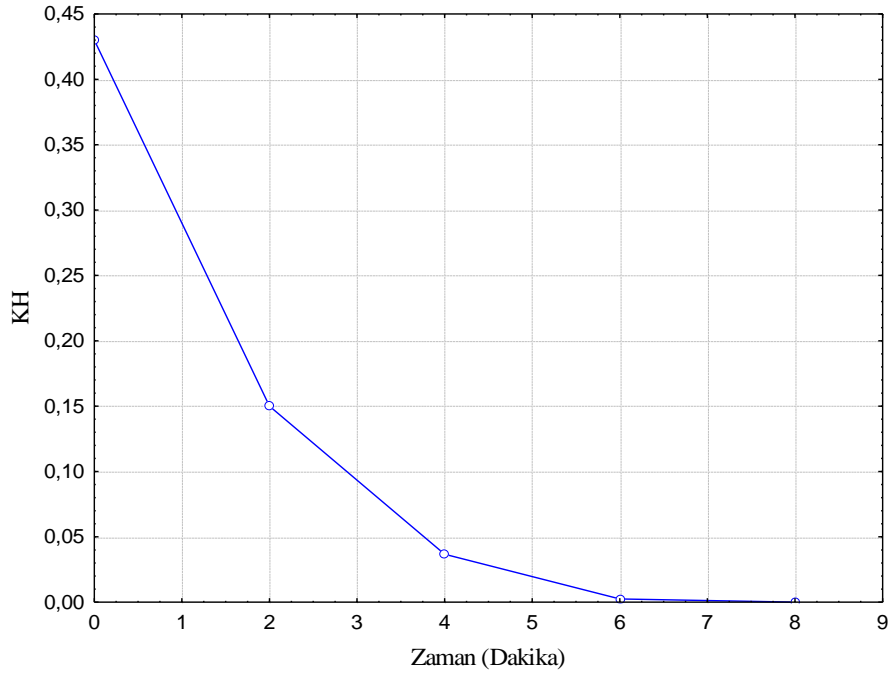
Denklem (66) elde edilmektedir. Şekil 36’da ise nane için 800W mikrodalga güçte boyutsuz kütle oranı (MR)-zaman grafiği verilmiştir.



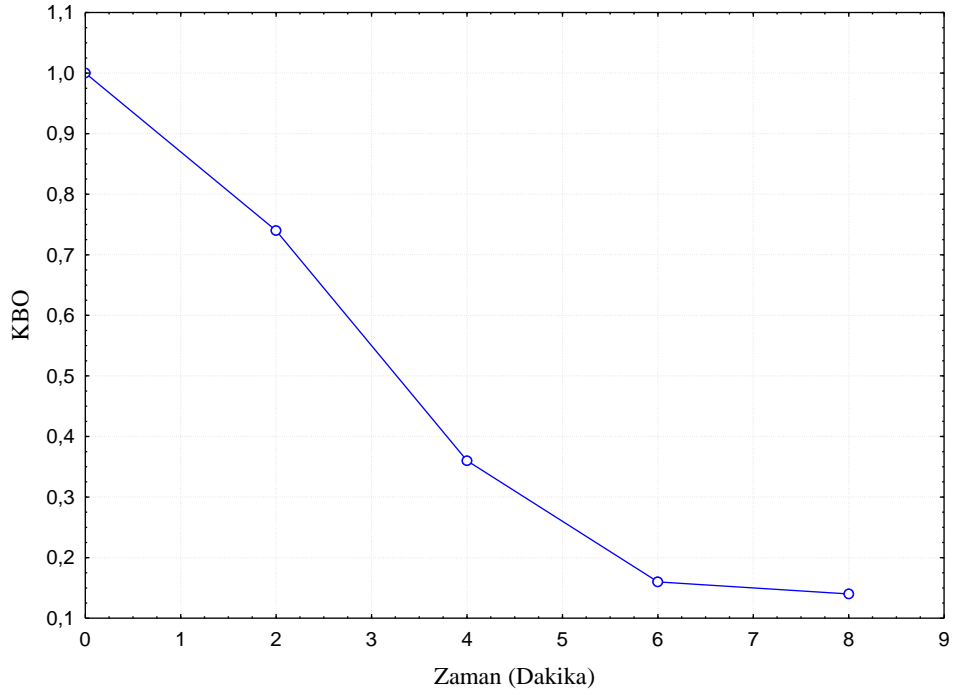
Şekil 37. Nananin farklı mikrodalga güçlerde kütle kayıp hızı (KKH)-zaman grafiği



Şekil 38. Nananin 700W mikrodalga güçte nem oranı (WR) – zaman grafiği



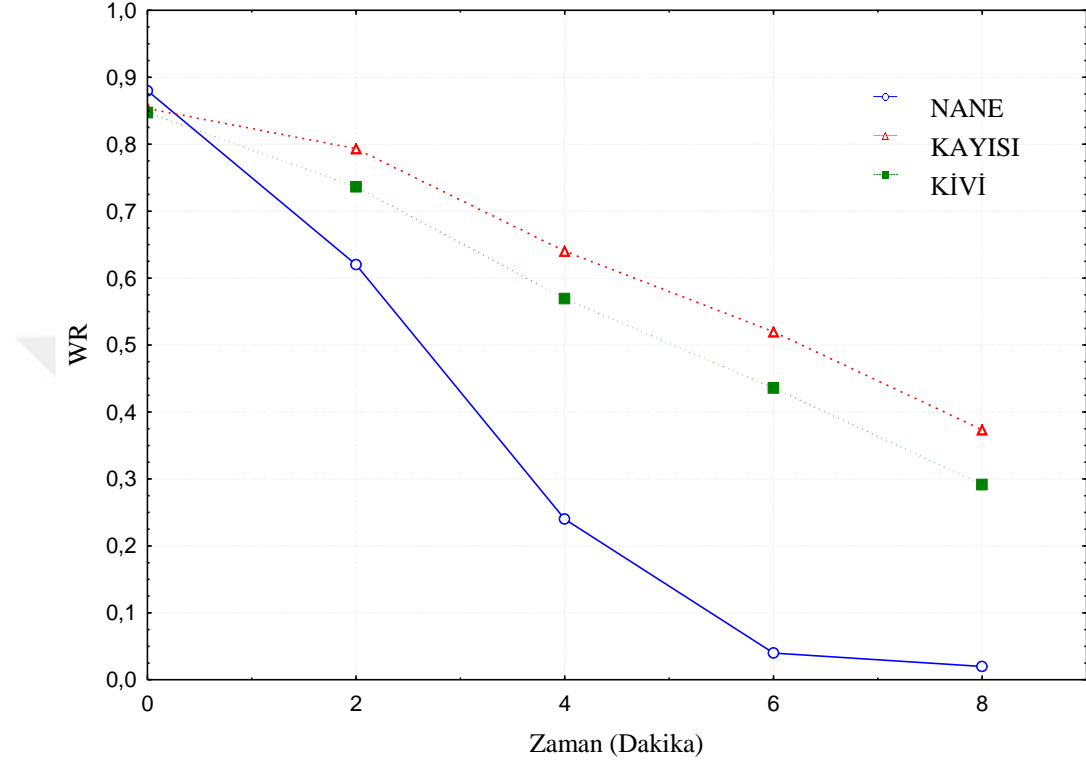
**Şekil 39.** Nanenin 700W mikrodalga güçte kuruma hızı (KH) – zaman grafiği



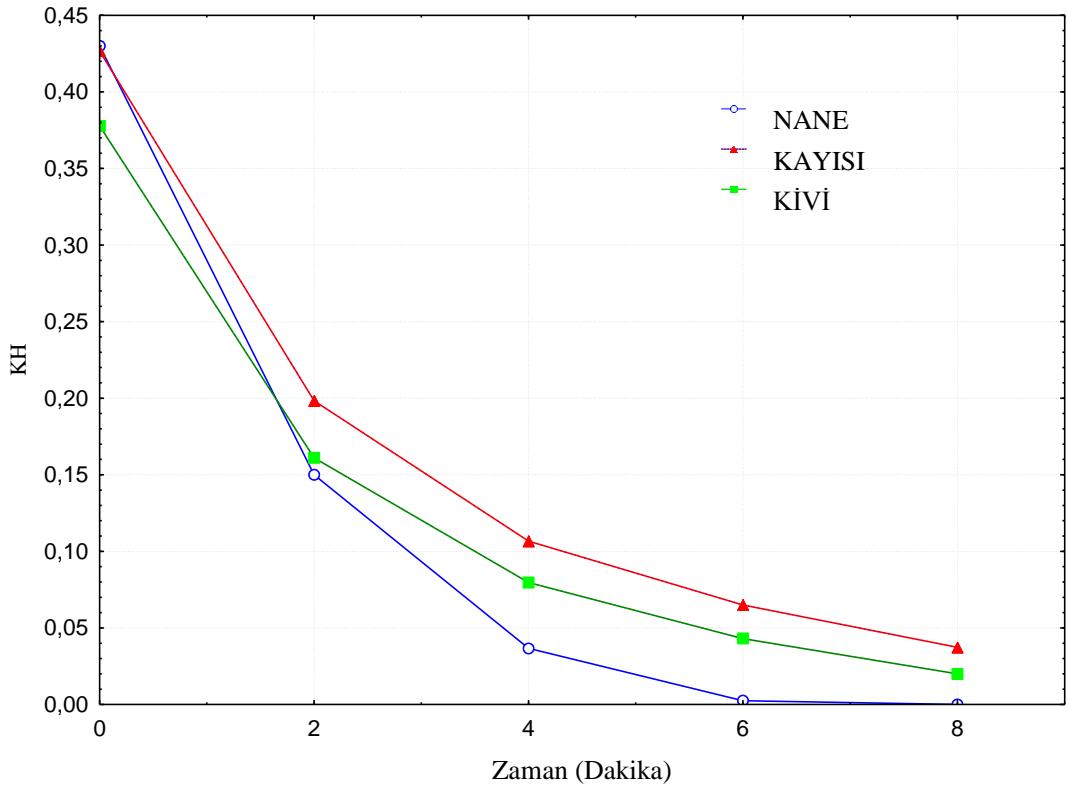
**Şekil 40.** Nanenin 700W mikrodalga güçte kütleli büzülme oranı (KBO) – zaman grafiği

### 3.4. Kayısı, Kivi ve Nananın Mikrodalga Kurutma Sonuçlarının Karşılaştırılması

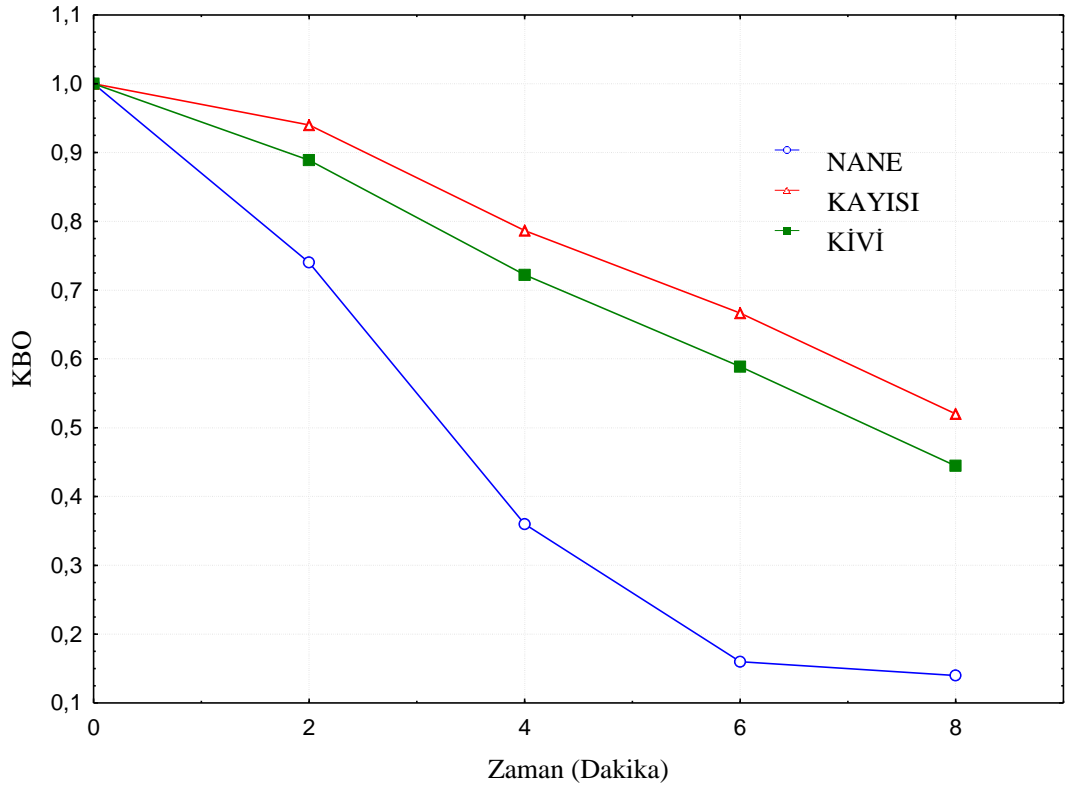
Kayısı, kivi ve nanenin Şekil 41, 42 ve 43’de sırasıyla 700W mikrodalga güçte nem oranı, kuruma hızı ve kütleli büzülme oranı – zaman grafikleri verilmiştir.



Şekil 41. Kayısı, nane ve kivin 700W nem oranı (WR) – zaman grafiği



Şekil 42. Kayısı, nane ve kivi'nin 700W kuruma hızı (KH) – zaman grafiği



Şekil 43. Kayısı, nane ve kivi'nin 700W kütleli bütölme oran (KBO) – zaman grafiği

#### 4. TARTIŞMA ve SONUÇLAR

Yapılan modellemeler ve değerlendirme kriterleri ışığında mikrodalga kurutmanın seçilen üç ürün için farklı kuruma eğilimleri gösterdi. Yöntem, modelleme ve değerlendirme kriterlerinin aynı olmasına rağmen ürünlerde farklı kuruma eğilimi ürün içyapısının kimyasal, biyolojik ve fiziksel durumunun kuruma üstündeki etkisini gösterdi. Ürün geometrik şeklinin bile kuruma hızı ve kalitesi üzerindeki etkiyi önemli olduğu hususu göstermiş oldu.

##### 4.1. Kayısı Kurutma

800W ile 157g kayısı ile başlatılan kuruma deneyi birer dakika aralıklarla ağırlık kayıpları hassas terazi ile ölçüldü. Birinci dakikanın sonunda ağırlık kaybı 5g ve ürün dış kısmında hafiften buruşma ve şekil değişikliği oluşurken 2. ve 3'üncü dakikaların sonunda toplam ağırlık ya da üründeki su kaybı 43 g olarak ölçüldü. Ürün 3.dakikanın sonunda kayısı iç merkezinden hissedilir bir şekilde yanmalar oluşmaya başladı. Dış yüzeyindeki buruşma ve şekil değişimi devam ederken kayısı renginde morarmalar gözükmeye başladı. 4.5. ve 6'ıncı dakikalarda ürün kuruma ve ağırlık kaybı düşerken toplam ağırlık kaybı 47g olarak ölçüldü. 3'üncü dakika sonunda devam eden iç merkezden başlayan yanma durumu artarken dış yüzeylerde de kaysının tabak içinde bitişik iç yüzeyleri yanıklar oluşmaya başladı. 7'inci dakika sonunda üründe 12g su kaybı devam ederken, 800W'lık kuruma sonunda toplam ölçülen su kaybı 107g olarak ölçüldü. Ürün kısa sürede kuruma gözlenirken oluşan yanma; ürün kalitesinde olumsuz derecede etki ettiği çıplak gözle gözlemlendi. Ürün kurumaya devam edildiğinde tamamen yanma eğiliminde ve kömürleşme emareleri göstermekte. Bu husustan dolayı 107g'lık kuruma ile deney sonlandı ve kuru ürünün nem içeriği DFA ile ölçüldüğünde Uluslararası kayısı ihracat nem ölçüm aralığında (%21-26) ve %22 olduğu gözlemlendi.

700W ile 150 g kayısı ile başlatılan kuruma deneyi ikişer dakika aralıklarla ağırlık kayıpları hassas terazi ile ölçüldü. İkinci dakikanın sonunda ağırlık kaybı 9g ve ürün stabil ve hafif bir şekil ve buruşma gözlemlendi 4. 6. ve 8'inci dakikaların sonunda toplam ağırlık ya da üründeki su kaybı 63g olarak ölçüldü. Ürün sekizinci dakikanın sonunda kayısı iç merkezinden hissedilir bir şekilde yanmalar oluşmaya başladı. Dış yüzeyindeki buruşma ve şekil değişimi devam ederken kayısı renginde morarmalar gözükmeye

başladı. 4. 6. ve 8'inci dakikalarda üründeki su kaybı aynı değerler de olmadığı 4.'üncü dakikanın sonunda 23g iken 6'ncı dakikanın sonunda 18g ve 6'ncı dakikanın sonunda ise 22g olarak ölçüldü. 8'inci dakika sonunda devam eden iç merkezden başlayan yanma durumu artarken dış yüzeylerde de kaysının tabak içinde bitişik iç yüzeyleri yanıklar oluşmaya başladı. 10'uncu dakika sonunda üründe 18g su kaybı devam ederken, kuruma devam etmekte son olarak kaysının kurumuş ürün kalitesini korumak adına 12'inci dakikanın sonucunda ağırlık kaybı 14g olarak ölçüldü ve 700W'lık kuruma sonunda toplam su kaybı 104g olarak ölçüldü. Ürün kısa sürede kuruma gözlenirken oluşan istenilmeyen yanma; ürün kalitesinde olumsuz derecede etki ettiği çıplak gözle gözlemlendi. Ürün kurumaya devam edildiğinde tamamen yanma eğiliminde ve kömürleşme emareleri göstermekte. Bu husustan dolayı 104g'lık kuruma ile deney sonlandı ve kuru ürünün nem içeriği DFA ile ölçüldüğünde Uluslararası kayısı ihracat nem ölçüm aralığında (%21-26) ve %22 olduğu gözlemlendi.

600W ile 147g kayısı ile başlatılan kuruma deneyi ilk kuruma periyodu 5 dakika ile başlatıldı. 5'inci dakika sonunda ağırlık kayıpları hassas terazi ile ölçüldü. 5'inci dakikanın sonunda ağırlık kaybı 38g ve ürün dış kısmında hafiften buruşma ve şekil değişikliği oluşurken üçer ve ikişer dakikalık ölçümler sonunda toplam ağırlık ya da üründeki su kaybı 52g olarak ölçüldü. Ürün onikinci dakikanın sonunda kayısı iç merkezinden başlayan aşırı kuruma gözükürken ürün dış yüzeyindeki buruşma ve şekil değişimi artış gösterdi. İç yüzeyine nazaran ürün dış kısmı hala yoğun nem içeriğinde. Kayısı renginde morarmalar gözükmeye başladı. Bu olay doğal güneş altında kurumaya yönelik emareler göstermektedir. Ürüne son olarak verilen 2+5 dakikalık periyotlardaki son ölçümler sırasıyla 13 ve 4g'lık ağırlık kaybı oluşurken iç merkezden başlayan yanma durumu artış göstermeye başladı ve dış yüzeylerde de kaysının tabak içinde bitişik iç yüzeyleri yanıklar oluşmaya başladı. 600W'lık kuruma sonunda toplam ölçülen su kaybı 107g olarak ölçüldü. Ürün kısa sürede kuruma gözlenirken oluşan yanma; ürün kalitesinde olumsuz derecede etki ettiği çıplak gözle gözlemlendi. Ürün kurumaya devam edildiğinde tamamen yanma eğiliminde ve kömürleşme emareleri gösterdi. Bu husustan dolayı 107g'lık kuruma ile deney sonlandı ve kuru ürünün nem içeriği DFA ile ölçüldüğünde Uluslararası kayısı ihracat nem ölçüm aralığında (%21-26) ve %21 olduğu gözlemlendi.

450W ile 150 g kayısı ile başlatılan kuruma deneyi beşer dakika aralıklarla ağırlık kayıpları hassas terazi ile ölçüldü. Beşinci dakikanın sonunda ağırlık kaybı 25g ve ürün stabil ve hafif bir şekil ve buruşma gözlemlendi. 10, 15'inci dakikaların sonunda ağırlık ya da üründeki su kaybı 52g olarak ölçüldü. Ürün 15'inci dakikanın sonunda kayısı iç merkezinden başlayan kuruma durumu stabil bir şekilde ürün dış yüzeyine doğru hissedilir bir şekilde oluşmaya devam etti. Dış yüzeyindeki buruşma ve şekil değişimi devam ederken kayısı renginde morarmalar gözükmeye başladı. Son ölçüm aralığı olan 20.dakikanın sonunda üründeki su kaybı aynı değerleri özgünlüğünü korurken gerçekleşen su buharlaşma miktarı 23g olarak ölçüldü. Yirminci dakika sonunda devam eden iç merkezden başlayan kuruma dış çepere doğru şekil ve renk değişimi ile tamamlandı. Ürün stabil ve madde özgünlüğünü korurken herhangi bir yanma vb. bir olay gözlenmedi. 450W'lık kuruma ölçümlerinde oluşan toplam su kaybı 100g olarak ölçüldü. Üründe kuruma süresi uzamaya başlarken; ürünün doğal görünümlü kuruma ve renk değişimi ürün kalitesindeki kuruma davranışını olumlu yönde oluşturdu. Ölçümler sonunda kuru ürünün nem içeriği DFA ile ölçüldüğünde Uluslararası kayısı ihracat nem ölçüm aralığında (%21-26) ve %24 olduğu gözlemlendi.

300W ile 150g kayısı ile başlatılan kuruma deneyi beşer dakika aralıklarla ağırlık kayıpları hassas terazi ile ölçüldü. Beşinci dakikanın sonunda ağırlık kaybı 11g ve ürün stabil ve tazeliğinde bir değişim gözlenmedi. 10, 15'inci dakikaların sonunda ağırlık ya da üründeki su kaybı 41g olarak ölçüldü. Ürün 15'inci dakikanın sonunda kayısı iç merkezinden başlayan kuruma durumu stabil bir şekilde ürün dış yüzeyine doğru hissedilir bir şekilde oluşmaya devam etti. Dış yüzeyindeki buruşma ve şekil değişimi devam ederken kayısı renginde morarmalar gözükmeye başladı. Yirminci dakikanın sonunda üründeki su kaybı aynı değerleri özgünlüğünü korurken gerçekleşen su buharlaşma miktarı 15g olarak ölçüldü. Son ölçüm değeri olan 25'inci dakika sonunda devam eden iç merkezden başlayan kuruma dış çepere doğru şekil ve renk değişimi ile tamamlandı. Ürün stabil ve madde özgünlüğünü korurken herhangi bir yanma vb. bir olay gözlenmedi. 300W'lık kuruma ölçümlerinde oluşan toplam su kaybı 82g olarak ölçüldü. Üründe kuruma süresi uzamaya başlarken; ürünün doğal görünümlü kuruma ve renk değişimi ürün kalitesindeki kuruma davranışını olumlu yönde oluşturdu. Ölçümler sonunda kuru ürünün nem içeriği DFA ile ölçüldüğünde Uluslararası kayısı ihracat nem ölçüm aralığında (%21-26) ve %25 olduğu gözlemlendi.



Son kurutma denemesi olan 100W ile 150g kayısı ile başlatılan kuruma deneyi beşer dakika aralıklarla ağırlık kayıpları hassas terazi ile ölçüldü. Toplam olarak en uzun kuruma periyotları bu güç de gözlemlendi. İlk 5'inci dakikanın sonunda ağırlık kaybı değişimi olmaz iken sonra ki ölçümler de ürün ağırlık kaybı çok hassas bir şekilde azalma gösterdi. Ağırlık kaybı birer ve ikişer gramlık azalmalarla gözlenirken ilk 35 dakikada toplam ağırlık kaybı 16 g olarak ölçüldü. Bu zaman değişimi sırasında ürün stabil ve tazeliğinde bir değişim gözlenmedi. 40...75'inci dakikaların sonunda ağırlık ya da üründeki su kaybı 30g olarak ölçüldü. Ürün 75'inci dakikanın sonunda kayısı iç merkezinden başlayan kuruma durumu stabil bir şekilde ürün dış yüzeyine doğru hissedilir bir şekilde oluşmaya devam etti. Dış yüzeyindeki buruşma ve şekil değişimi devam ederken kayısı renginde morarmalar gözükmeğe başladı. Denebilir ki en iyi hızlı bir şekilde ağırlık kaybı 80 ve 110'uncu dakikanın sonunda gözlemlendi. Bu zaman periyodunda üründeki su kaybı aynı değerleri özgünlüğünü korurken gerçekleşen su buharlaşma miktarı 27g olarak ölçüldü. Son ölçüm değeri aralığı olan 115 ve 125'inci dakika sonunda devam eden iç merkezden başlayan kuruma dış çepere doğru şekil ve renk değişimi ile tamamlandı. Ürün stabil ve madde özgünlüğünü korurken herhangi bir yanma vb. bir olay gözlenmedi. 100W'lık kuruma ölçümlerinde oluşan toplam su kaybı 85g olarak ölçüldü. Üründe kuruma süresi uzamaya başlarken; ürünün doğal görümlü kuruma ve renk değişimi ürün kalitesindeki kuruma davranışını olumlu yönde oluşturdu. Ölçümler sonunda kuru ürünün nem içeriği DFA ile ölçüldüğünde Uluslararası kayısı ihracat nem ölçüm aralığında (%21-26) ve %25 olduğu gözlemlendi.

Kayısı meyvesi, yüksek şeker ihtiva eden kimyasal yapısı dolayı mikrodalga kurutma işleminde olumsuz etkilenmektedir. Yapılan çalışmalar ışığında, bir mikrodalga kurutma yapılacak ise öncelikle MW kurutmaya uygun olup olmadığı ürünün dielektrik kayıp faktörü incelenerek tespit edilmeli (Wang vd., 2003). Geleneksel yöntemlerle karşılaştırıldığında “içten dışa doğru ısınma” sağladığı gibi yanlış bir kanı oluşmasının sebebi geleneksel yöntemlerdeki dıştan içe ısı aktarımı yerine mikrodalgayı absorblayan her noktada eş ısınma sağlamasıdır. Verilen enerjinin tamamı sadece ürünü ısıtıp kurutma da kullanıldığı için verimlidir. Bunların yanında mikrodalganın ürün içine nüfus etme derinliği sınırlı olduğu ve bazı ürünlerde belirli

noktalarda enerji toplanması sonucu yanma olduğu için her ürün mikrodalga kurutmaya uygundur denilemez (Drouzas vd. 1999; Won vd., 2004).

Kayısı ve Kivi deneyleri safhasında yapılan niteliksel gözlemler ve sonuç olarak değerlendirme kriterlerinin neticesinde taze Malatya Levent Kayısı ve kivi için tek başına bir kurutma yöntemi değildir. Ancak kombine kurutma yöntemleri ile tekrarlanmasında, özellikle kurutma esnasından oluşan yüksek orandaki buharın sistemden uzaklaştırılması büyük önem arz etmektedir. Ögleki bu buharlaşma hızından dolayı MW fırında arızalar oluşmakta ve bu çalışmada fırın iç yüzey aydınlatma ışığı buharlaşmadan arızalandı.

Meyvelerin hepsinde olduğu gibi kayısı numunelerinde de ürünün et kısmını koruyan üst zarın sağlam oluşu hava geçiriminin az olması ve artan buharlaşmaya rağmen tüm nemi geçirememesi ve içerde hapsetmesi ürünün pişmesine veya haşlanmasına ve dahi yüksek güçlerde dolayısıyla yanmalara sebebiyet vermektedir.

Şekil 17’de kayısının mikrodalga güçlerde kütle kayıp hızının mikrodalga gücünün artmasına paralel arttığı gözlemlendi. Örneğin 800W MW güçte 8 dakikada kuruma gerçekleşirken güç 100W iken kuruma süresi 140 dakika civarlarında seyretmektedir. Şekil 18, 19, 20’de 100W için sırasıyla çizilen nem oranı, kurutma hızı, kütleli büzülme oranlarını gözlemlediğimizde ise nem oranına bağlı olarak kütleli büzülmenin de aynı derecede nem oranı–zaman grafiğine paralel cereyan ettiğini gözlemlemekteyiz. Kurutma hızının nem–zaman parametresiyle doğru orantılı olarak ilk dakikalarda düşük iken zamanla artış gösterip kurutma zamanını sonuna doğru azaldığı ve hatta sıfırlandığı tespit edildi.

100W kuruma hızı en uzun olmasına, olumsuz şartlara rağmen 150g kayısı için en iyi tek tabaka mikrodalga kurutma davranışını gösteren model Weibull modeli iken kuruta denklemi;

$$MR = \exp \left( - \left( \frac{t}{81.86} \right)^{2.007} \right) \quad (47)$$

100W güç ile yapılan kurutma da ise uzun kuruma süresi, pahalı iş gücü ve enerji israfının göz ardı edilmeyecek kadar önemli olduğu aşikâr.

#### **4.2. Kivi Kurutma**

800W mikrodalga güç ile 84g kivi numuneleri fırının döner tablasına, fırın yüksekliğinin  $h\frac{1}{2}$  yüksekliğinde olacak şekilde 1-2mm çaplı ızgara tabağa yerleştirildi. Birer dakikalık periyotlar halinde başlatılan kuruma deneyleri hassas terazi ile ölçüldü. Birinci dakikanın sonunda yapılan ölçümde ağırlık kaybı 4g iken ürün de hissedilir bir değişiklik meydana gelmedi. 2., 3. ve 4'üncü dakikalar sonucunda yapılan ölçüm ve gözlemlerde toplam ağırlık kaybı 35g ve kivi numunesinde renk şekil değişimi ve ürün orta kısmı çekirdek bölümünde kızarıklar gözlenmeye başladı. 5., 6. ve 7'inci dakikalar sonucunda meydana gelen su kaybı azalırken ürün şekil, renk ve kuruma değişimi giderek artış gösterdi. Bu safhada meydana gelen su kaybı 23g olarak kaydedildi. Sonuç olarak ürün su kaybı verilen süre artıka azalma eğiliminde ve bu kısa süreli ürün kuruma durumunda üründe genelde iç yüzeylerde yanma ve dış çepere doğru pişmeler oluşmaktadır. Ürün kısa sürede kuruma gözlenirken oluşan yanma; ürün kalitesinde olumsuz derecede etki ettiği çıplak gözle gözlemlendi. Ürün kurumaya devam edildiğinde tamamen yanma eğiliminde ve kömürleşme emareleri göstermekte. Bu husustan dolayı 62gr'lık kuruma ile deney sonlandı.

700W mikrodalga güç ile 90g kivi numuneleri fırının döner tablasına, fırın yüksekliğinin  $h\frac{1}{2}$  yüksekliğinde olacak şekilde 1-2mm çaplı ızgara tabağa yerleştirildi. İkişer dakikalık periyotlar halinde başlatılan kuruma deneyleri hassas terazi ile ölçüldü. İki dakikalık kuruma sonunda yapılan ölçümde ağırlık kaybı 10g iken ürün de buruşmalar ve az da olsa şekil ve renk meydana geldi. 4., 6. ve 8'inci dakikalar sonucunda yapılan ölçüm ve gözlemlerde toplam ağırlık kaybı 40g ve kivi numunesinde renk şekil değişimi ve ürün orta kısmı çekirdek bölümünde kızarıklar gözlenmeye başladı. 10., 12'inci dakikalar sonucunda meydana gelen su kaybı azalırken ürün şekil, renk ve kuruma değişimi giderek artış gösterdi. Bu safhada meydana gelen su kaybı 18g olarak kaydedildi. Sonuç olarak ürün su kaybı verilen süre artıka azalma eğiliminde ve bu kısa süreli ürün kuruma durumunda üründe genelde iç yüzeylerde yanma ve dış

çepere doğru pişmeler oluşmaktadır. Ürün kısa sürede kuruma gözlenirken oluşan yanma; ürün kalitesinde olumsuz derecede etki ettiği çıplak gözle gözlemlendi. Ürün kurumaya devam edildiğinde tamamen yanma eğiliminde ve kömürleşme emareleri göstermekte. Bu husustan dolayı 68g'lık kuruma ile deney sonlandı.

600W mikrodalga güç ile 96g kivi numuneleri fırının döner tablasına, fırın yüksekliğinin  $h\frac{1}{2}$  yüksekliğinde olacak şekilde 1-2mm çaplı ızgara tabağa yerleştirildi. İkişer dakikalık periyotlar halinde başlatılan kuruma deneyleri hassas terazi ile ölçüldü. İki dakikalık kuruma sonunda yapılan ölçümde ağırlık kaybı 10g iken ürün de buruşmalar ve az da olsa şekil ve renk meydana geldi. 4., 6. ve 8'inci dakikalar sonucunda yapılan ölçüm ve gözlemlerde toplam ağırlık kaybı 40g ve kivi numunesinde renk şekil değişimi ve ürün orta kısmı çekirdek bölümünde kızarıklar gözlenmeye başladı. 10., 12'inci dakikalar sonucunda meydana gelen su kaybı azalırken ürün şekil, renk ve kuruma değişimi giderek artış gösterdi. Bu safhada meydana gelen su kaybı 18g olarak kaydedildi. Sonuç olarak ürün su kaybı verilen süre artıka azalma eğiliminde ve bu kısa süreli ürün kuruma durumunda üründe genelde iç yüzeylerde yanma ve dış çepere doğru pişmeler oluşmaktadır. Ürün kısa sürede kuruma gözlenirken oluşan yanma; ürün kalitesinde olumsuz derecede etki ettiği çıplak gözle gözlemlendi. Ürün kurumaya devam edildiğinde tamamen yanma eğiliminde ve kömürleşme emareleri göstermekte. Bu husustan dolayı 75g'lık kuruma ile deney sonlandı.

450W mikrodalga güç ile 92g kivi numuneleri fırının döner tablasına, fırın yüksekliğinin  $h\frac{1}{2}$  yüksekliğinde olacak şekilde 1-2mm çaplı ızgara tabağa yerleştirildi. Beş dakikalık kuruma sonunda yapılan ölçümde ağırlık kaybı 12g iken ürün de buruşmalar ve az da olsa şekil ve renk meydana geldi. Sonraki 10 ve 15'inci dakikalar da ağırlık kaybı hızla yükselirken yapılan ölçüm ve gözlemlerde toplam ağırlık kaybı 42g ve kivi numunesinde renk şekil değişimi ve ürün orta kısmı çekirdek bölümünde kızarıklar gözlenmeye başladı. 17., 20. ve 22'nci dakikalar sonucunda meydana gelen su kaybı azalırken ürün şekil, renk ve kuruma değişimi giderek artış gösterdi. Bu safhada meydana gelen su kaybı 20g olarak kaydedildi. Sonuç olarak ürün su kaybı verilen süre artıka azalma eğiliminde ve bu kısa süreli ürün kuruma durumunda üründe genelde iç yüzeylerde kızarma ve ilk durumda olduğu gibi kalma eğiliminde oluşmaktadır. 450W kurumada kuruma süresi artarken daha stabil ve doğal kuruma eğiliminde kurutmada

yapılan son 2 dakikalık ölçümde 6g'lık bir su veya ağırlık kaybı gerçekleşti. Yapılan çalışma 74g'lık kuruma ile deney sonlandı.

300W mikrodalga güç ile 79g kivi numuneleri fırının döner tablasına, fırın yüksekliğinin  $h\frac{1}{2}$  yüksekliğinde olacak şekilde 1-2mm çaplı ızgara tabağa yerleştirildi. Beş dakikalık kuruma sonunda yapılan ölçümde ağırlık kaybı 6g iken ürün de buruşmalar ve az da olsa şekil ve renk meydana geldi. Sonraki 10., 15. ve 20'nci dakikalar da ağırlık kaybı hızla yükselirken yapılan ölçüm ve gözlemlerde toplam ağırlık kaybı 35g ve kivi numunesinde renk şekil değişimi ve ürün orta kısmı çekirdek bölümünde kızarıklar gözlenmeye başladı. 23., 26. ve 30'uncu dakikalar sonucunda meydana gelen su kaybı azalırken ürün şekil, renk ve kuruma değişimi giderek artış gösterdi. Bu safhada meydana gelen su kaybı 18g olarak kaydedildi. Sonuç olarak ürün su kaybı verilen süre artıka azalma eğiliminde ve bu kısa süreli ürün kuruma durumunda üründe genelde iç yüzeylerde kızarma ve ilk durumda olduğu gibi kalma eğiliminde oluşmaktadır. 300W kurumada kuruma süresi artarken daha stabil ve doğal kuruma eğiliminde kurutmada yapılan son 3 dakikalık ölçümde 3g'lık bir su veya ağırlık kaybı gerçekleşti. Yapılan çalışma 62g'lık kuruma ile deney sonlandı.

100W mikrodalga güç ile 98g kivi numuneleri fırının döner tablasına, fırın yüksekliğinin  $h\frac{1}{2}$  yüksekliğinde olacak şekilde 1-2mm çaplı ızgara tabağa yerleştirildi. On dakikalık kuruma sonunda yapılan ölçümde ağırlık kaybı 6g iken ürün stabil. Sonraki 20., 30. ve 40'inci dakikalar da ağırlık kaybında hızlı bir artış olmazken yapılan ölçüm ve gözlemlerde toplam ağırlık kaybı 22g ve kivi numunesinde renk şekil değişimi ve ürün de stabil bir kuruma gözlendi. 50., 60 ve 70'inci dakikalar sonucunda meydana gelen su kaybında herhangi bir artış gözükmezken ürün stabil bir şekilde kuruma eğiliminde bu safhada meydana gelen su kaybı 27g olarak kaydedildi. Son olarak yapılan 3 ölçümde toplam su kaybı 22g olarak kaydedildi. 100W kurumada kuruma süresi artarken daha stabil ve doğal kuruma eğiliminde yapılan çalışma 77g'lık kuruma ile deney sonlandırıldı.

MW kurutmada kiviinin kayısıya nazaran daha umut verici olduğunu söyleyebiliriz. Kivi numunelerinin kurutmadan önce dış kabuk kısmının soyulması hasır şeklinde kurutma tabağının etkisi oluşan su kaybının tabakta birikmeden bir alt hazneye

doğru akması, elips şeklinde kesilmiş kivi numuneleri dolayısıyla yüksek kurutma yüzeyi kivi için olumlu bir çalışma iken MW dalgalarının tüm fırın iç yüzeyinde eşit yayılmasına rağmen kurutma tabağının fırın iç yüzey yksekliliğinin  $h^{1/2}$  konumlandırılması artı bir avantaj sağlamadığını göstermektedir.

Kivi numunelerinin i çekirdek kısmı diğer bölümlerinden farklı olması ürün kurumasında olumsuz etki yarattı. Elips şeklindeki numunelerin merkez kısmında kızarıklar hatta yanmalar gözlenirken merkezden uzaklařtıķa kurumada farklılık arz etmekte, üniform bir kurumanın olmaması kurutma kültürü için istenilmeyen bir durum. Bu istenilmeyen duruma rağmen n kurutma nemim önemli bir bölümünün sistemden uzaklaştırılmasından sonra kombine bir kurutma sistemi ile çalışılması endüstriyel kurutma için umut verici olacaktır.

şekil 27’de kivinın farklı mikrodalga güçlerde kütle kayıp hızının mikrodalga gücünün artmasına paralel arttığı gözlemlendi. Örneğin 800W mikrodalga güçte 10 dakika civarında kuruma gerçekleşirken güç 100W iken kuruma süresi 120 dakika civarlarında seyretmektedir. şekil 28, 29, 30’da 700W için sırasıyla çizilen grafiklerde nem oranı, kurutma hızı, kütlesel büzülme oranlarını gözlemlediğimizde ise nem oranına bağlı olarak kütlesel büzülmenin de aynı derecede nem oranı–zaman grafiğine paralel cereyan ettiğini gözlemlemekteyiz. Kurutma hızının nem–zaman parametresiyle doğru orantılı olarak ilk dakikalarda düşük iken zamanla artış gösterip kurutma zamanını sonuna doğru azaldığı ve hatta sıfırlandığı tespit edildi.

Bu üründe ise en iyi kurutma gücü 700W iken en iyi tek tabaka MW kurutma davranışını gösteren kurutma modeli Alibaş (Modifiye Midilli-Kucuk) iken kurutma denklemi denklem (58) dir;

$$MR = 4.76926 \exp\left(-0.35410t^{1.178834}\right) + 0.108842t - 3.76936 \quad (58)$$

### 4.3. Nane Kurutma

800W mikrodalga güç ile önceden hazırlanmış 50g nane kurutma tabağına konularak fırının döner tablasına yerleştirildi. Sabit zaman aralıklarıyla hassas terazi ile ölçümler yapıldı. Birinci dakika sonunda yapılan ağırlık kaybı ölçümünde 11g'lık bir su kaybı kaydedildi. Üründe renk ve şekil değişimi doğal görünümlü ve herhangi bir olumsuz durum gözlenmedi. 2. ve 3'üncü dakikalar sonunda yapılan ölçümler ve gözlemler de ürün doğal kuruma emareleriyle ağırlık kaybında artış gözlemlendi. Toplam ağırlık kaybı 26g olarak kaydedildi. Ürünün son kuruma periyodu olan 4, 5'inci dakikalarda ağırlık kaybı azaldı ve toplam kayıp 7g'lık bir değişim kaydedildi.

Nane kurutma deneyinde yapılan diğer 700, 600, 450, 300 ve 100W'lık kuruma deneylerinde 800W kurumada meydana gelen durum gözlemlendi. Aynı cins, 50g'lık nane numuneleri, aynı ortam ve kurutma fırını ile sadece verilen farklı mikrodalga güç farklarından dolayı cereyan eden kuruma sürelerindeki artış veya azalış oldu. Nane tüm güçlerde stabil ve doğal görünümlü olarak kurudu. Nane numunelerinde herhangi bir yanma kızarıklık vb. olumsuz durum gözlenmedi.

Mikrodalga kurutma ile yapılan üç deneyden ve alınan sonuçlar niteliksel ve niceliksel olarak düşünüldüğünde nane kurutma en iyi sonucu verdi. Kayısı ve kivi de oluşan tüm olumsuz varyasyonlar nanede gözlenmedi. Nane numuneleri MW fırında tüm güçlerde doğal görünümlü bir kurutma gözlemlendi. Doğal kurutmadan avantajlı bir diğer husus kısa süreli kuruması temiz ve hijyenik bir ortam ve zamandan ve enerjiden olumlu istenilen sonuçlar doğurması oldu.

Şekil 37'de nanenin farklı mikrodalga güçlerde kütle kayıp hızının mikrodalga gücünün artmasına paralel arttığı gözlemlendi. Örneğin 800W mikrodalga güçte 7 dakika civarında kuruma gerçekleşirken güç 100W iken kuruma süresi 70 dakika civarlarında seyretmektedir. Şekil 38, 39, 40'da 700W için sırasıyla çizilen grafiklere bakıldığında nem oranı, kurutma hızı, kütleli büzülme oranlarını gözlemlediğimizde ise nem oranına bağlı olarak kütleli büzülmenin de aynı derecede nem oranı–zaman grafiğine paralel cereyan ettiğini gözlemlemekteyiz. Kurutma hızının nem–zaman

parametresiyle doğru orantılı olarak ilk dakikalarda düşük iken zamanla artış gösterip kurutma zamanını sonuna doğru azaldığı ve hatta sıfırlandığı tespit edildi.

Yapılan çalışmada en iyi kurutma gücü 700W güç, en iyi kurutma modeli Midilli–Küçük olurken kurutma denklemi denklem (65) tir;

$$MR = 0.998522 \exp\left(-0.088416 t^{1.977331}\right) - 0.001532 t \quad (65)$$

#### 4.4. Kayısı, Kivi ve Nananin Mikrodalga Kurutma Sonuçlarının Karşılaştırılması

Kayısı, kivi ve nanenin 700W mikrodalga güçte; Şekil 41’de nem oranı, Şekil 42’de kuruma hızı ve Şekil 43’de ise kütleli büzülme oranları – zaman grafikleri karşılaştırılmalı olarak verilmiştir. 700 W mikrodalga gücü için sekizinci dakika sonunda nem oranlarının kayısı, kivi ve nanenin sırasıyla 0.16, 0.091 ve 0.02 olduğu belirlendi. Ayrıca, kurutma hızının kayısı, kivi ve nane için sırasıyla 0.00381, 0 ve 0.0 olarak hesaplandı. Öte yandan, kütleli büzülme oranı kayısı, kivi ve nane için 0.30, 0.24 ve 0.14 olarak elde edildi. Grafikler incelendiğinde en yüksek nem kaybı, kurutma hızı ve kütleli büzülme oranının sırasıyla nane, kivi ve kayısıda olduğu gözlenmektedir. Kayısı, kivi tek tabaka nanenin ise ince tabaka kurutulması ve matematiksel modellemesinde önemli olan sonuçlar aşağıdaki şekilde sıralanabilir:

- Tek tabaka mikrodalga kayısı kurutma davranışını gösteren en iyi model Wiebull modeli olduğu belirlendi.
- Tek tabaka mikrodalga kayısı kurutma için en uygun mikrodalga kurutma gücü 100W olarak bulundu.
- Tek tabaka mikrodalga kivi kurutma davranışını gösteren en iyi model Modifiye Midilli-Kucuk modeli
- Tek tabaka mikrodalga kivi kurutma için en uygun mikrodalga kurutma gücü olarak bulundu 700W.
- İnce tabaka mikrodalga nane kurutma davranışını gösteren en iyi model Midilli-Kucuk modeli



- f) İnce tabaka mikrodalga nane kurutma için en uygun mikrodalga kurutma gücü olarak bulundu 700W.
- g) Mikrodalga kurutma gücü arttıkça kurutma zamanının önemli ölçüde azaldığı tespit edildi.
- h) En yüksek nem kaybı, kurutma hızı ve kütleli büzülme oranının sırasıyla nane, kivi ve kayısıda olduğu belirlendi.



## 5. ÖNERİLER

- a) Mikrodalga kurutma evsel kullanımdan öte endüstriyel bir kurutma yöntemi olarak kullanılmasının gerek şartlarından biri kesinlikle kombine bir teknoloji ile kullanılması olacağı gibi kurutma avantajını da artıracaktır.
- b) Mikrodalga kurutma esnasında ani sıcaklık artışı ve dolayısıyla oluşan buharın sistemden uzaklaştırılması büyük önem arz etmektedir. Evsel mikrodalga fırınlarda mevcut buhar tahliye fanlarının yetersizliği endüstriyel çalışmalarda göz önünde bulundurularak önlem alınması ve tekrar tasarlanması gerekmektedir dolayısıyla kombine kurutma teknolojilerin önemini tasarımını ve deneysel çalışmalarla ispatının yapılarak çalışmaların önemi yüksek enerji maliyeti uzun süren kuruma hızları kurutma esnasında ürünün israfı hijyenik ortamın sağlanamaması gibi dezavantajlardan arındırılmış kurutma teknolojileri üzerinde düşünülmesi kaçınılmaz bir gerçektir.
- c) Endüstriyel bitki, meyve, sebze, ahşap kurutma, gıda ürünleri, tıbbi ürünler vs. kurutulması işleminde mikrodalga uygulamalarının ön çalışmalarını yapmak ürünün öncelikle mikrodalga ile kurutulması konusunda en uygun kurutma yöntemini, kurutma gücünün tespit edilmesi gerekmektedir.
- d) Her ürünün kimyasal yapısı, ürün şekli, fırında kurutulma şekli kurutma yönteminde farklılık arz edeceğinden yapılacak deneysel çalışmalar ve fizibiliteler mikrodalga kurutma yöntemini daha da profesyonel bir kurutma teknoloji olmaya hedefleyecektir.

## KAYNAKLAR

- Abano, E.E., Haile, M.A., Owusu, J., Engmann, F.N., 2013.** Microwave vacuum drying effect on drying kinetics, lycopene and ascorbic acid content of tomato slices, *Journal of Stored Products and Postharvest Research*, 4(1), 11–22.
- Afzal, T.M., and Abe, T., 2000.** Simulation of moisture changes in barley during far infrared radiation drying. *Computers and Electronics in Agriculture*, 26 (2), 137–145.
- Aghbashlo, M., Kianmehr, M.H., Khani, S., Ghasemi, M., 2009.** Mathematical modelling of thin-layer drying of carrot. *International Agrophysics*, 23(4), 313–317.
- Ait, Mohamed L., Kouhila, M., Jamali, A., Lahsasni, S., Kechaou, N., Mahrouz, M., 2005.** Single layer solar drying behavior of citrus aurantium leaves under forced convection. *Energy Conversion and Management*, 46(9–10), 1473–1483.
- Akpinar, E.K., Midilli, A., Biçer, Y., 2005.** Thermodynamic analysis of the apple drying process. *Proc. IMechE Part E: Journal of Process Mechanical Engineering*, 219(1), 1–14.
- Akpinar, I.K., Sarsılmaz, C., Yıldız, C., 2004.** Mathematical modelling of a thin layer drying of apricots in a solar energized rotary dryer. *International Journal of Energy Research*, 28(8), 739–752.
- Alibaş, İ., 2012.** Asma yaprağının mikrodalga enerjisiyle kurutulması ve bazı parametrelerin belirlenmesi. *Tarım bilimleri dergisi* 18, 43-53
- Alibaş, İ., Işık, E., 2001.** Domatesin mikrodalga ışınlarla kurutulmasındaki kurutma parametreleri. *Tarımsal Mekanizasyon 20. Ulusal Tarım Kongresi, Şanlıurfa*, 13-15 Ağustos, 418-422.
- Balbay, A. ve Şahin, Ö., 2012.** Microwave drying kinetics of a thin-layer liquorice root. *Drying Technology*, 30(8), 859–864.
- Cemeroğlu, B., 2018.** Gıda Mühendisliğinde Temel İşlemler Kitabı, Başkent Klişe matbaacılık, no:1, 4. Baskı, ISBN: 9786056341991, 442 s., 278-281.
- Decareau, V.R., 1992.** *Encyclopaedia of Food Science and Technology*. Wiley, New York, USA 3, 1772-1778.
- Demirbaş, M., 2010.** Kivi Reçelinde Depolamanın Bileşim Üzerine Etkisi. Yüksek Lisans Tezi, Atatürk Üniversitesi, Fen Bilimleri Enditüsü, Erzurum, 93 s., 14.
- Demirhan, E. and Özbek B., 2008.** Microwave-drying characteristics of basil. *Journal of Food Processing and Preservation*, 34(3), 476–494. DOI: 10.1111/j.1745-4549.2008.00352.x

- Doğru, M., Midilli, A., Howarth C.R., 2002.** Gasification of sewage sludge using a throated downdraft gasifier and uncertainty analysis, *Fuel Processing Technology* 75, 55-82.
- Doymaz, I., 2011.** Drying of thyme and selection of a suitable thin-layer drying model. *Journal of Food Processing and Preservation*, 34(4), 458–465.
- Drouzas, A.E., Tsami, E. and Saravacos, G.D., 1999.** Microwave-vacuum drying of model fruit gels. *Journal of Food Engineering*, 39(2), 117–122.
- Dünder, H., 2010.** Bir Vakumlu Gıda Kurutma Sisteminin Tasarımı ve İmalatı, Yüksek Lisans Tezi, Afyon Kocatepe Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Afyon, 76 s., 9-10.
- Evranuz, Ö., 1989.** Gıda Maddelerinin Kurutulması Sırasında Kuruma Kinetiğini Kontrol Eden Faktörler ve Kalite Üzerine Etkileri. *The Journal of Food*, 13 (1), 50-58.
- Galema, S.A., 1997.** Microwave chemistry. *Chem Society Reviews*, 26, 233-238.
- Giese, J., 1992.** Advances in microwave food processing. *Food Technol*, 46 (9),118-123
- Günhan, T., Demir, V., Hancıoğlu, E., Hepbaşı, A., 2005.** Mathematical modeling of drying of bay leaves. *Energy Conversion and Management*, 46(11–12), 1667–1679.
- Gwarek, W.K. and Celuch-Marcysiak, M., 2004.** A review of microwave power applications in industry and research. 15. International Conference, Poland, 22 November, 843-848.
- Hemis, M., Singh, C.B., and Jayas, D. S., 2011.** Microwave-Assisted Thin Layer Drying of Wheat. *Drying Technology*, 29, 1240–1247.
- Isaeva, J., 2007.** Kayısı Kurutmasının Deneysel ve Teorik Olarak Araştırılması, Doktora Tezi. Yıldız Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul, 96 s., 30-36.
- Kaletka, A., Gornicki, K., Winiczenko, R., Chojnacka, A., 2013.** Evaluation of drying models of apple dried in a fluidized bed dryer. *Energy Conversion and Management*, 67, 179–185.
- Karaaslan, S.N., 2008.** Sebze ve Endüstri Bitkilerinin Mikrodalgayla Kurutulması Üzerine Çalışmalar. Doktora Tezi. Çukurova Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Adana, 195 s., 42-50.
- Karaaslan, S.N., Tuncer, İ.K., 2008.** Development of a drying model for combined microwave-fan assisted convection drying of spinach. *Biosystems Engineering*. 100, 44 – 52.

- Kartal, A.S., 2011.** Mikrodalga ve Kuru Hava Yardımıyla Kurutma Yöntemlerinin Meyve Pestillerinin Kuruma Sürelerine Etkisinin İncelenmesi. Yüksek Lisans Tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul, 91 s., 32.
- Konak, Ü.İ., Certel M. and Helhel, S., 2009.** Gıda sanayisinde mikrodalga uygulamaları, Gıda Teknolojileri Elektronik Dergisi, 4 (3), 20-31
- Kucuk, H., Midilli, A., Kilic, A., Dincer, İ., 2014.** A review on thin-layer drying-curve equations, *Drying technology: An International Journal*, 32 (7), 757-773. DOI: 10.1080/07373937.2013.873047
- Lombraña, J.I., Rodríguez and Ruiz R.U., 2010.** Microwave-Drying of Sliced Mushroom. Analysis of Temperature Control and Pressure. *Innovative Food Science and Emerging Technologies*, 11 (4), 652-660. DOI: 10.1016/j.ifset.2010.06.007.
- Maskan, M., 2001.** Drying, shrinkage and dehydration characteristics of kiwifruits during hot air and microwave drying. *Journal of Food Engineering*, 48, 177-182.
- Meda, V., Gupta, M. and Opoku, A., 2008.** Drying kinetics and quality characteristics of microwave-vacuum dried saskatoon berries, *The Journal of Microwave Power and Electromagnetic Energy*, 42 (4), 4-12. DOI:10.1080/08327823.2007.11688595
- Menon, A.S. and Mujumdar, A.S., 1982.** Energy saving in the drying of solids, *Indian Chem. Eng.*, 14(2), 8–13.
- Midilli A., Olgun H., Ayhan T., 1999.** Experimental studies on mushroom and pollen drying. *International Journal of Energy Research*, 23, 1143-1152.
- Mujumdar, A.S, Arun S., 2006.** Handbook of Industrial Drying, Crc Press, 3. Edition, ISBN 9781466596658, 1318 s., 4-80.
- Nair G. R., Liplap P., Garipey Y. and Raghavan G. S. V., 2011.** Effect of microwave and hot air drying on flax straw at controlled temperatures, *International Journal of Postharvest Technology and Innovation*, 2(4), 355 – 369.
- Özbek, B., Dadalı, G., 2007.** Thin layer drying characteristics and modeling of mint leaves undergoing microwave treatment. *Journal of Food Engineering*, 83(4), 541-549.
- Özkan, İ., Akbudak, A. and Akbudak, N., 2007.** Microwave Drying Characteristics of Spinach, *Journal of Food Engineering*, 78(2), 577–583. DOI: 10.1016/j.jfoodeng.2005.10.026.
- Öztürk, S., 2014.** Muz ve Kivinin Dielektrik Özelliklerinin Mikrodalga ve Kızılötesi-Mikrodalga Kombinasyonu ile Kurutma Karakteristikleri Üzerine Etkisi. Yüksek Lisans Tezi, Ankara Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Ankara, 144 s., 20.
- Panigrahi, S., Rana, A., Meda, V. and Chang P.R., 2009.** Microwave-vacuum drying of flax fiber for biocomposite production. *The Journal of Microwave Power and Electromagnetic Energy*, 43(3), 35-41.

- Sarimeşeli, A., 2010.** Microwave Drying Characteristics of Coriander (*Coriandrum Sativum L.*) Leaves, *Energy Conversion and Management*, 52(2), 1449-1453. DOI: 10.1016/j.enconman.2010.10.007.
- Schiffmann, R.F., 2006.** Handbook of Industrial Drying, Crc Press, 3. Edition, ISBN 9781466596658, 1318 s., 286-304.
- Silva, F.A., Marsaioli Jr.A., Maximo,G.J., Silva, M.A.A.P., And Gonçalves, L.A.G., 2006.** Microwave assisted drying of macadamia nuts. *Journal of Food Engineering*, (77), 550-558.
- Soares, R.D., Chaves, M.A., Bonomo, R.C.F., Da Silva, N.J., Babic, M., 2007.** The selection criteria of the best matemathics model for basil (*Ocimum Basilicum, L.*). *Drying technology: An International Journal*, 11(4), 161–165.
- Teymur, N., 1999.** Maydanoz ve Dereotunun Kurutulması ve Kuruma Karakteristiklerinin İncelenmesi. Yüksek Lisans Tezi, Yıldız Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul, 74 s., 61.
- Toğrul, H., 2005.** Simple modeling of infrared drying of fresh apple slices. *Journal of Food Engineering*, 71(3), 311–323.
- Toğrul, İ .T., Pehlivan, D., 2004.** Modelling of thin layer drying kinetics of some fruits under open-air sun drying process. *Journal of Food Engineering*, 65(3), 413–425.
- Toğrul, İ.T. and Pehlivan, D., 2003.** Modeling of thin layer drying kinetics of single apricot. *Journal of Food Engineering*, 58, 23–32.
- Toraman, Ö.Y. ve Depçi, T., 2007.** Kömürde mikrodalga uygulamaları, *Madencilik*, 46 (3), 43-53.
- URL–1, 2018.** <https://malatya.tarim.gov.tr/Menu/17/Malatya-Kayisisi> (26 Temmuz 2018).
- URL–2, 2018.** <https://www.ticaret.gov.tr> (04 Ağustos 2018).
- Uslu, M.K. ve Certel, M., 2006.** Dielektrik ısıtma ve gıda işlemede kullanımı, *Gıda Teknolojileri Elektronik Dergisi*, 3, 1-69.
- Venkatesh, M.S. and Raghavan, G.S.V., 2004.** An overview of microwave processing and dielectric properties of agri-food materials. *Biosyst Engineering*, 88 (1), 1-18. DOI: 10.1016/j.biosystemseng.2004.01.007.
- Wang, S., Tang, J., Johnson, J.A., Mitcham, E. J., Hansen, D., Hallman, G., Drake, S.R. and Wang, Y., 2003.** Dielectric properties of fruits and insect pests as related to radio frequency and microwave treatments. *Biosyst Engineering*, 85 (2), 201–212. DOI: 10.1155/2013/926468
- Won, K.H., Jonathan, C. and Kim, H.E., 2004.** Hydroxyapatite and gelatin composite foams processed via novel freeze-drying and crosslinking for use as temporary

hard tissue scaffolds. Journal of Biocemical Resaerch, 72, 136–45. DOI: 10.1002/jbm.a.30168.

**Yağcıoğlu, A., 1999.** Tarım Ürünleri Kurutma Tekniği, Ege Üniversitesi Ziraat Fakültesi Yayınları, I. Basım, No. 536, 348 s., 152-250.

**Yurdagel, Ü., Baysal, T. ve Hepçimen, A.Z., 1994.** Gıda işlemede mikrodalga enerji, II. Gıda Mühendisliği Kongresi, Gaziantep, 21-23 Eylül, 294.



## ÖZGEÇMİŞ

Mehmet ŞİMŞEK, 25/05/1983 tarihinde Malatya’da doğdu. İlköğretimini 1998 yılında Malatya ilinde Şahnahan İlköğretim Okulu’nda ve Ortaöğretimini 2000 yılında Malatya ilinde Malatya Lisesi’nde tamamladı. 19/09/2001 tarihinde başladığı lisans eğitimini 24/02/2006 tarihinde İnönü Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Makine Mühendisliği Bölümü’nde tamamladı. 2014 yılında Recep Tayyip Erdoğan Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Makine Mühendisliği Anabilim Dalı’ında başladığı Yüksek Lisans Öğrenimini halen devam ettirmektedir. 2006-2007 yıllarında İstanbul ve Bursa’da çeşitli enerji firmalarında çalıştı, 2008 yılından beri ise Malatya II. Organize Sanayi Bölgesi Müdürlüğü’nde Enerji&Doğalgaz birimi sorumlusu ve aynı zamanda bölge müdür yardımcısı pozisyonunda görev yapmaktadır. Mehmet ŞİMŞEK Orta seviyede İngilizce bilmektedir.