

**T.C.
PAMUKKALE ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ
GIDA MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI**

**LİMON VE PORTAKAL KABUKLARININ SICAK HAVA,
MİKRODALGA VE SICAK HAVA-MİKRODALGA
KOMBİNASYONU İLE KURUTULMASI**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

MAHMUT BURAK UYSAL

DENİZLİ, AĞUSTOS - 2019

**T.C.
PAMUKKALE ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ
GIDA MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI**



**LİMON VE PORTAKAL KABUKLARININ SICAK HAVA,
MİKRODALGA VE SICAK HAVA-MİKRODALGA
KOMBİNASYONU İLE KURUTULMASI**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

MAHMUT BURAK UYSAL

DENİZLİ, AĞUSTOS - 2019

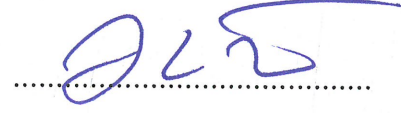
KABUL VE ONAY SAYFASI

Mahmut Burak UYSAL tarafından hazırlanan "LİMON ve PORTAKAL KABUKLARININ SICAK HAVA, MİKRODALGA ve SICAK HAVA-MİKRODALGA KOMBİNASYONU ile KURUTULMASI" adlı tez çalışmasının savunma sınavı 22.08.2019 tarihinde yapılmış olup aşağıda verilen jüri tarafından oy birliği ile Pamukkale Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Gıda Mühendisliği Anabilim Dalı Yüksek Lisans Tezi olarak kabul edilmiştir.

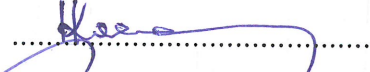
Jüri Üyeleri

İmza

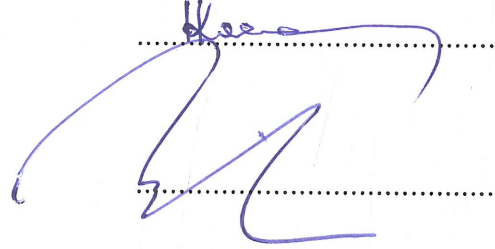
Danışman
Prof. Dr. Sami Gökhan ÖZKAL
Pamukkale Üniversitesi



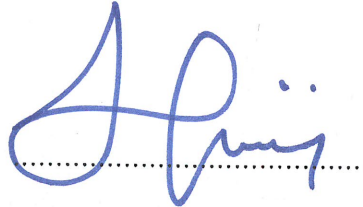
Üye
Doç. Dr. Hakan KARACA
Pamukkale Üniversitesi



Üye
Dr. Öğr. Üyesi Bilge AKDENİZ
Afyon Kocatepe Üniversitesi



Pamukkale Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Yönetim Kurulu'nun
04/09/2019 tarih ve 35/20 sayılı kararıyla onaylanmıştır.



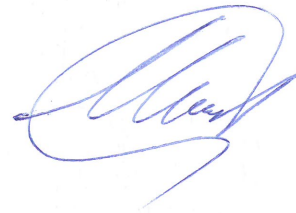
Prof. Dr. Uğur YÜCEL

Fen Bilimleri Enstitüsü Müdürü

Bu tez alışması Pamukkale Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projeleri Birimi tarafından 2018 FEBE063 nolu proje ile desteklenmiştir.

Bu tezin tasarımı, hazırlanması, yürütülmesi, araştırmalarının yapılması ve bulgularının analizlerinde bilimsel etiğe ve akademik kurallara özenle riayet edildiğini; bu çalışmanın doğrudan birincil ürünü olmayan bulguların, verilerin ve materyallerin bilimsel etiğe uygun olarak kaynak gösterildiğini ve alıntı yapılan çalışmalara atfedildiğine beyan ederim.

Mahmut Burak UYSAL



ÖZET

**LİMON VE PORTAKAL KABUKLARININ SICAK HAVA,
MİKRODALGA VE SICAK HAVA-MİKRODALGA KOMBİNASYONU
İLE KURUTULMASI
YÜKSEK LİSANS TEZİ
MAHMUT BURAK UYSAL
PAMUKKALE ÜNİVERSİTESİ FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ
GIDA MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI
(TEZ DANIŞMANI: PROF. DR. SAMİ GÖKHAN ÖZKAL)**

DENİZLİ, AĞUSTOS - 2019

Bu çalışmada, limon ve portakal kabuğu örneklerinin mikrodalga gücü, sıcak hava ve sıcak hava-mikrodalga kombinasyonu kullanılarak yapılan kurutmalara ait kuruma performansları incelenmiştir. 40, 50 ve 60°C olmak üzere üç farklı sıcaklık ile 90, 180 ve 360 W mikrodalga gücü ayrı ayrı ve kombinasyon şeklinde kullanılmıştır. Bu kurutma koşullarının örneklerin kuruma süresi ve kuruma hızına olan etkileri belirlenmiştir.

Çalışmada örneklerin kurutma kinetiğini incelemek amacıyla Page, Modifiye Page, Henderson ve Pabis, Lewis ve Logaritmik modeller kullanılmıştır. Kullanılan bu modeller arasında limon ve portakal kabuğuna ait kurutma kinetiğini en iyi ifade eden modellerin Page ve Modifiye modeller olduğu tespit edilmiştir.

Çalışmada farklı koşullarda kurutma işlemi gerçekleştirilerek antioksidan aktivite ve toplam fenolik madde içeriğindeki değişimler belirlenmiş ve farklı koşullar altında yapılan kurutmalarının bu örnekler üzerinde etkisi incelenmiştir. Farklı kurutma yöntemleri ve kurutma koşullarının limon ve portakal kabuklarının rengine olan etkisi L^* , a^* , b^* , Hue açısı, Kroma ve ΔE^* değerleri belirlenerek taze ve kuru örnekler arasındaki renk değişimleri incelenmiş, mikrodalga ve sıcak havanın renk parametreleri üzerindeki etkileri değerlendirilmiştir.

Sonuç olarak, limon ve portakal kabuklarına sıcak havayla birlikte uygulanan mikrodalga gücünün kuruma süresini kısalttığı, kuruma hızını ve etkin difüzyon katsayısını arttırdığı belirlenmiştir. Örneklerin kurutma sonrası genel olarak rengini koruduğu tespit edilirken 360 W ile yapılan tüm kurutmalarda limon ve portakal kabukları kararmıştır. Limon ve portakal kabuklarının kurutulması sonucu antioksidan aktivite değerlerinde düşüş meydana gelmiştir. Toplam fenolik madde miktarlarına bakıldığında ise kurutma işlemleri sonucu tüm örneklerde artış tespit edilmiştir.

ANAHTAR KELİMELER: Limon Kabuğu, Portakal Kabuğu, Kurutma, Mikrodalga, Sıcak Hava, Kinetik Modelleme

ABSTRACT

DRYING OF LEMON AND ORANGE PEELS BY USING HOT AIR, MICROWAVE AND HOT AIR-MICROWAVE COMBINATION

MSC THESIS

MAHMUT BURAK UYSAL

PAMUKKALE UNIVERSITY INSTITUTE OF SCIENCE

FOOD ENGINEERING

(SUPERVISOR: PROF. DR. SAMİ GÖKHAN ÖZKAL)

DENİZLİ, AUGUST 2019

In this study, drying performances of lemon and orange peel samples for drying using microwave power, hot air and their combinations were investigated. Microwave power of 90, 180 and 360 W with three different temperatures of 40, 50 and 60 °C was used separately and in combination. The effects of these drying conditions on drying time and drying rate of the samples were determined.

Page, Modified Page, Henderson and Pabis, Lewis and Logarithmic models were used to examine the drying kinetics of the samples in the study. Among these models, Page and Modified models were found to be the best expressing drying kinetics of lemon and orange peel.

In this study, changes in antioxidant activity and total phenolic content were determined by drying under different conditions and the effects of drying conditions on these samples were examined. The effects of different drying methods and drying conditions on the color of lemon and orange peels were examined by determining L*, a*, b*, Hue angle, Chroma and ΔE^* values of color changes between fresh and dried samples and the effects of microwave and hot air on color parameters were evaluated. .

As a result, it was determined that the microwave power applied to lemon and orange peels together with hot air shortened the drying time, increased the drying rate. While the samples were found to maintain their color after drying in general, lemon and orange peels were darkened in all dryings performed with 360 W. Drying of lemon and orange peels decreased antioxidant activity values. When the total amount of phenolic substances were analyzed, an increase was observed in all samples as a result of drying processes.

KEYWORDS: Lemon Peel, Orange Peel, Drying, Microwave, Hot Air, Kinetic Modelling

İÇİNDEKİLER

Sayfa

ÖZET.....	i
ABSTRACT	ii
İÇİNDEKİLER	iii
TABLO LİSTESİ	viii
SEMBOL LİSTESİ	xii
ÖNSÖZ.....	xiii
1. GİRİŞ.....	1
2. LİMON VE PORTAKAL HAKKINDA GENEL BİLGİ.....	2
3. MİKRODALGA	5
3.1 Mikrodalga Isıtma Mekanizması	5
3.1.1 Dipol Rotasyonu	5
3.1.2 İyonik Polarizasyon	6
3.2 Mikrodalga Isıtmaya Etki Eden Faktörler	6
3.2.1 Frekans	6
3.2.2 Mikrodalga Çıkış Gücü ve Isıtma Hızı	6
3.2.3 Kurutulan Gıdanın Kütlesi ve Su İçeriği	7
3.3 Mikrodalga Fırın Bileşenleri	7
3.3.1 Güç Ünitesi	7
3.3.2 Magnetron	7
3.3.3 Karıştırıcı	8
3.3.4 Aplikatör	9
3.4 Mikrodalga Isıtmanın Avantajları ve Dezavantajları	9
4. GIDALARIN KURUTULMASI	11
4.1 Kurutma Yöntemleri.....	11
4.1.1 Doğal Kurutma	11
4.1.2 Yapay Kurutma.....	11
4.2 Kurutma Aşamaları	13
4.3 Kurutma Hızını Etkileyen Faktörler	14
4.3.1 Kurutma Havaının Sıcaklığı.....	14
4.3.2 Ortamın Nem İçeriği	14
4.3.3 Kurutma Havaının Hızı	15
4.3.4 Kurutulan Gıdanın Yüzey Alanı	16
4.3.5 Kurutulan Gıdaya Özgü Özellikler	16
4.4 Gıdaların Kurutulmasında Kullanılan Kurutucular	17
4.4.1 Kabin Kurutucular	17
4.4.2 Tünel Kurutucular	17
4.4.3 Akışkan Yatak Kurutucular	17
4.4.4 Vakumlu Kurutucular	18
4.4.5 Püskürtmeli Kurutucular	18
4.4.6 Valsli Kurutucular.....	18
4.4.7 Dondurarak Kurutma	18
4.4.8 Ozmotik Kurutma	19
4.4.9 Dielektrik ve Mikrodalga Kurutma.....	19
4.4.10 İnfrared Kurutma	19

4.5	Gıdaların Sıcak Hava-Mikrodalga Kombinasyonu ile Kurutulması Üzerine Yapılmış Çalışmalar	20
5.	MATERYAL ve YÖNTEM	23
5.1	Materyal.....	23
5.2	Yöntem	23
5.2.1	Kurutma Denemelerinin Yapılması	23
5.2.2	Renk Değişiminin İncelenmesi	24
5.2.3	Toplam Fenolik Madde ve Antioksidan Aktivite Tayinleri.....	25
5.2.3.1	Toplam Fenolik Madde Tayini.....	25
5.2.3.2	Toplam Antioksidan Aktivite Tayini	26
5.3	Hesaplamalar	27
5.3.1	Nem İçeriğinin Hesaplanması.....	27
5.3.2	Kuruma Hızının Hesaplanması	27
5.3.3	Nem Oranının Hesaplanması	28
5.3.4	Etkin Difüzyon Katsayısının Hesaplanması	28
5.3.5	Kalite Parametrelerindeki Değişimlerin Hesaplanması	29
5.4	Kurutma Kinetiğine Ait Modelleme Çalışmaları	29
5.4.1	Lewis Model	29
5.4.2	Page Model	29
5.4.3	Modifiye Page Model	29
5.4.4	Henderson ve Pabis Model	30
5.4.5	Logaritmik Model	30
6.	BULGULAR VE TARTIŞMA	31
6.1	Mikrodalğanın Limon Kabuğu Örneklerinin Kurutulması Üzerindeki Etkisi	31
6.1.1	Nem İçeriği Değişimi.....	31
6.1.2	Kuruma Hızı Değişimi.....	35
6.1.3	Renk Değişimi	38
6.1.4	Toplam Fenolik Madde ve Antioksidan Aktivite Değişimi.....	43
6.1.5	Kurutma Kinetiğinin Modellenmesi	47
6.1.6	Etkin Difüzyon Katsayısı.....	63
6.2	Mikrodalğanın Portakal Kabuğu Örneklerinin Kurutulması Üzerindeki Etkisi	65
6.2.1	Nem İçeriği Değişimi.....	65
6.2.2	Kuruma Hızı Değişimi.....	68
6.2.3	Renk Değişimi	71
6.2.4	Toplam Fenolik Madde ve Antioksidan Aktivite Değişimi.....	76
6.2.5	Kurutma Kinetiğinin Modellenmesi	78
6.2.6	Etkin Difüzyon Katsayısı.....	94
6.3	Limon ve Portakal Kabuklarına Ait Sonuçların Karşılaştırılması.....	96
7.	SONUÇ VE ÖNERİLER	98
8.	KAYNAKLAR.....	100
9.	EKLER.....	106
	EK A Limon Kabuğunun Kuruma Hızına ve Kinetiğine Ait Deneysel Veriler.....	106
	EK B Portakal Kabuğunun Kuruma Hızına ve Kinetiğine Ait Deneysel Veriler.....	115
	EK C Resimler.....	124
10.	ÖZGEÇMİŞ.....	126

ŞEKİL LİSTESİ

Sayfa

Şekil 2. 1: Limon Meyvesi ve Bölümleri	4
Şekil 2. 2: Portakal Meyvesi ve Bölümleri	4
Şekil 3. 1: Mikrodalga fırın magnetronu	8
Şekil 6. 1: Mikrodalga ile kurutulan limon kabuğu örneklerinin nem içeriğinin kuruma zamanı ile değişimi	32
Şekil 6. 2: 40°C ve mikrodalga kombinasyonları ile kurutulan limon kabuğu örneklerinin nem içeriğinin kuruma zamanı ile değişimi ..	32
Şekil 6. 3: 50°C ve mikrodalga kombinasyonları ile kurutulan limon kabuğu örneklerinin nem içeriğinin kuruma zamanı ile değişimi ..	33
Şekil 6. 4: 60°C ve mikrodalga kombinasyonları ile kurutulan limon kabuğu örneklerinin nem içeriğinin kuruma zamanı ile değişimi ..	33
Şekil 6. 5: Mikrodalga ile kurutulan limon kabuğu örneklerinin kuruma hızlarının nem içeriği ile değişimi	35
Şekil 6. 6: 40°C ve mikrodalga kombinasyonları ile kurutulan limon kabuğu örneklerinin kuruma hızlarının nem içeriği ile değişimi ...	36
Şekil 6. 7: 50°C ve mikrodalga kombinasyonları ile kurutulan limon kabuğu örneklerinin kuruma hızlarının nem içeriği ile değişimi ...	36
Şekil 6. 8: 60°C ve mikrodalga kombinasyonları ile kurutulan limon kabuğu örneklerinin kuruma hızlarının nem içeriği ile değişimi ...	37
Şekil 6. 9: 90W mikrodalga gücü ile kurutulan limon kabuğu örneğine ait deneysel ve Page Model'den elde edilen MR değerlerinin karşılaştırması	48
Şekil 6. 10: 180 W mikrodalga gücü ile kurutulan limon kabuğu örneğine ait deneysel ve Page Model'den elde edilen MR değerlerinin karşılaştırması	49
Şekil 6. 11: 360 W mikrodalga gücü ile kurutulan limon kabuğu örneğine ait deneysel ve Page Model'den elde edilen MR değerlerinin karşılaştırması	50
Şekil 6. 12: 40°C sıcak hava ile kurutulan limon kabuğu örneğine ait deneysel ve Page Model'den elde edilen MR değerlerinin karşılaştırması	51
Şekil 6. 13: 50°C sıcak hava ile kurutulan limon kabuğu örneğine ait deneysel ve Page Model'den elde edilen MR değerlerinin karşılaştırması	52
Şekil 6. 14: 60°C sıcak hava ile kurutulan limon kabuğu örneğine ait deneysel ve Page Model'den elde edilen MR değerlerinin karşılaştırması	53
Şekil 6. 15: 40°C+90 W kombinasyonu ile kurutulan limon kabuğu örneğine ait deneysel ve Page Model'den elde edilen MR değerlerinin karşılaştırması	54
Şekil 6. 16: 40°C+180 W kombinasyonu ile kurutulan limon kabuğu örneğine ait deneysel ve Page Model'den elde edilen MR değerlerinin karşılaştırması	55

Şekil 6. 17: 40°C+360 W kombinasyonu ile kurutulan limon kabuğu örneğine ait deneysel ve Page Model'den elde edilen MR değerlerinin karşılaştırması	56
Şekil 6. 18: 50°C+90 W kombinasyonu ile kurutulan limon kabuğu örneğine ait deneysel ve Page Model'den elde edilen MR değerlerinin karşılaştırması	57
Şekil 6. 19: 50°C+180 W kombinasyonu ile kurutulan limon kabuğu örneğine ait deneysel ve Page Model'den elde edilen MR değerlerinin karşılaştırması	58
Şekil 6. 20: 50°C+360 W kombinasyonu ile kurutulan limon kabuğu örneğine ait deneysel ve Page Model'den elde edilen MR değerlerinin karşılaştırması	59
Şekil 6. 21: 60°C+90 W kombinasyonu ile kurutulan limon kabuğu örneğine ait deneysel ve Page Model'den elde edilen MR değerlerinin karşılaştırması	60
Şekil 6. 22: 60°C+180 W kombinasyonu ile kurutulan limon kabuğu örneğine ait deneysel ve Page Model'den elde edilen MR değerlerinin karşılaştırması	61
Şekil 6. 23: 60°C+360 W kombinasyonu ile kurutulan limon kabuğu örneğine ait deneysel ve Page Model'den elde edilen MR değerlerinin karşılaştırması	62
Şekil 6. 24: Farklı kurutma koşullarında limon kabuğu örneklerinin ln(MR) değerlerinin kuruma zamanı ile değişimi	63
Şekil 6. 25: Mikrodalga ile kurutulan portakal kabuğu örneklerinin nem içeriğinin kuruma zamanı ile değişimi	66
Şekil 6. 26: 40°C ve mikrodalga kombinasyonları ile kurutulan portakal kabuğu örneklerinin nem içeriğinin kuruma zamanı ile değişimi ..	66
Şekil 6. 27: 50°C ve mikrodalga kombinasyonları ile kurutulan portakal kabuğu örneklerinin nem içeriğinin kuruma zamanı ile değişimi ..	67
Şekil 6. 28: 60°C ve mikrodalga kombinasyonları ile kurutulan portakal kabuğu örneklerinin nem içeriğinin kuruma zamanı ile değişimi ..	67
Şekil 6. 29: Mikrodalga ile kurutulan portakal kabuğu örneklerinin kuruma hızlarının nem içeriği ile değişimi	69
Şekil 6. 30: 40°C ve mikrodalga kombinasyonları ile kurutulan portakal kabuğu örneklerinin kuruma hızlarının nem içeriği ile değişimi ...	70
Şekil 6. 31: 50°C ve mikrodalga kombinasyonları ile kurutulan portakal kabuğu örneklerinin kuruma hızlarının nem içeriği ile değişimi ...	70
Şekil 6. 32: 60°C ve mikrodalga kombinasyonları ile kurutulan portakal kabuğu örneklerinin kuruma hızlarının nem içeriği ile değişimi ...	71
Şekil 6. 33: 90 W mikrodalga gücü ile kurutulan portakal kabuğu örneğine ait deneysel ve Page Model'den elde edilen MR değerlerinin karşılaştırması	79
Şekil 6. 34: 180 W mikrodalga gücü ile kurutulan portakal kabuğu örneğine ait deneysel ve Page Model'den elde edilen MR değerlerinin karşılaştırması	80
Şekil 6. 35: 360 W mikrodalga gücü ile kurutulan portakal kabuğu örneğine ait deneysel ve Page Model'den elde edilen MR değerlerinin karşılaştırması	81

Şekil 6. 36: 40°C sıcak hava ile kurutulan portakal kabuğu örneğine ait deneysel ve Page Model'den elde edilen MR değerlerinin karşılaştırması.....	82
Şekil 6. 37: 50°C sıcak hava ile kurutulan portakal kabuğu örneğine ait deneysel ve Page Model'den elde edilen MR değerlerinin karşılaştırması.....	83
Şekil 6. 38: 60°C sıcak hava ile kurutulan portakal kabuğu örneğine ait deneysel ve Page Model'den elde edilen MR değerlerinin karşılaştırması.....	84
Şekil 6. 39: 40°C+90 W kombinasyonu ile kurutulan portakal kabuğu örneğine ait deneysel ve Page Model'den elde edilen MR değerlerinin karşılaştırması	85
Şekil 6. 40: 6. 40: 40°C+180 W kombinasyonu ile kurutulan portakal kabuğu örneğine ait deneysel ve Page Model'den elde edilen MR değerlerinin karşılaştırması	86
Şekil 6. 41: 6. 41: 40°C+360 W kombinasyonu ile kurutulan portakal kabuğu örneğine ait deneysel ve Page Model'den elde edilen MR değerlerinin karşılaştırması	87
Şekil 6. 42: 50°C+90 W kombinasyonu ile kurutulan portakal kabuğu örneğine ait deneysel ve Page Model'den elde edilen MR değerlerinin karşılaştırması	88
Şekil 6. 43: 50°C+180 W kombinasyonu ile kurutulan portakal kabuğu örneğine ait deneysel ve Page Model'den elde edilen MR değerlerinin karşılaştırması	89
Şekil 6. 44: 50°C+360 W kombinasyonu ile kurutulan portakal kabuğu örneğine ait deneysel ve Page Model'den elde edilen MR değerlerinin karşılaştırması	90
Şekil 6. 45: 60°C+90 W kombinasyonu ile kurutulan portakal kabuğu örneğine ait deneysel ve Page Model'den elde edilen MR değerlerinin karşılaştırması	91
Şekil 6. 46: 60°C+180 W kombinasyonu ile kurutulan portakal kabuğu örneğine ait deneysel ve Page Model'den elde edilen MR değerlerinin karşılaştırması	92
Şekil 6. 47: 60°C+360 W kombinasyonu ile kurutulan portakal kabuğu örneğine ait deneysel ve Page Model'den elde edilen MR değerlerinin karşılaştırması	93
Şekil 6. 48: Farklı kurutma koşullarında portakal kabuğu örneklerinin ln(MR) değerlerinin kuruma zamanı ile değişimi	94
Şekil C. 1: Kurutulmuş Limon Kabukları	124
Şekil C. 2: Kurutulmuş Portakal Kabukları	125

TABLO LİSTESİ

Sayfa

Tablo 2. 1: Ülkemizde son 5 yılda üretilen toplam limon miktarları.....	2
Tablo 2. 2: Ülkemizde son 5 yılda üretilen toplam portakal miktarları.....	2
Tablo 2. 3: 100 g taze limon kabuğunun bileşimi.....	3
Tablo 2. 4: 100 g taze portakal kabuğunun bileşimi.....	3
Tablo 6. 1: Limon kabuğu örneklerinin 0,2 g su/g kuru madde nem içeriğine gelme süreleri.....	34
Tablo 6. 2: Taze ve kurutulmuş limon kabuğu örneklerine ait L* değerleri ve yüzde değişimleri.....	38
Tablo 6. 3: Taze ve kurutulmuş limon kabuğu örneklerine ait a* değerleri ve yüzde değişimleri.....	39
Tablo 6. 4: Taze ve kurutulmuş limon kabuğu örneklerine ait b* değerleri ve yüzde değişimleri.....	40
Tablo 6. 5: Taze ve kurutulmuş limon kabuğu örneklerine ait Hue açısı, Kroma değerleri ve yüzde değişimleri ile ΔE^* değerleri.....	42
Tablo 6. 6: Taze ve farklı kurutma koşullarında kurutulan limon kabuğu örneklerine ait antioksidan aktivite ve toplam fenolik madde miktarları.....	44
Tablo 6. 7: 90 W mikrodalga gücü ile kurutulan limon kabuğu örneği için model katsayıları ve istatistiksel parametreler.....	48
Tablo 6. 8: 180 W mikrodalga gücü ile kurutulan limon kabuğu örneği için model katsayıları ve istatistiksel parametreler.....	49
Tablo 6. 9: 360 W mikrodalga gücü ile kurutulan limon kabuğu örneği için model katsayıları ve istatistiksel parametreler.....	50
Tablo 6. 10: 40°C sıcak hava ile kurutulan limon kabuğu örnekleri için model katsayıları ve istatistiksel parametreler.....	51
Tablo 6. 11: 50°C sıcak hava ile kurutulan limon kabuğu örnekleri için model katsayıları ve istatistiksel parametreler.....	52
Tablo 6. 12: 60°C sıcak hava ile kurutulan limon kabuğu örnekleri için model katsayıları ve istatistiksel parametreler.....	53
Tablo 6. 13: 40°C+90 W kombinasyonu ile kurutulan limon kabuğu örnekleri için model katsayıları ve istatistiksel parametreler.....	54
Tablo 6. 14: 40°C+180 W kombinasyonu ile kurutulan limon kabuğu örnekleri için model katsayıları ve istatistiksel parametreler.....	55
Tablo 6. 15: 40°C+360 W kombinasyonu ile kurutulan limon kabuğu örnekleri için model katsayıları ve istatistiksel parametreler.....	56
Tablo 6. 16: 50°C+90 W kombinasyonu ile kurutulan limon kabuğu örnekleri için model katsayıları ve istatistiksel parametreler.....	57
Tablo 6. 17: 50°C+180 W kombinasyonu ile kurutulan limon kabuğu örnekleri için model katsayıları ve istatistiksel parametreler.....	58
Tablo 6. 18: 50°C+360 W kombinasyonu ile kurutulan limon kabuğu örnekleri için model katsayıları ve istatistiksel parametreler.....	59
Tablo 6. 19: 60°C+90 W kombinasyonu ile kurutulan limon kabuğu örnekleri için model katsayıları ve istatistiksel parametreler.....	60
Tablo 6. 20: 60°C+180 W kombinasyonu ile kurutulan limon kabuğu örnekleri için model katsayıları ve istatistiksel parametreler.....	61

Tablo 6. 21: 60°C+360 W kombinasyonu ile kurutulan limon kabuğu örnekleri için model katsayıları ve istatistiksel parametreler.....	62
Tablo 6. 22: Farklı kurutma koşullarında limon kabuğu örneklerine ait etkin difüzyon katsayısı değerleri	64
Tablo 6. 23: Portakal kabuğu örneklerinin 0,2 g su/g kuru madde nem içeriğine gelme süreleri	68
Tablo 6. 24: Taze ve kurutulmuş portakal kabuğu örneklerine ait L* değerleri ve yüzde değişimleri	72
Tablo 6. 25: Taze ve kurutulmuş portakal kabuğu örneklerine ait a* değerleri ve yüzde değişimleri	73
Tablo 6. 26: Taze ve kurutulmuş portakal kabuğu örneklerine ait b* değerleri ve yüzde değişimleri	74
Tablo 6. 27: Taze ve kurutulmuş portakal kabuğu örneklerine ait Kroma, Hue açısı değerleri ve yüzde değişimleri ile ΔE^* değerleri	75
Tablo 6. 28: Taze ve farklı kurutma koşullarında kurutulan portakal kabuğu örneklerine ait antioksidan ve toplam fenolik madde miktarları....	77
Tablo 6. 29: 90 W mikrodalga gücü ile kurutulan portakal kabuğu örneği için model katsayıları ve istatistiksel parametreler	79
Tablo 6. 30: 180 W mikrodalga gücü ile kurutulan portakal kabuğu örneği için model katsayıları ve istatistiksel parametreler	80
Tablo 6. 31: 360 W mikrodalga gücü ile kurutulan portakal kabuğu örneği için model katsayıları ve istatistiksel parametreler	81
Tablo 6. 32: 40°C sıcak hava ile kurutulan portakal kabuğu örnekleri için model katsayıları ve istatistiksel parametreler	82
Tablo 6. 33: 50°C sıcak hava ile kurutulan portakal kabuğu örnekleri için model katsayıları ve istatistiksel parametreler	83
Tablo 6. 34: 60°C sıcak hava ile kurutulan portakal kabuğu örnekleri için model katsayıları ve istatistiksel parametreler	84
Tablo 6. 35: 40°C+90 W kombinasyonu ile kurutulan portakal kabuğu örnekleri için model katsayıları ve istatistiksel parametreler.....	85
Tablo 6. 36: 40°C+180 W kombinasyonu ile kurutulan portakal kabuğu örnekleri için model katsayıları ve istatistiksel parametreler.....	86
Tablo 6. 37: 40°C+360 W kombinasyonu ile kurutulan portakal kabuğu örnekleri için model katsayıları ve istatistiksel parametreler.....	87
Tablo 6. 38: 50°C+90 W kombinasyonu ile kurutulan portakal kabuğu örnekleri için model katsayıları ve istatistiksel parametreler.....	88
Tablo 6. 39: 50°C+180 W kombinasyonu ile kurutulan portakal kabuğu örnekleri için model katsayıları ve istatistiksel parametreler.....	89
Tablo 6. 40: 50°C+360 W kombinasyonu ile kurutulan portakal kabuğu örnekleri için model katsayıları ve istatistiksel parametreler.....	90
Tablo 6. 41: 60°C+90 W kombinasyonu ile kurutulan portakal kabuğu örnekleri için model katsayıları ve istatistiksel parametreler.....	91
Tablo 6. 42: 60°C+180 W kombinasyonu ile kurutulan portakal kabuğu örnekleri için model katsayıları ve istatistiksel parametreler.....	92
Tablo 6. 43: 60°C+360 W kombinasyonu ile kurutulan portakal kabuğu örnekleri için model katsayıları ve istatistiksel parametreler.....	93
Tablo 6. 44: Farklı kurutma koşullarında portakal kabuğu örneklerine ait etkin difüzyon katsayısı değerleri	95
Tablo A. 1: 90 W mikrodalga gücü ile kurutulan limon kabuğu örneğine ait kurutma verileri	106

Tablo A. 2: 180 W mikrodalga gücü ile kurutulan limon kabuğu örneğine ait kurutma verileri	107
Tablo A. 3: 360 W mikrodalga gücü ile kurutulan limon kabuğu örneğine ait kurutma verileri	107
Tablo A. 4: 40°C sıcak hava ile kurutulan limon kabuğu örneğine ait kurutma verileri	108
Tablo A. 5: 50°C sıcak hava ile kurutulan limon kabuğu örneğine ait kurutma verileri	109
Tablo A. 6: 60°C sıcak hava ile kurutulan limon kabuğu örneğine ait kurutma verileri	109
Tablo A. 7: 40°C+90 W kombinasyonu ile kurutulan limon kabuğu örneğine ait kurutma verileri	110
Tablo A. 8: 40°C+180 W kombinasyonu ile kurutulan limon kabuğu örneğine ait kurutma verileri	110
Tablo A. 9: 40°C+360 W kombinasyonu ile kurutulan limon kabuğu örneğine ait kurutma verileri	111
Tablo A. 10: 50°C+90 W kombinasyonu ile kurutulan limon kabuğu örneğine ait kurutma verileri	111
Tablo A. 11: 50°C+180 W kombinasyonu ile kurutulan limon kabuğu örneğine ait kurutma verileri	112
Tablo A. 12: 50°C+360 W kombinasyonu ile kurutulan limon kabuğu örneğine ait kurutma verileri	112
Tablo A. 13: 60°C+90 W kombinasyonu ile kurutulan limon kabuğu örneğine ait kurutma verileri	113
Tablo A. 14: 60°C+180 W kombinasyonu ile kurutulan limon kabuğu örneğine ait kurutma verileri	113
Tablo A. 15: 60°C+360 W kombinasyonu ile kurutulan limon kabuğu örneğine ait kurutma verileri	114
Tablo B. 1: 90 W mikrodalga gücü ile kurutulan portakal kabuğu örneğine ait kurutma verileri	115
Tablo B. 2: 180 W mikrodalga gücü ile kurutulan portakal kabuğu örneğine ait kurutma verileri	116
Tablo B. 3: 360 W mikrodalga gücü ile kurutulan portakal kabuğu örneğine ait kurutma verileri	116
Tablo B. 4: 40°C sıcak hava ile kurutulan portakal kabuğu örneğine ait kurutma verileri	117
Tablo B. 5: 50°C sıcak hava ile kurutulan portakal kabuğu örneğine ait kurutma verileri	118
Tablo B. 6: 60°C sıcak hava ile kurutulan portakal kabuğu örneğine ait kurutma verileri	119
Tablo B. 7: 40°C+90 W kombinasyonu ile kurutulan portakal kabuğu örneğine ait kurutma verileri	119
Tablo B. 8: 40°C+180 W kombinasyonu ile kurutulan portakal kabuğu örneğine ait kurutma verileri	120
Tablo B. 9: 40°C+360 W kombinasyonu ile kurutulan portakal kabuğu örneğine ait kurutma verileri	120
Tablo B. 10: 50°C+90 W kombinasyonu ile kurutulan portakal kabuğu örneğine ait kurutma verileri	121
Tablo B. 11: 50°C+180 W kombinasyonu ile kurutulan portakal kabuğu örneğine ait kurutma verileri	121

Tablo B. 12: 50°C+360 W kombinasyonu ile kurutulan portakal kabuğu örneğine ait kurutma verileri	122
Tablo B. 13: 60°C+90 W kombinasyonu ile kurutulan portakal kabuğu örneğine ait kurutma verileri	122
Tablo B. 14 60°C+180 W kombinasyonu ile kurutulan portakal kabuğu örneğine ait kurutma verileri	123
Tablo B. 15: 60°C+360 W kombinasyonu ile kurutulan portakal kabuğu örneğine ait kurutma verileri	123

SEMBOL LİSTESİ

D_{eff}	:	Etkin difüzyon katsayısı
GHz	:	Gigahertz
k	:	Reaksiyon hız sabiti
L*, a*, b*	:	Renk uzayı koordinatları
KM	:	Örneğin kuru madde miktarı
m	:	Örnek ağırlığı
g	:	Gram
M₀	:	Başlangıçtaki nem içeriği
M_e	:	Denge anındaki nem içeriği
M_{t+dt}	:	t+dt anındaki nem içeriği
MHz	:	Megahertz
MR	:	Nem oranı
M_t	:	Herhangi bir t anındaki nem içeriği
RMSE	:	Hataların karelerinin karekök ortalaması
t	:	Kuruma zamanı
TÜİK	:	Türkiye İstatistik Kurumu
USDA	:	Amerika Birleşik Devletleri Tarım Bakanlığı
W	:	Watt
ΔE*	:	Toplam renk değişimi
χ²	:	Ki-kare

ÖNSÖZ

Çalışmamın ilk anından itibaren tez konusunun belirlenmesi, tezin planlanması ile uygulamalar boyunca bilgi ve tecrübeleriyle bana her daim yardımcı olan, yol gösteren saygıdeğer hocam sayın Prof. Dr. Sami Gökhan ÖZKAL'a teşekkürlerimi sunarım. Ayrıca tezime yaptıkları katkılardan dolayı Doç. Dr. Hakan KARACA ve Dr. Öğr. Üyesi Bilge AKDENİZ hocalarıma teşekkür ederim.

Çalışmalarım sırasında bana her türlü desteği sağlayan, her zaman yardım eden değerli akıl hocalarım Arş. Gör. Özlem ZAMBAK ve Öğr. Gör. Sanem TÜFEKÇİ'ye teşekkür ediyorum. Tez çalışmam için tüm olanakları sağlayan Pamukkale Üniversitesi Gıda Mühendisliği Bölümü Başkanlığı'na ve değerli fikirlerini benimle paylaşan tüm saygıdeğer hocalarıma teşekkürlerimi sunuyorum.

Tez çalışmalarım esnasında bana her daim yardımcı olan sevgili Buse GÜLER, Yağmur SOLA ve AYNES AŞ'deki değerli iş arkadaşlarıma desteklerinden dolayı teşekkür ederim.

Hayatım boyunca benden maddi ve manevi desteğini hiç esirgemeyen ve her zaman yanımda olan aileme sonsuz teşekkürlerimi sunuyorum.

1. GİRİŞ

Gıdaların muhafazası için birçok yöntem bulunmaktadır. Bu yöntemlerdeki temel amaç mikroorganizma ve enzim aktivitesinin durdurulması ya da yavaşlatılmasıdır. Gıda muhafaza yöntemleri arasında kurutmanın ayrı bir yeri bulunmaktadır. Kurutma işlemi gıdada bozulma etmeni olan suyun uzaklaştırılmasıyla birlikte gıdanın raf ömrünün artmasını sağlamaktadır. Kurutma yöntemi ile ürüne sadece dayanıklılık kazandırmakla kalmayıp ayrıca ürünün kuru madde oranında artış ve besin değerlerinde zenginleşme gibi avantajlarıyla diğer yöntemlere göre daha fazla üstünlük sağlamaktadır. Kurutma diğer muhafaza yöntemlerine göre daha düşük maliyetli olmasıyla birlikte ürünün uzun kullanım ömrü açısından insanoğlu tarafından yüzyıllardır oldukça çok tercih edilen bir saklama yöntemidir.

Geleneksel kurutma yöntemlerinin yanı sıra teknolojinin de gelişmesiyle birlikte birçok yeni kurutma yöntemi bulunmuştur. Bunların içerisinde önemli bir yere sahip olan mikrodalga kurutma, mikrodalga gücü ile meydana gelen ısının gıdanın içerisine doğrudan etki etmesi sonucu geleneksel kurutma yöntemlerine göre çok daha hızlı bir kurutma gerçekleştirebilmektedir.

Yapılan literatür araştırmaları sonucu mikrodalğanın gıdaların kurutulmasında yaygın bir şekilde kullanılmaya başlandığı belirlenmiştir. Ayrıca incelenen çalışmalar içerisinde mikrodalğanın sıcak hava ile kurutma ve diğer kurutma yöntemlerinde ön işlem olarak ya da kombinasyon şeklinde kullanılmasına yönelik çalışmaların olduğu da görülmektedir. Bu da gösteriyor ki mikrodalğanın kurutma teknolojisindeki önemi gitgide artmaktadır. Fakat limon ve portakal kabukları için bu alanda yeterli çalışmanın yapılmadığı görülmüştür. Bu nedenle bu çalışmada mikrodalğanın sıcak hava ile kombinasyon şeklinde kullanımının limon ve portakal kabuklarının kuruma kinetiğine ve bazı kalite özellikleri üzerine etkisi incelenmiştir.

2. LİMON VE PORTAKAL HAKKINDA GENEL BİLGİ

Turunçgiller *Rutaceae* familyasına ait olmakla birlikte birçok türü bulunmaktadır. Limon, portakal ve mandalina başta olmak üzere turunçgiller ülkemizde yaygın olarak yetiştirilmektedir (Cesur 2014).

Ülkemizde yetiştirilen turunçgillerin % 48'i portakal, % 24'ü mandalina, % 21'i limon, % 5'i greylift ve kalan kısım ise diğer turunçgil çeşitleridir (Saraçoğlu 2017). Ülkemizde son 5 yılda üretilen limon ve portakal miktarları Tablo 2.1 ve 2.2'de verilmiştir.

Tablo 2. 1: Ülkemizde son 5 yılda üretilen toplam limon miktarları (TÜİK 2019)

Yıl	Üretim Miktarı (ton)
2014	725.230
2015	750.550
2016	850.600
2017	1.007.133
2018	1.100.000

Tablo 2. 2: Ülkemizde son 5 yılda üretilen toplam portakal miktarları (TÜİK 2019)

Yıl	Üretim Miktarı (ton)
2014	1.779.675
2015	1.816.798
2016	1.185.000
2017	1.950.000
2018	1.900.000

Turunçgiller beslenme yönünden önemli bileşikler içerir. Bunlar C vitamini, pektin, kalsiyum, diyet lifi, fenolik bileşikler gibi bileşiklerdir. Bu bileşikler sağlık açısından olumlu etkilere sahiptir (Cesur 2014).

Turunçgillerin yenilen kısmının dışında, atık kısım olarak düşünülen meyvenin çekirdeği ve kabuğu halk arasında çeşitli hastalıkların tedavisinde (diyabet, yüksek tansiyon gibi.) kullanılmaktadır. Ayrıca turunçgil kabuklarının toplam fenolik madde, mineral madde ve vitamin içeriği bakımından meyvenin kendisinden ve suyundan daha zengin olduğu belirlenmiştir (Güzel ve diğ. 2017).

Taze limon kabuğu ve portakal kabuğu besin içerikleri Tablo 2.3 ve 2.4'te verilmiştir.

Tablo 2. 3: 100 g taze limon kabuğunun bileşimi (USDA 2019)

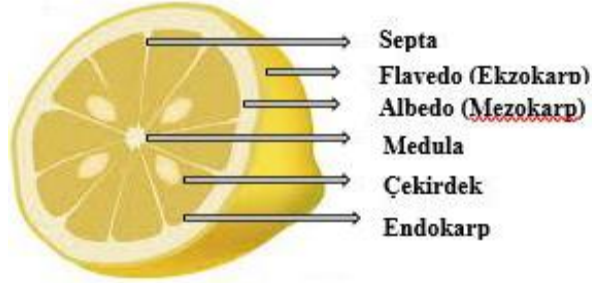
Besin İçeriği	Miktar	Besin İçeriği	Miktar
Su	81,60 g	Karbonhidrat	16,00 g
Protein	1,50 g	-Lif	10,60 g
Yağ	0,30 g	-Şeker	4,17 g
Kül	0,60 g	Sodyum	6,00 mg
Kalsiyum	134,00 mg	Potasyum	160,00 mg
Demir	0,80 mg	Askorbik Asit	129,00 mg
Fosfor	12,00 mg	Çinko	0,25 mg

Tablo 2. 4: 100 g taze portakal kabuğunun bileşimi (USDA 2019)

Besin İçeriği	Miktar	Besin İçeriği	Miktar
Su	72,5 g	Karbonhidrat	25,00 g
Protein	1,50 g	-Lif	10,60 g
Yağ	0,20 g	Magnezyum	22,00 mg
Kül	0,80 g	Sodyum	3,00 mg
Kalsiyum	161,00 mg	Potasyum	212,00 mg
Demir	0,80 mg	Askorbik Asit	136,00 mg
Fosfor	21,00 mg	Çinko	0,25 mg

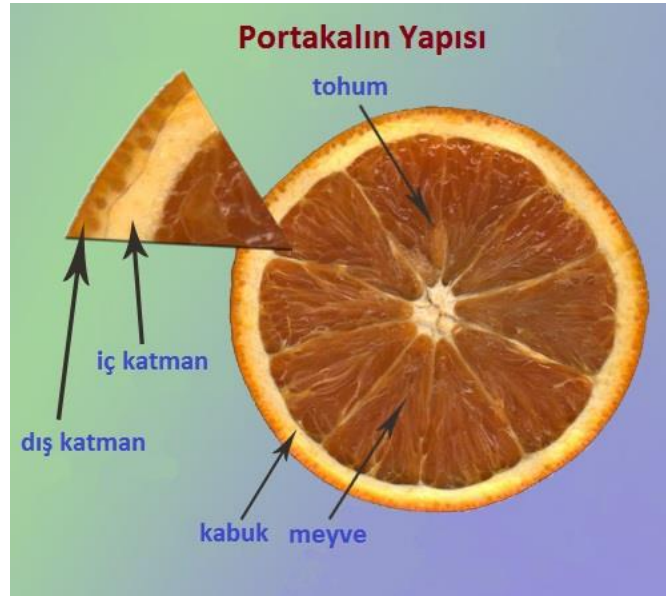
Limon ve portakal kabukları üzerine çalışmalar yapan Gorinstein ve diğ. (2001) meyve kabuklarında bulunan toplam fenolik madde miktarının meyvenin kendisinde bulunandan oldukça fazla olduğunu tespit etmiştir.

Turunçgil kabukları 2 tane tabakadan meydana gelmektedir. Bunlar flavedo ve albedodur. Flavedo en dışta yer alır ve ince bir yapıya sahiptir. Bu tabakanın rengi sarımtırak ile portakal kırmızısı arasında değişir (Cesur 2014).



Şekil 2. 1: Limon Meyvesi ve Bölümleri (Tekgül 2019)

Albedo flavedonun altında yer alır. Beyaz bir renkteki bu katman kalın bir keçe benzeri bir yapıya sahiptir. Bu kısımda besin maddelerini ve suyu taşımakla görevli damarlar bulunmaktadır. Turunçgil kabuklarından pektin elde edilmesi pektince zengin olan albedodan sağlanmaktadır (Turhan ve diğ. 2006).



Şekil 2. 2: Portakal Meyvesi ve Bölümleri (Tamer 2017)

3. MİKRODALGA

Mikrodalgalar dalga boyu 1mm-1m ve frekansları 300 MHz-300GHz arasında değişen elektromanyetik dalgalardır. Elektromanyetik dalgalar elektrik alan ve manyetik alan olmak üzere iki bileşenden meydana gelir. Elektrik alan ve manyetik alan birbirlerine diktir. Mikrodalgalar elektromanyetik spektrumda kızılötesi ışınlar ile radyo dalgaları arasında bulunur. Mikrodalga ışınlarının etkisiyle birlikte materyaller mikrodalga enerjisini absorbe ederek kinetik enerjilerini arttırmış olurlar. Böylelikle aktivasyon enerjisi değeri sağlanmış olup reaksiyon hızla ilerlemeye devam eder. Mikrodalga enerjisi gıda alanında ısıtma, kurutma, pişirme, buz çözme gibi işlemler için sıklıkla kullanılmaktadır (Heybeli 2017).

3.1 Mikrodalga Isıtma Mekanizması

Mikrodalga enerjisinin ısıya dönüşmesini açıklayan 2 önemli mekanizma bulunmaktadır. Bunlar dipol rotasyonu ve iyonik polarizasyondur.

3.1.1 Dipol Rotasyonu

Maddenin polarlığı, mikrodalga enerjisinin ısıya dönüşmesini doğrudan etkilemektedir. Suyun polar bir molekül olması nedeniyle, yapısında fazlaca su bulunduran meyve ve sebze gibi ürünlerin içindeki su mikrodalganın emilmesinde etkilidir. Polar bir molekülde (+) ve (-) yükler rastgele dağılırken, bir elektrik alan olduğu takdirde yükler bu alan içerisinde dizilirler. Moleküller elektromanyetik dalganın yanlarından geçmesiyle birlikte aşağı ve yukarı doğru salınım yapan bir elektrik alanın etkisinde kalırlar. Bu elektrik alan polar molekülün atomları arasındaki bağın uzunluğu boyunca salınım yaparsa, atomlar bağ boyunca itme ve çekme eğilimi gösterirler. Bununla birlikte bir titreşim meydana gelir. Polar moleküller elektrik alanın polaritesinin hızla değişmesine ayak uydurmak için dönme hareketi yaparlar. Böylelikle birbirleriyle ve ortamda bulunan diğer moleküllerle sürtünme gerçekleştirirler. Bu sürtünmelerden dolayı da ısı açığa çıkar (Özsoy 2015).

3.1.2 İyonik Polarizasyon

Polar olmayan maddelerin mikrodalga yoluyla ısıtılması iyonik polarizasyonla meydana gelmektedir. Madde içerisindeki iyonik bileşenler sahip oldukları elektriksel yükten dolayı, uygulanan elektrik alanın polaritesine ters yönde hızlanarak hareketlenmektedir. Hareket eden iyonlar arasında gerçekleşen çarpışmalar kinetik enerjiyi ısı enerjisine dönüştürmektedir (Çelen 2010).

3.2 Mikrodalga Isıtmaya Etki Eden Faktörler

3.2.1 Frekans

300 MHz ile 300 GHz arasında değişen mikrodalga frekansları Uluslararası Telekomünikasyon Birliği tarafından bilimsel, endüstriyel ve tıp uygulamaları olarak 3 sınıfa ayrılmıştır. 915 MHz ve 2450 MHz mikrodalga frekansları ısıtma uygulamalarında en çok kullanılan frekanslardır. Bu frekanslardan 915 MHz endüstriyel uygulamalarda, 2450 MHz frekansı ise evlerdeki ticari fırınlarda kullanılmaktadır (Kuş 2016).

3.2.2 Mikrodalga Çıkış Gücü ve Isıtma Hızı

Endüstriyel mikrodalga sistemlerinin birçoğu 5-100 kW arasındaki mikrodalga çıkış gücü ile çalışmaktadır. Bu güç akışının verilen kütle için yüksek olması, sıcaklığın hızlı bir şekilde artışına sebep olur ve pişirme, fırınlama ve gıdalarda kullanılan diğer işlemlerde başlangıçta yükselen ısının etkisi nedeniyle bazı reaksiyonların hızlı gerçekleşmesi sonucu oldukça kompleks fizikokimyasal olaylar ortaya çıkabilmektedir. Bu olaylardan dolayı da kurutulan gıdanın tadında kötüleşme, renginde değişim ve kalitenin düşmesine neden olmaktadır (Dadalı 2007).

Isıtmanın hızlı olmasından dolayı oluşan diğer bir problem ise homojen olmayan sıcaklık dağılımıdır. Bunun sebebi hızlı ısınan kısımlardan daha yavaş

ısınma olan kısımlara ısı transferinin yavaş bir şekilde gerçekleşmesi ya da ısıtılan materyalin şeklidir (Dadalı 2007).

3.2.3 Kurutulan Gıdanın Kütlesi ve Su İçeriği

Materyal kütlesi arttıkça, uygulanan mikrodalga gücünün sabit tutulmasıyla yapılan ısıtmada kuruma süresi artmaktadır. Ayrıca ısıtma etkinliği de kütle artışıyla birlikte artmaktadır.

Mikrodalğanın absorbe edilmesi için gıdada bulunan suyun önemli bir yeri vardır. Yüksek seviyedeki su içeriği, gıdanın dielektrik kayıp faktörünün yüksek olması daha iyi ısınma sağlamaktadır. Düşük su içeriğine sahip gıdalar da mikrodalga ile iyi ısıtılabilirler. Bu işlem spesifik ısıdaki azalma ile meydana gelmektedir. Materyalin kurummasıyla birlikte daha nemli bölgelerin mikrodalga enerjisini absorbe etmesi daha kolay hale gelmektedir (Çelen 2010).

3.3 Mikrodalga Fırın Bileşenleri

3.3.1 Güç Ünitesi

Güç ünitesi; şebekeden alınan elektrik enerjisini kullanarak magnetronun çalışması için gereken voltajı üretmek amacıyla görev yapmaktadır. Magnetronlar genel olarak birkaç bin voltluk potansiyel farklarında çalışırlar (Dadalı 2007).

3.3.2 Magnetron

60 Hz'lik bir elektrik gerilimi 2450 MHz frekanstaki mikrodalga enerjisine dönüştüren elektronik bir tüptür. Ev tipi ve endüstriyel mikrodalga fırınların çalışmasında enerji kaynağı olarak kullanılan en yaygın cihaz magnetrondur (Dadalı 2007).

Mikrodalga enerjisinin üretilmesinden sonra bu dalganın fırına iletilmesi ve ardından ısıtılacak materyale verilmesi gerekmektedir. Bunu sağlamak için iki adet iletim cihazı kullanılmaktadır. Bunlar iletişim hatları ve dalga kılavuzlarıdır. Düşük frekansta uygulanmakta olan iletişim hatları iletişimde kullanılmaktadır. Yüksek güç kullanıldığı zamanlarda akım yoğunluğu da yüksek olduğu için iletim kayıpları meydana gelmektedir. Bunu engellemek amacıyla kesit alanlarının daha büyük olan dalga kılavuzları kullanılmaktadır. Bu dalga kılavuzlarında mikrodalgaları yaymak için yüksek yansıtma özellikli duvarlar bulunmaktadır (Çalışkan 2002).



Şekil 3. 1: Mikrodalga fırın magnetronu (Kuş 2016)

3.3.3 Karıştırıcı

Karıştırıcının amacı aplikatöre gönderilen mikrodalga enerjisini dağıtmaktır. Durağan haldeki dalga şablonlarını bozarak aplikatörde daha düzgün bir enerji dağılımı sağlamaktadırlar. Karıştırıcılar genellikle fan benzeri bir şekle sahiptirler (Çalışkan 2002).

3.3.4 Aplikatör

Fırın oyuğu olarak da adlandırılan aplikatörler elektromanyetik enerjiyi dalga kılavuzundan ısıtılacak materyale iletirler. Aplikatörün büyüklüğü ve biçimi işlem yapılan frekans, işlem yapılan maddenin şekli ve işlem tipi (sürekli, yığın) gibi özelliklere bağlıdır (Dadalı 2007).

3.4 Mikrodalga Isıtmanın Avantajları ve Dezavantajları

Mikrodalga ısıtmanın avantajları şu şekildedir:

- Geleneksel yöntemlere göre daha hızlıdır. Mikrodalga ısıtmanın moleküler düzeyde başlaması en önemli özelliğidir. Böylelikle zamandan ve enerjiden tasarruf sağlanmaktadır (Karaaslan ve diğ. 2008).
- Gıdaların büzülmesi ve kayıplar daha azdır.
- Isıtılacak maddenin bulunduğu ortamdaki hava ve kurutma fırını ısınmadığından ısıtma daha etkindir (Özsoy 2015).
- Mikrodalga diğer ısıtma yöntemleri ile birlikte kombinasyon şeklinde kullanılabilir.
- Mikrodalga ısıtma materyallerin iç kısmından ısıtma sağladığı için, materyaldeki sıcaklık dağılımı düzgün bir şekilde gerçekleşmiştir.
- Mikrodalga ısıtmada enerjinin ısıya dönüşmesi oldukça yüksek verime sahiptir (Çelen 2010).

Mikrodalga ısıtmanın avantajlarının yanısıra bazı dezavantajları da vardır.

Bunlar:

- Geleneksel yöntemlere göre masraflı bir yöntemdir.
- Materyalde şekil ve boyuta bağlı olarak düzensiz pişirmeye neden olabilir (Kuş 2016).
- İnsan sağlığı göz önünde bulundurulduğu için radyasyon sızıntısı tehlikesi nedeniyle tamamen kapalı bir sistem oluşturulmalıdır.

- Geleneksel fırınlara göre daha farklı ve fazla emniyet tedbirleri gerektirir.
- Magnetronlar geleneksel ısıtma yöntemlerinde kullanılan elemanlara göre daha pahalıdır, bu nedenle sanayi alanında kullanımını çok hızlı gerçekleştirmemektedir (Dadalı 2007).

4. GIDALARIN KURUTULMASI

4.1 Kurutma Yöntemleri

4.1.1 Doğal Kurutma

Güneş enerjisinden faydalanılarak üründeki su içeriğinin azaltılması işlemine “doğal kurutma” işlemi denilmektedir. Doğal kurutma bilinen en geleneksel ve en düşük maliyetli kurutma yöntemidir. Gıdalar doğada kendiliğinden kuruyarak dayanıklılık kazanabilmektedir. Örneğin tarlada yetişen çeşitli tahıl ve baklagil türü ürünler güneşten aldıkları ısı ile kuruyarak dayanıklılık kazanabilmektedir. Ancak bu şekilde yapılan kurutma her ürün için doğru değildir. Çünkü güneşte kuruma bu ürünlerin uzun süreler boyunca saklanmasına olanak sağlarken diğer ürünler için dayanıklılığın sağlanması için yeterli değildir. Ayrıca her bölge güneşte kurutmak için yeterli iklim koşullarına sahip olmamaktadır. Güneşte kurutulan ürünler için toz, kir, haşere, böcek gibi tehlikeler de söz konusu olmaktadır. Doğal kurutma ucuz bir yöntem olmasına karşın, kurutulacak ürünler için ciddi sorunları da beraberinde getirdiği görülmüştür. Bu sebeple teknolojinin gelişmesiyle birlikte birçok kurutma yöntemi geliştirilmiştir (Cemeroğlu 2004).

4.1.2 Yapay Kurutma

Kurutma işleminin kapalı alanlarda ve kontrol edilebilir şartlarda belirli yöntemler ile yapılması işlemine “ yapay kurutma” yöntemi denilmektedir.

Güneş altında doğal yöntemle yapılan kurutma işlemiyle; kontrol dışı iklim koşulları, toz, kir gibi olumsuzlukların yaşanması nedeniyle yapay kurutma yöntemleri önem kazanmıştır. Ürünlerin kontrollü şartlar altında dış hava koşullarından arındırılarak kurutulduğu özel kurutucuların bazı avantajlarını aşağıda belirtilen şekilde sıralayabiliriz;

- Ürünün kuruma süresi bir hayli kısalmaktadır.
- Kurutma koşullarının kontrol edilebilir olması mümkündür.
- Ürünlerin kurutulması işlemi daha temiz ve kaliteli yapılması mümkündür.
- Arzu edilen nem içeriğinde ürün elde edilebilir (Demiray 2009).

Yapay kurutma yöntemi temelinde mekanik ve kimyasal işlemler prensibine dayanmaktadır. Mekanik ve kimyasal işlemler günümüze kadar çok hızlı bir gelişim göstermiş olup günümüzde bu alanda çok modern alet ve ekipmanlar kullanılmaktadır. Ancak alet ve ekipmanların tasarım ve seçiminde kullanılacak ürünün karakteristik özelliklerini dikkate almakta fayda görülmektedir. Bu sayede ürünün kurutma prosesinde gereksinimler belirlenebilmektedir (Saldamlı ve Saldamlı 2004).

Yapay kurutma yöntemleri temel olarak üç sınıflandırma yöntemine dayandırılabilir. Bunlar konveksiyonlu, temaslı ve radyasyon kurutmadır.

Konveksiyon Kurutma: Kurutma için gerekli olan ısının bir gaz yardımıyla (genellikle hava tercih edilmektedir) elde edildiği ve bu havanın ürünün üzerinden, içerisinden veya arasından geçirilmesiyle yapılan kurutma işlemidir. Başlıca konveksiyonlu kurutucular; fırın kurutucular, akışkan yatak kurutucular, tünel kurutucular, bantlı kurutucular ve püskürtmeli kurutuculardır (Demiray 2009).

Temaslı Kurutma: Bu kurutma yönteminde gerekli ısı, kondüksiyon metodu ile elde edilir. Kurutulacak ürün sabit kalırken veya hareketli iken bu esnada temas ettiği sıcak yüzeyden ürüne ısı taşınır. Bu yöntemde en yaygın olarak kullanılan kurutucu valsli (silindirik) kurutuculardır (Zambak 2015).

Radyoaktif Kurutma: Radyasyondan yararlanılarak yapılan kurutmada, kurutulacak ürüne ısı; herhangi bir maddi taşıyıcıya gerek olmadan sistemdeki bir radyasyon kaynağı ile ulaştırılmaktadır. Diğer bir ifadeyle radyasyon ile kurutmada, mikrodalga, dielektrik veya infrared gibi elektromanyetik enerji türlerinden yararlanılmaktadır (Cemeroğlu 2004).

4.2 Kurutma Aşamaları

Gıdaların farklı kurutma şartları altında kurutulmasıyla elde edilen kuruma eğrileri farklılık göstermekle birlikte genellikle gıdaların kurutulması esnasında, ilk olarak gıdanın ısınma evresi gerçekleşir. Burada ürünün yüzey sıcaklığı hızla artmaktadır. Kuruma hızı gitgide arttıkça bu aşamanın sonunda en yüksek seviyesine ulaşır. Daha sonra ise kurumanın yüksek hızda gerçekleştiği ve nemin gıdadan uzaklaştırılmasının en fazla olduğu sabit kurutma hızı evresi gerçekleşmektedir (Demiray 2015).

Sabit kurutma hızı evresinde gıdanın üzerinde ince bir su tabakası kaplıdır ve buharlaşma işlemi bu tabakadan başlar. Başta buharlaşma çok hızlı olmakla birlikte, belli bir zaman sonra gıdanın üzerinde buhar tabakası oluşur. Bu tabaka buharlaşmanın yavaşlamasına neden olur. Kurutma hızının sabit olduğu bu evrede kurutma hızını yalnızca katı maddenin yüzey kısmını etkileyen hava hızı, akış şekli, sıcaklık ve nem gibi değişkenler tarafından kontrol edilebilir (Özel 2010).

Kurutma için kullanılan sıcak havadan katı ürüne aktarılan ısı üründeki nemin buharlaştırılması dengeli bir şekilde kullanılır ve bu evrede ısı ile kütle arasında dinamik bir denge kurulur. Bu süreçte ürünün dış yüzeyi her an neme doymuş durumdadır. Bu da yaş ürünün kütle transfer alanı ısı transfer alanına eşit olduğu gösterir. Bu evre, ürünün dış yüzeyinde serbest bir şekilde buharlaşan nemin sona ermesiyle biter ve buradaki nem değeri “kritik nem” olarak adlandırılır (Zambak 2015).

Kritik neme ulaşan katının yüzeyi kurudur ve yüzeyinde su tabakasından bahsedilmez. Bu aşamada kuruma hızı düşmeye başlar ve azalan kurutma hızı evresine geçilmiş olur. Yüzeyde nem kalmamasından dolayı gıdanın iç kısımlarındaki su buhar hale gelerek önce yüzeye taşınır sonra da üründen uzaklaşır. Nem kaybının düşük olduğu bu evre sabit kurutma hızı evresinden uzun sürer. Bunun sebebi ise üründeki suyun azalmış olmasıdır. Bu evrede kuruma hızı sürekli düşüş gösterir (Dadalı 2007). Azalan kurutma hızı evresinde kütle transferi çözümü zor bir mekanizma olmasına rağmen, etkin tek fiziksel olayın difüzyon olduğu kabul edilir (Demiray 2009).

4.3 Kurutma Hızını Etkileyen Faktörler

Gıdanın sahip olduğu suyun uzaklaştırılmasında ısı ve kütle aktarımı ile gerçekleşmektedir. Kuruma hızı doğrudan ısı ve kütle aktarımına etki etmekte olan faktörler tarafından kontrol edilmektedir. Bu faktörlerin başlıcaları kurutma havasının sıcaklığı ve hızı, ortamın nem içeriği, kurutulan gıdanın yüzey alanı ve kurutulan gıdaya özgü niteliklerdir (Kocayiğit 2010).

4.3.1 Kurutma Havasının Sıcaklığı

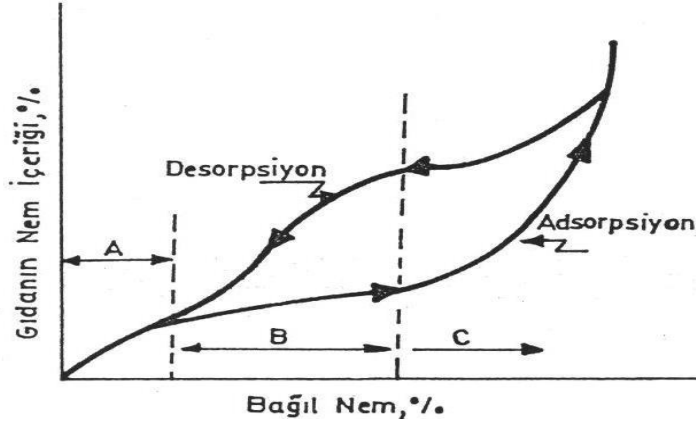
Kurutmada kullanılan sıcak havaya ait yaş ve kuru termometre dereceleri arasındaki fark kurutma hızına etki eden en önemli faktörlerdendir. Bu fark arttıkça kuruma hızı da bununla birlikte artar.

Kurutma işleminde kullanılan sıcak havanın artması ile havada su buharı tutma özelliği artar. Böylelikle iç kısımlardan dış kısma doğru ısı aktarım hızı artmaktadır. Aktarım hızının artmasıyla kurutma süresi de kısalmaktadır. Ancak bu durum her zaman istenmez. Çünkü gıdaların kurutulabileceği bir optimum sıcaklık değeri bulunmaktadır. Bu sıcaklık değerinin artırılması kurutma için uygun değildir. Bu optimum sıcaklık değerinin aşılması durumunda gıdada bazı kusurlar ve kalite kayıpları oluşmaktadır. Bunlar renk değişimi, çatlama ve büzüşme gibi kusurlardır. Sıcaklığın yüksek olduğu kurutmalarda kullanılan enerji ve kurutma maliyeti de artmaktadır. Bunların yanı sıra düşük sıcaklık derecesiyle gerçekleştirilen kurutmalarda ise, gıdanın kalitesinde bir artış meydana gelir, ama bu durumda da kuruma süresi normalin üzerinde olmaktadır. Bu sebeple kurutma işlemleri kuruma süresi ve ürünün kalitesi dikkate alınarak en ideal sıcaklık derecesinde gerçekleştirilmelidir (Demiray 2015).

4.3.2 Ortamın Nem İçeriği

Gıdaların kurutulmasında içerdikleri nem miktarları ortamdaki su buharının miktarına göre değişmektedir. Ortamdaki nem içeriği artırılıp ya da azaltıldığında maddede nem değişimi meydana gelir ve bu değişim farklı karakteristiklere sahip

olmaktadır. Sıcaklığın sabit tutulup maddenin bulunduğu ortama ait nem miktarının değiştirilmesi ile birlikte maddeye ait nem miktarının değişimi sorpsiyon izotermi olarak adlandırılan eğriler ile gösterilmektedir (Zambak 2015). Şekil 3.1 gıdalara ait genel sorpsiyon izotermi göstermektedir.



Şekil 4. 1: Gıdaların genel sorpsiyon izotermi (Cemeroğlu 2004)

Sıcaklığın sabit tutulduğu bir ortamda nem içeriği artışıyla oluşan, maddedeki nem miktarı değişimi adsorpsiyon (maddenin nem alması), sıcaklığın sabit tutulduğu bir ortamda nem içeriği düşüşüyle maddedeki nem miktarının değişimi ise desorpsiyon (maddenin nem kaybetmesi) olarak adlandırılmaktadır (Tüfekçi 2014).

Gıdaya ait sorpsiyon olayları ters yönde gerçekleşeler de aynı yolu izlememektedirler. Desorpsiyon Şekil 3.1’de de görüldüğü üzere A bölgesinden B bölgesine geçiş sırasında bombe yapmaktadır. Bu olaya histeresis denilmektedir (Demiray 2009).

4.3.3 Kurutma Havaasının Hızı

Kurutma hızını etkileyen önemli faktörlerden biri de kurutma havaasının hızıdır. Kurutuma esnasında gıdanın yüzey tabakasında sürekli bir durgun buhar filmi oluşur. Bu filmin daima uzaklaştırılması suyun evaporasyonunda bir hızlanma meydana getirir. Bu buhar filminin devamlı olarak sürüklenmesiyle, ortamdaki kurutma havaasının hızında artışa neden olmaktadır. Ama bu etki belli bir değere kadardır. 300 m/dakika’nın üzerindeki hava hızlarının kurutma hızı üzerine etkisinin

olmadığı belirlenmiştir. Kuruma işleminin başlarında kurutma havasının hızının etkisi oldukça fazla olmasına rağmen daha sonraki aşamalarda gıdadaki suyun alt tabakalardan yüzeye aktarım hızı ile ilgili olduğundan dolayı kurutma havasının hızını etkisi azalmaktadır (Kocayigit 2010).

4.3.4 Kurutulan Gıdanın Yüzey Alanı

Gıdaların kurutulmasında kurutma hızını etkileyen bir diğer faktörde gıdanın yüzey alanıdır. Kuruma hızını arttırmak yani gıdanın yüzeyindeki ısı aktarımını arttırmak için ürün daha küçük parçalara ayrılmalı veya dilim kalınlıkları azaltılmalıdır. Bu sayede gıdadaki nemin uzaklaşacağı alan artırılmış olur. Kurutma sırasında üründe yanma sorunu meydana gelebileceğinden dilim kalınlığı buna göre belirlenmelidir (Demiray 2009).

4.3.5 Kurutulan Gıdaya Özgü Özellikler

Kurutulan gıdanın kendine özgü nitelikleri kuruma hızına etki eden etmenlerden biridir. Ürüne ait kimyasal bileşim kurutma için önemli bir yere sahiptir. Küçük yapılı ve çözülmüş halde olan maddelerin (şeker, tuz vb.) fazlaca bulunduğu bir ürün, bu maddeleri daha az içeren bir ürünle kuruma açısından karşılaştırılırsa, çözülmüş maddelerce zengin olanının daha zor kuruduğu görülür. Çünkü çözülmüş maddeler suyun buhar basıncını düşürmekte ve bu yüzden suyun buharlaşması zorlaşmaktadır. Ürünün yağlı olması da kuruma hızını etkilemektedir. Yağın devamlı bir faz olduğu emülsiyon içerisinde su damlacıkları yağ tarafından izole edilir. Bu sistem içinde suyun buharlaşması zorlaşır. Diğer taraftan ürünün bileşimi onun suyu bağlama gücüyle de yakından ilişkilidir. Gıdada serbest olarak bulunan su, ilk ve en kolay uzaklaştırılabilen su olduğu halde katı parçacıklarla adsorpsiyonla bağlanan suyun uzaklaşması daha güçtür. Kimyasal olarak bağlı olan su ise gıdadan en zor şekilde uzaklaştırılan sudur (Tüfekçi 2014).

4.4 Gıdaların Kurutulmasında Kullanılan Kurutucular

4.4.1 Kabin Kurutucular

Kabin kurutucuların çok fazla çeşidi olmakla birlikte hepsinin ilkesi aynıdır. Kurutulmak istenen ürün, ızgaralı ya da delikli tepsilere yerleştirilir. Tepsiler üst üste istiflenerek bir vagon haline getirildikten sonra kurutma kabineye yerleştirilir. Bu kabinlere fan yardımıyla sıcak hava verilir. Bu hava sisteme verildikten sonra ürünün üzerinden geçer, üründeki nemi alarak sistemden çıkış yapar (Saldamlı ve Saldamlı, 2004). Çıkış yapan havanın bir kısmı sisteme geri gönderilebilir. Ancak havanın üründen aldığı nem patlayıcı-yanıcı bir özelliğe sahipse bu hava sisteme geri gönderilmeden havanın tamamı tahliye edilir (Tüfekçi 2014).

4.4.2 Tünel Kurutucular

Kabin kurutucunun sürekli veya yarı sürekli çalıştırılan bir tipidir. Bu kurutma sisteminde üzerine ürün yerleştirilen tepsi istifleri bir ray boyunca arabalar halinde hava tüneline yerleştirilir (Dadalı 2007).

4.4.3 Akışkan Yatak Kurutucular

Bantlı kurutucuların geliştirilmesiyle ortaya çıkan bu kurutma yöntemi, tekne şekline sahip kurutma sisteminde elek şeklinde bulunan bir bant, yavaşça ilerleyerek sonsuz bir dönme hareketi yapar ve kurumakta olan ürün bu teknede sürekli olarak hareketli bir şekilde kalır. Bu sayede ürün hızlıca kurur. Akışkan yatak kurutucularda kurutulmak istenen ürün, alt kısımdan yüksek hızla sıcak hava verilmesiyle adeta askıda kalır ve akışkan bir yatak halinde bulunur. Ürünün bu halde kalabilmesi için, sıcak havanın belirli bir hızda verilmesi gerekmektedir (Zambak 2015).

4.4.4 Vakumlu Kurutucular

Vakum kurutucularda vakum altında ve sıcaklıkların düşük tutulmasıyla gerçekleştirilen kurutma sistemleridir. Maliyeti yüksek olan bu sistem ısıya karşı çok duyarlı ürünlerin kurutulmasında ya da nem içeriğinin çok düşük seviyelere indirilmesi istenen ürünlerde uygulanmaktadır. Bu kurutucularda hem katı hem de sıvı ürünler kurutulabilmektedir (Saldamlı ve Saldamlı 2004).

4.4.5 Püskürtmeli Kurutucular

Bu kurutucu tipinde ürün sıcak hava beslemesi yapılan kurutma alanına atomize edilerek geniş bir yüzey kazandırılır ve böylelikle hızlıca bir kuruma gerçekleştirilir. Püskürtmeli kurutma yönteminde öne çıkan özellikler kurumanın hızlı bir şekilde gerçekleşmesi ve son sıcaklığın düşük olmasıdır (Dadalı 2007). Bu yöntem süt, peynir altı suyu, bebek mamaları, kahve ve yenilebilir protein gibi maddelerin kurutularak toz haline getirilmesi için kullanılmaktadır (Tüfekçi 2014).

4.4.6 Valsli Kurutucular

Valsli kurutucular içten ısıtma yapılan bir silindir (vals) ile kurutmayı gerçekleştirirler. Bu silindirin üzerine ince bir tabaka halinde yayılan sıvı veya lapa halindeki gıdanın, silindirin yaklaşık 300 derecelik dönüşü sonrasında kurumuş bir hale gelmesi sonucu yüzeyden kazınarak alınır. Valslerin ısıtılması; sistemin içine verilen buhar, sıcak su veya ısı iletimi yüksek bir sıvı ile sağlanır (Tüfekçi 2014).

4.4.7 Dondurarak Kurutma

Bu tip kurutucularda, donmuş olan ürünlerdeki suyun süblimleşmesi ile direkt buhar haline geçiş yapar. Bu yöntemin en belirgin özelliği ürün yüksek sıcaklıklara maruz kalmamaktadır. Ayrıca ürün yapısı bozulmadığından dolayı kalitesi yüksek bir kurutulmuş ürün meydana gelmektedir. Bu kurutucularda önce ürün dondurulur

ardından ısı uygulamasıyla yüzeydeki buz süblimleşerek kuruma gerçekleşir (Çalışkan 2002).

4.4.8 Ozmotik Kurutma

Ozmotik kurutmada ozmotik bir çözelti içerisinde daldırılan gıdanın suyunun uzaklaştırılmasıdır. Bu yöntemde 3 temel aktarımdan bahsedilir. Bunlar; gıdadan çözeltiye doğru olan su akışı, çözülden gıdaya çözünen aktarımı ve gıdadan çözeltiye çözünen aktarımıdır. Ozmotik kurutmaya gıdadaki su belirli bir düzeye kadar uzaklaştırılabilir. Bundan dolayı bu yöntem dondurma, pastörizasyon, kurutma ve konserveleme gibi işlemlerin öncesinde kullanılır (Zambak 2015).

4.4.9 Dielektrik ve Mikrodalga Kurutma

Elektromanyetik dalgalar aracılığıyla üründeki iyonların hareketi sonucu ortaya çıkan ısının ürünün nem kaybetmesine neden olmasıyla gerçekleşen bir kurutma yöntemidir. İyonlar, elektrik yüklü atomlar oldukları için elektriksel alana giriş yaptıklarında elektriksel alanın etkisi altında kendi kutuplarının tersine hareket ederler. Bu hareket sırasında yüksüz atomlarla çarpışan iyonlar kinetik enerjilerini kaybederler. Elektriksel alanın yönü değiştiğinde ise bu işlem ters yönde gerçekleşir ve bu alanın frekansına bağlı olarak milyonlarca defa gerçekleşir. Böylelikle elektrik alan enerjisi kinetik enerjiye, kinetik enerji de çarpışma anında ısı enerjisine dönüşür (Zambak 2015).

4.4.10 İnfrared Kurutma

Termal radyasyon, kızılötesi lambalar, buhar ile ısıtma yapan kaynaklar ve elektrik ile ısıtılan yüzeyler tarafından sağlanır. Bu sistem ile ürünün yüzeye yakın kısımları ısındığından dolayı ince levha yapısındaki ürünlerin kurutulması için uygundur. Isı transferi termal radyasyon yapan ürünün yapısı ve karakteristiği ile kurutulan maddenin özelliklerine bağlıdır ve ısı verim düşük olabilir (Özel 2010).

4.5 Gıdaların Sıcak Hava-Mikrodalga Kombinasyonu ile Kurutulması Üzerine Yapılmış Çalışmalar

Literatür araştırılması sonucu sıcak hava-mikrodalga kombinasyonu ile gıdaların kurutulmasına yönelik yapılan çalışmaların gün geçtikçe arttığı görülmektedir.

Maskan (2000) tarafından yapılmış bir çalışmada muz dilimlerinin 60°C sıcaklığa ve 1,45 m/s hava hızına sahip tepsili kurutucu ile mikrodalga fırının (350, 490 ve 700 W) ayrı ayrı ve kombinasyonları kullanılarak kurutulduğu görülmüştür. En uzun süren kurutma yönteminin tepsili kurutucu olduğu belirlenmiş ve kombinasyon kullanımı kuruma süresini azalttığı görülmüştür.

Horuz ve diğ. (2017^a) yaptıkları çalışmada 3 farklı sıcaklık (50, 60 ve 70°C) ve birlikte hibrit olarak adlandırılan hava sıcaklığına ilave olarak 3 farklı mikrodalga gücü (120, 150 ve 180 W) kullanılarak vişne örnekleri kurutulmuştur. Hava sıcaklığı ve mikrodalga güç seviyesinin arttırılmasıyla birlikte örneğin kuruma süresi azalmıştır. Enerji verimliliği yönünden hibrit sistemin veriminin diğer yöntemlere göre daha yüksek olduğu tespit edilmiştir. Renk parametreleri açısından elde edilen sonuçların nispeten birbirine yakın olduğu görülmüştür.

Alibaş (2007)'in yapmış olduğu çalışmada kabak dilimlerini 1 m/s hava hızına sahip fırında 50, 75°C'de ve 160, 350 W mikrodalga gücünde ve son olarak da bu 2 sistemin kombinasyonu şeklinde 3 farklı yöntemle kurutmuştur. Kurutma süresi, kurutma hızı ve renk kriterleri ile enerji tüketimi göz önünde bulundurulduğunda en uygun yöntemin kombinasyon kurutmalar olduğu görülmüştür. Enerji tüketimi ve kuruma süresi kısalığı açısından 75°C+350 W kombinasyonu öne çıkmıştır.

İzli (2016) yaptığı çalışmada kayısının konvektif, mikrodalga ve bunların kombinasyonu ile kurutulmasını incelemiştir. Konvektif olarak 50 ve 75°C, mikrodalga gücü olarak da 90 ve 160 W kullanmıştır. Bu 3 yöntem karşılaştırıldığında kombinasyon olarak kullanılan sistemde diğer yöntemlere göre kuruma süresinin daha kısa sürdüğü görülmüştür. Ayrıca sıcaklık ve mikrodalga gücü artışı kuruma süresinin azalmasında da önemli bir etmen olduğu tespit edilmiştir.

Horuz (2018) elma, kayısı, vişne, domates, kırmızıbiber ve nane üzerine yaptığı çalışmada 3 farklı konveksiyoneli (50, 60 ve 70°C) tek başına ve mikrodalga güçleriyle (120, 150 ve 180 W) kombinleyerek bu 2 yöntemi karşılaştırmıştır. Tüm örneklerde kuruma süreleri kombinasyonların kullanımında konveksiyonel sisteme göre daha fazla azalma göstermiştir. Ayrıca kuruma hızının da arttığı gözlemlenmiştir. Enerji yönünden hibrit sistem daha düşük enerji tüketimi sağlarken, enerji verimliliği de konveksiyonel sisteme göre daha yüksektir. Örneklerin toplam renk farkının mikrodalga gücünün ve sıcaklığın artmasıyla yükseldiği tespit edilmiştir.

Alibaş (2006) tarafından yapılan çalışmada konvektif (50, 75 ve 100°C) mikrodalga (350, 500 ve 650 W) ve konvektif-mikrodalga olmak üzere 3 farklı yöntemle pazı yaprağı kurutması gerçekleştirmiştir. Kurumaya ait kuruma hızı, kuruma süresi gibi verilerin yanı sıra renk değerleri ve enerji tüketimi yönünde 3 yöntem karşılaştırmıştır. Pazı yaprağı için en uygun kurutma yönteminin kuruma süresi, kurutma hızı, renk kriterleri ve enerji tüketimleri göz önüne alındığında 75°C+500 W kombinasyonu olarak belirlemiştir.

Göğüs ve Maskan (2001) yaptıkları çalışmada zeytin prinasının mikrodalga ve mikrodalga-konveksiyon kombinasyonlu fırın kullanarak kurutmalarını gerçekleştirmiştir. Kurutma üzerine mikrodalga gücünün (350, 490, 700 W), örnek kalınlığının (6, 9, 14 mm) ve sıcaklığının (100, 160, 225°C) etkilerini incelemiştir. Mikrodalga-konveksiyon kurutmada sıcaklık ve mikrodalga gücünün artışı ile kuruma hızının arttığını tespit etmiştir.

Maskan (2001) yaptığı çalışmada sıcak hava (60°C), mikrodalga (210, 350 ve 490 W) ve sıcak hava-mikrodalga yöntemleri ile kivi'nin kurutma özellikleri incelemiştir. Mikrodalga gücüyle kurutma veya sıcak havada mikrodalga gücü ile kurutma işlemi kurutma hızının artmasına ve kurutma süresinin önemli ölçüde kısalmasına neden olduğunu saptamıştır. Ayrıca sıcak hava-mikrodalga fırında kurutulan ürünlerin daha az büzülme gerçekleştirdiğini tespit etmiştir. Bu sayede yüksek kalitede ürünlerin korunmasında sıcak-mikrodalga fırın ile kurutmanın kullanılabilirliğini göstermiştir.

Horuz ve diğ. (2017^b) yaptıkları çalışmada domates dilimlerini 60°C sabit sıcaklıkta 120, 150 ve 180 W mikrodalga gücüne ilave 0 (ultrases uygulaması yapılmamış), 20 ve 40 dakikalık ultrases uygulaması yapmışlardır. Bu uygulamalar sonucu örneklerin kurutma süresi, renk, toplam fenolik madde, likopen, C vitamini ve kurutulmuş domates dilimlerinin rehidrasyon kapasitesi üzerine etkileri incelemişlerdir. Bu uygulamalar sonucu ultrases uygulaması yapılmayan örnekler baz alındığı zaman en yüksek kuruma hızı 60°C+180 W kombinasyonunla yapılan kurutuma işlemi olarak bulmuşlardır. L*, a*, b* değerlerinin hepsinde düşüş meydana geldiğini tespit etmişlerdir.

İzli ve diğ. (2014) tarafından yapılan çalışmada konvektif, mikrodalga ve mikrodalga-konvektif kurutma yöntemlerinin altın çilek meyvesinin kurutma özellikleri, renk, toplam fenolik madde miktarı ve antioksidan kapasitesi üzerindeki etkileri incelenmiştir. Taze meyvenin renk değerleri (L*, a* ve b*) kurutma ile birlikte azalma göstermiştir. Farklı kurutma işlemlerinde, renk değerlerine, toplam fenolik madde miktarına ve antioksidan kapasiteye göre taze numunelere en yakın değerler 160 W mikrodalga kurutma yöntemiyle elde edildiği saptanmıştır.

5. MATERYAL ve YÖNTEM

5.1 Materyal

Bu çalışmada materyal olarak kullanılan limon (*Citrus limon*) ve portakal (*Citrus sinensis*) örnekleri Denizli ilinden temin edilmiştir. Limon olarak Enterdonat cinsi kullanılırken, portakal için ise Finike cinsi kullanılmıştır. Limon ve portakal örnekleri kurutma analizlerinde kullanılana kadar parafilm ile sarılı halde $4\pm 0,5^{\circ}\text{C}$ sıcaklığındaki buzdolabında muhafaza edilmiştir. Öncelikle örneklerin kabuklarının başlangıç nem içeriği değerlerinin bulunması için $6\pm 0,3$ g kabuk 105°C sıcaklıkta etüv kullanılarak ağırlıkları sabit tartıma gelene kadar kurutulmuştur.

5.2 Yöntem

5.2.1 Kurutma Denemelerinin Yapılması

Kurutma işleminden önce limon ve portakal kabuğu örnekleri 4 mm kalınlığında ve 1 cm X 1 cm boyutlarında olmak üzere kare şeklinde kesilmiştir. Kurutma deneyleri mikrodalga özellikli ve 1,0 m/s hava hızına sahip bir fırın (Siemens HN678G4S1 Ankastre Fırın, Almanya) kullanılarak gerçekleştirilmiştir. Kurutma işlemlerinde her bir paralel için 16 adet örnek kullanılmıştır. Kurutma işlemleri sırasında örneklerin fırından çıkartılarak çok kısa bir sürede tartılıp tekrar fırına yerleştirilmiştir. Bu tartım işlemleri ilk 30 dakika boyunca 5 dakikada bir, ilk 30 dakikadan sonra ise her 15 dakikada bir olacak şekilde gerçekleştirilmiştir. Kurutma işlemleri 40, 50, 60°C sıcak hava ve 90, 180, 360 W mikrodalga güçlerinin ayrı ayrı ve kombinasyonlar şeklinde kullanılmasıyla yapılmıştır. Renk, antioksidan aktivite ve toplam fenolik madde analizleri taze ve kuru örneklerde gerçekleştirilmiştir. Kuru örnek olarak kurutma işlemleri sonrası nem içeriği %15'e düşürülen limon ve portakal kabukları kullanılmıştır. %15 nem içeriğine sahip kuru örnekler analizler yapılana kadar -18°C 'de muhafaza edilmiştir.

5.2.2 Renk Değişiminin İncelenmesi

Limon ve portakal kabuklarının kurutulmasında kurutma koşullarının örnekler üzerindeki etkilerini belirlemek amacıyla taze ve kurutulmuş kabuk örneklerinin CIE sisteminde L^* , a^* , b^* parametreleri renk ölçüm cihazı (PCE-CSM 2, Almanya) ile tespit edilmiştir. Renk ölçümlere 3'er örnekte 3 paralel şekilde yapılmış ve ölçülen değerlerin ortalaması alınmıştır. Bu işlem sonucunda örneklerdeki renk değişimleri incelenmiştir.

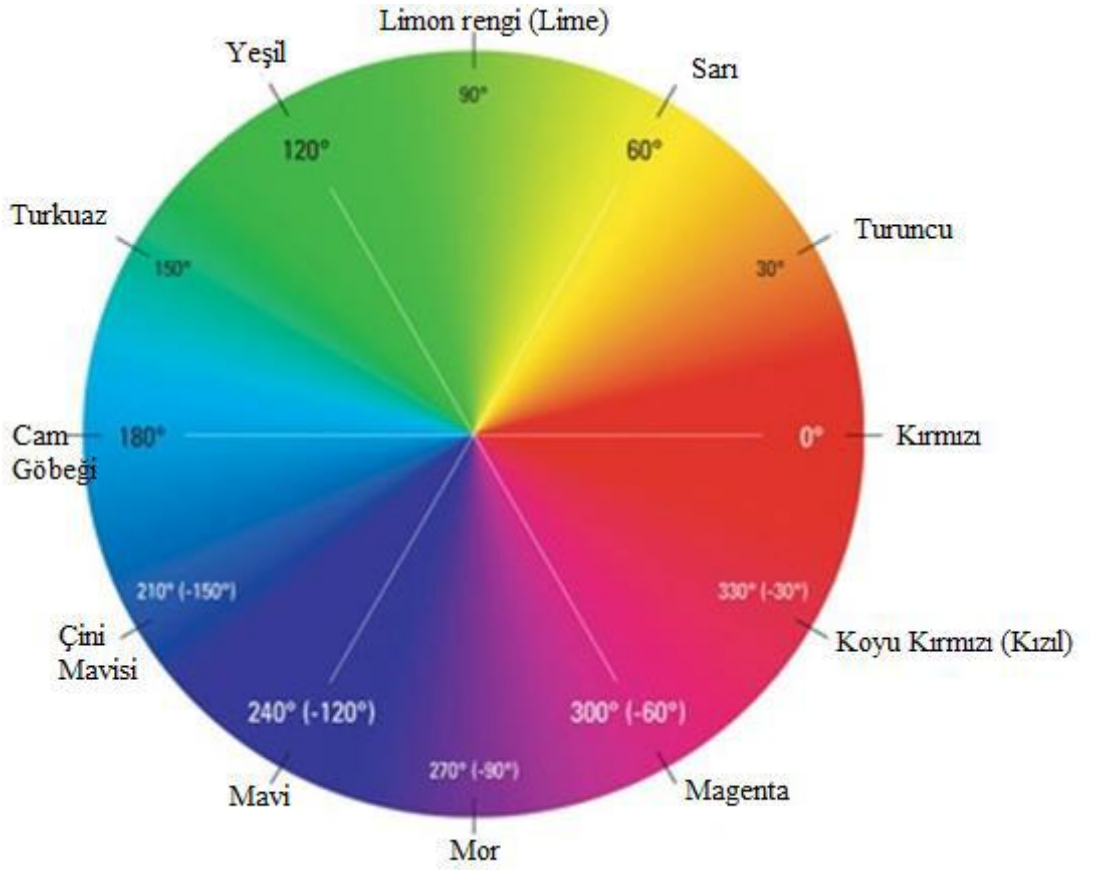
L^* değeri materyalin ışık geçirgenliğini ifade etmektedir. Bu değer 0-100 skalasında bir değeri ifade etmektedir. Renk koordinat sistemindeki a^* ve b^* değerleri ise belirli bir değer aralığı ifade etmemekle birlikte, a^* değeri pozitif olduğu zaman kırmızılık, negatif olduğunda ise yeşillik değerlerini belirtmektedir. Son olarak b^* değeri ise pozitif olduğu takdirde sarılık, negatif olduğu zaman da mavilik değerlerini belirtmektedir (Tamer 2017).

Çalışmada L^* , a^* ve b^* değerlerine ilave olarak taze limon kabuğuna ait renk değerleri (L_0^* , a_0^* , b_0^*) referans kabul edilerek örneklerin Hue açısı (Şekil 5.1), toplam renk sapması (ΔE^*) ve Kroma değerleri Denklem 5.1, 5.2 ve 5.3 yardımıyla hesaplanmıştır (Seerangurayar ve diğ. 2019).

$$\text{Hue açısı} = \tan^{-1}(b^*/a^*) \quad (5.1)$$

$$\text{Kroma} = (a^{*2} + b^{*2})^{1/2} \quad (5.2)$$

$$\Delta E^* = \sqrt{[(L_0^* - L^*)^2 + (a_0^* - a^*)^2 + (b_0^* - b^*)^2]} \quad (5.3)$$



Şekil 5. 1: Hue açısı renk dairesi (Demiray 2015)

5.2.3 Toplam Fenolik Madde ve Antioksidan Aktivite Tayinleri

5.2.3.1 Toplam Fenolik Madde Tayini

Toplam fenolik madde ve antioksidan aktivite tayinleri için öncelikle limon ve portakal kabuğu örneklerinden ekstraktlar hazırlanmıştır.

Limon ve portakal kabuğu örneklerinden taze ve kuru olmak üzere 0,5 g tartılıp falkon tüplerine konulmuştur. Ardından örneklerin üzerine 10 ml sulu metanol çözeltisi (% 50, v/v) ilave edilerek homojenizatörde 1 dakika karıştırılmıştır. Bu işlemin ardından örnekler sırasıyla ultrasonik su banyosunda (Elma E 60 H, Almanya) 10 dakika bekletilmiş ve mekanik çalkalayıcıda (WiseShake SHO-1D, Almanya) 150 devirde 15 dakika karıştırılmıştır. Karıştırma işlemi bittikten sonra ise örnekler, 4°C'de 9000 rpm değerinde 15 dakika santrifüjlenmiştir (Hettich, Universal

30 RF, Almanya). Santrifüj sonrası üstte bulunan berrak kısım otomatik pipet yardımıyla koyu renkli şişelere alınmıştır. Tüplerde kalan çökeltilinin üzerine 10 ml çözelti ilave edilerek ekstraksiyon basamakları aynı şekilde tekrarlanarak ekstraktlar hazırlanmıştır. Bu ekstraktlar spektrofotometre okumaları yapılana kadar -18°C'de muhafaza edilmiştir.

Toplam fenolik madde tayini Folin-Ciocalteu (FC) metoduna göre gerçekleştirilmiştir (Singleton ve diğ. 1999). Öncelikle saf suyla 0,5 g/l gallik asit çözeltisi hazırlanır. Kalibrasyon eğrisi, spektrofotometrede (PG Instruments Ltd. T80 UV/VIS Spektrofotometer, İngiltere) 25-100 mg/l konsantrasyon aralığındaki gallik asit çözeltileriyle oluşturulmuştur. Örneklerin analizinde 300 µl ekstrakt cam tüplere alınarak üzerlerine 1500 µl 1:10'luk (v/v) FC çözeltisi ilave edilir ve 5-8 dk beklenilir. Bekleme süresi bittikten sonra tüplere 1200 µl 75 g/l'lik Na₂CO₃ ilave edilir ve ardından örnekler vorteks ile karıştırılır. Ön denemeler sonucu elde edilen sonuçlar doğrultusunda 300 µl alınan ekstraktlar için taze ve kuru örneklerde 1/20 oranında sulu metanol çözeltisi (% 50, v/v) ile seyreltme yapılmıştır. Vorteks ile karıştırılan örnekler daha sonra karanlık ortam ve oda sıcaklığında 2 saat bekletilmiştir. Bu süre sonunda örneklerin absorbanları spektrofotometrede 760 nm'de okunmuştur. Sonuçlar µg Gallik Asit Eşdeğeri (GAE)/g kuru madde olarak hesaplanmış ve değerler 1000'e bölünerek mg GAE/g kuru madde'ye çevrilmiştir.

5.2.3.2 Toplam Antioksidan Aktivite Tayini

Antioksidan aktivite tayini 2,2-diphenyl-1-picrylhydrazyl (DPPH) metodu uygulanarak gerçekleştirilmiştir. Öncelikle 0,0050 g Troloks 1 ml etanolde çözündürülmüştür. Sonra elde edilen çözelti 10 ml'lik balon jöjeye alınıp ultrasonik su banyosunda çözündürülmüştür ve ardından 10 ml'ye saf su ile tamamlanmıştır. Kalibrasyon eğrisi 0-50 µmol konsantrasyon aralığındaki Troloks çözeltileri kullanılarak oluşturulmuştur.

Antioksidan aktivite tayini için ilk olarak 0,0014 g DPPH üzerine 100 ml saf su ilave edilerek DPPH stok çözeltisi elde edilmiştir. Çalışmada kullanmak amacıyla DPPH stok çözeltisi spektrofotometrede 515 nm dalga boyunda okutulmuş absorban değeri 1,1 değeri olacak şekilde ayarlanmıştır. Örneklerin analizinde 150 µl ekstrakt

cam tüplere alınarak üzerlerine 2850 µl DPPH çözeltisi ilave edilir ve ardından örnekler vorteks ile karıştırılır. Ön denemeler sonucu elde edilen sonuçlar doğrultusunda 150 µl alınan ekstraktlar için taze ve kuru örneklerde 1/20 oranında sulu metanol çözeltisi (% 50, v/v) ile seyreltme yapılmıştır. Vorteks ile karıştırılan örnekler daha sonra karanlık ortam ve oda sıcaklığında 1 saat bekletilmiştir. Bu süre sonunda örneklerin absorbanları spektrofotometrede 515 nm’de okunmuştur. Sonuçlar µmol Troloks Eşdeğeri (TE)/g kuru madde olarak hesaplanmış ve değerler 1000’e bölünerek mmol TE/g kuru madde’ye çevrilmiştir.

5.3 Hesaplamalar

5.3.1 Nem İçeriğinin Hesaplanması

Limon ve portakal örneklerinin kurutulması sırasında, nem içeriği değerleri aşağıdaki gibi hesaplanmıştır;

$$M_t = (m - KM)/KM \quad (5.4)$$

M_t herhangi bir t anındaki nem içeriğini (g su/g kuru madde) belirtirken, m örneğin ağırlığını (g), KM ise örneğin içerdiği kuru madde miktarını (g) belirtmektedir (Demiray 2015).

5.3.2 Kuruma Hızının Hesaplanması

Kuruma hızı, nem içeriğine karşılık kuruma zamanı eğrilerinin türevlerinin alınması ile bulunmuştur. Kuruma hızının birimi g su/g kuru madde.dakika olarak ifade edilmektedir.

$$\text{Kuruma Hızı} = (M_{t+dt} - M_t)/dt \quad (5.5)$$

M_{t+dt} herhangi bir t+dt anındaki nem içeriği değerini (g su/g kuru madde), M_t herhangi bir t anındaki nem içeriğini (g su/g kuru madde) ve son olarak dt kuruma zamanını ifade etmektedir (Demiray 2009).

5.3.3 Nem Oranının Hesaplanması

Nem oranına ait Denklem 5.6'te verilmiştir. Denklemde verilen nem oranı birimsizdir.

$$MR = (M_t - M_e)/(M_0 - M_e) \quad (5.6)$$

Denklemde MR nem oranı (birimsiz), M_t herhangi bir t anındaki nem içeriği (g su/g kuru madde), M_e denge anındaki nem içeriği (g su/g kuru madde), M_0 ise başlangıç nem içeriği (g su/g kuru madde) olarak tanımlanmıştır (Zambak 2015).

5.3.4 Etkin Difüzyon Katsayısının Hesaplanması

Gıdaların kurutulması sırasında kütle transferi meydana gelmektedir. Etkin difüzyon katsayısı bu kütle transferinin önemli ölçütlerinden biridir. Etkin difüzyon katsayısı limon ve portakal kabuğu örnekleri için, Fick'in ikinci yasasının dilim kabulü yapılması sonucu elde edilen Denklem 5.7 basitleştirilerek hesaplanmıştır (Tüfekçi 2014).

$$MR = \frac{8}{\pi^2} \sum_{n=0}^{\infty} \frac{1}{(2n+1)^2} \exp\left(-\frac{(2n+1)^2 \pi^2 D_{eff} t}{4L^2}\right) \quad (5.7)$$

D_{eff} etkin difüzyon katsayısını (m^2 /saat), L dilim kalınlığını (m) ve t kuruma zamanını (saat) ifade etmektedir (Tüfekçi, 2014).

Uzun kurutma süreleri için denklemin ilk terimleri çözüm için kullanıldığında, Denklem 5.7 logaritmik formda yazılır (Kocayigit 2010).

$$\ln MR = \ln \frac{8}{\pi^2} - \frac{\pi^2 D_{eff}}{4L^2} t \quad (5.8)$$

Deneysel MR değerlerinin doğal logaritmasına karşılık kuruma zamanı grafiği çizildiği zaman elde edilen doğrunun eğiminden etkin difüzyon katsayısı hesaplanır.

$$\text{eğim} = \frac{\pi^2 D_{eff}}{4L^2} \quad (5.9)$$

5.3.5 Kalite Parametrelerindeki Değişimlerin Hesaplanması

L*, a*, b*, Hue açısı, Kroma, toplam fenolik madde miktarı ve antioksidan aktivite değerlerinin yüzde değişimleri Denklem 5.10 kullanılarak hesaplanmıştır.

$$\text{Yüzde Değişim} = [(\text{Son Değer}/\text{İlk Değer}) - 1] \times 100 \quad (5.10)$$

5.4 Kurutma Kinetiğine Ait Modelleme Çalışmaları

5.4.1 Lewis Model

Lewis model Denklem 5.11'de verilmiştir.

$$MR = \exp(-kt) \quad (5.11)$$

Burada k kinetik sabitini (1/dakika), t kuruma zamanını (dakika) ifade etmektedir (Özel 2010).

5.4.2 Page Model

Page model Denklem 5.12'de verilmiştir.

$$MR = \exp(-kt^n) \quad (5.12)$$

Burada k kinetik sabitini (1/dakika), n modele ait katsayıyı ve t kuruma zamanını (dakika) ifade etmektedir (Arslan ve Özcan 2010).

5.4.3 Modifiye Page Model

Modifiye Page model Denklem 5.13'te verilmiştir.

$$MR = \exp(-(kt)^n) \quad (5.13)$$

Burada k kinetik sabitini (1/dakika), n modele ait katsayısı ve t kuruma zamanını (dakika) ifade etmektedir (Wang ve diğ. 2007).

5.4.4 Henderson ve Pabis Model

Henderson ve Pabis model Denklem 5.14'te verilmiştir.

$$MR = a \exp(-kt) \quad (5.14)$$

Burada a modele ait katsayısı (birimsiz), k kinetik sabitini (1/dakika) ve t kuruma zamanını (dakika) ifade etmektedir (Arslan ve Özcan 2010)

5.4.5 Logaritmik Model

Logaritmik model Denklem 5.15'te verilmiştir.

$$MR = a \exp(-kt) + c \quad (5.15)$$

Burada a modele ait katsayısı (birimsiz), c modele ait katsayısı (birimsiz), k kinetik sabitini (1/dakika) ve t kuruma zamanını (dakika) ifade etmektedir (Mcminn 2006).

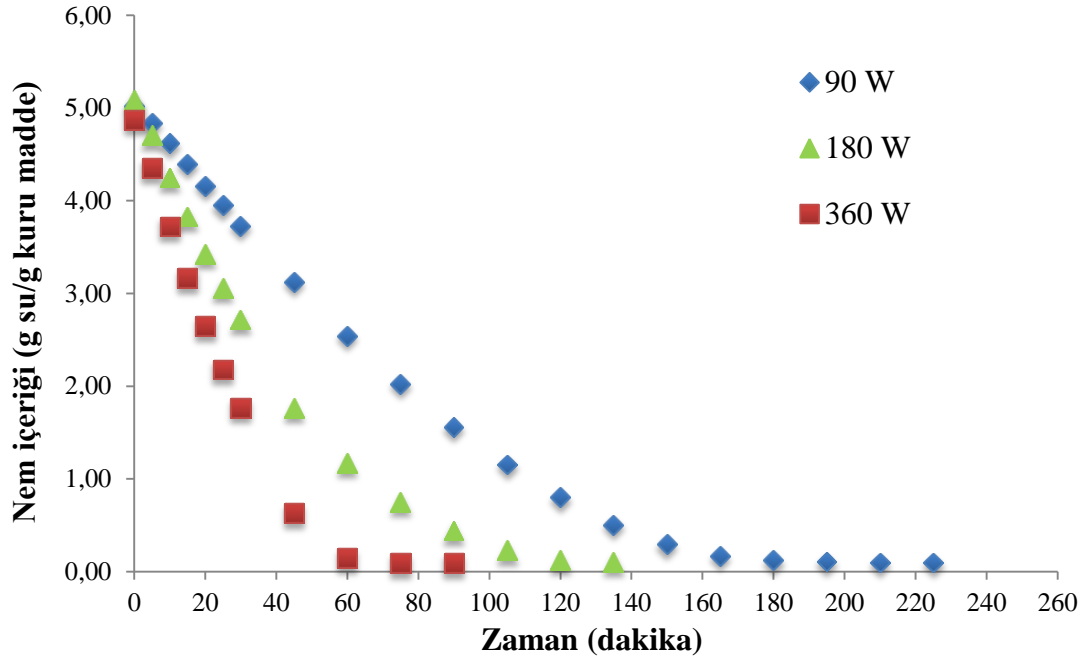
6. BULGULAR VE TARTIŞMA

6.1 Mikrodalğanın Limon Kabuğu Örneklerinin Kurutulması Üzerindeki Etkisi

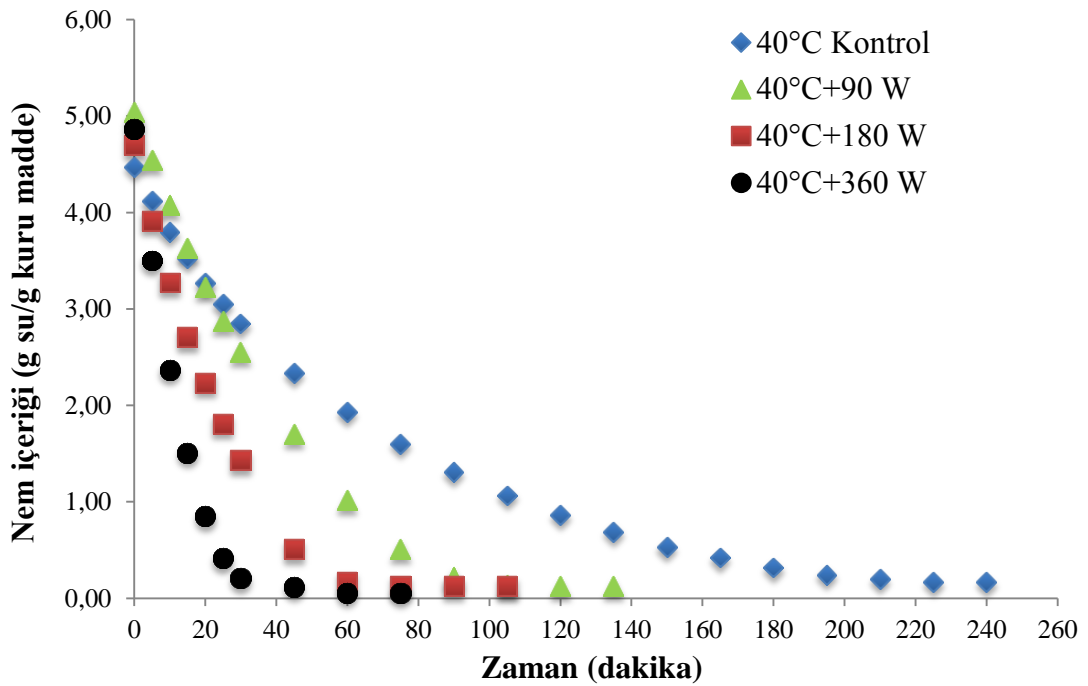
6.1.1 Nem İçeriği Değişimi

Bu çalışmada kullanılan limon kabuğu örneklerinin başlangıç ortalama nem içeriği $M_0 = 4,91$ g su/g kuru madde olarak tespit edilmiştir. Sıcak hava, mikrodalga ve sıcak hava-mikrodalga kombinasyonlarıyla kurutulan örneklerin zamana bağlı olarak nem içeriğindeki değişimler Ek A'da, Tablo A1-A15'te sırasıyla verilmiştir. Ayrıca Şekil 6.1-6.4'te grafik şeklinde gösterilmiştir.

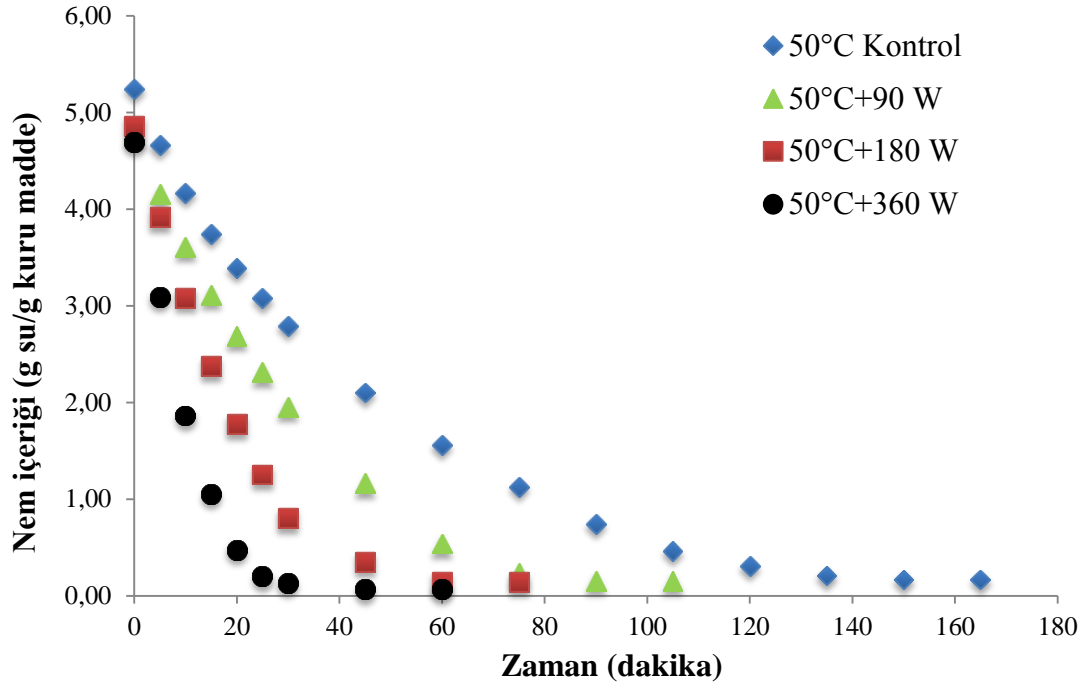
Genel olarak sıcak hava-mikrodalga kombinasyonlarıyla yapılan kurutma işlemlerinde mikrodalga gücünün artırılmasıyla kuruma sürelerinde kısalmalar meydana gelmiştir. Örneklerin 0,2 g su/g kuru madde nem içeriğine gelmeleri Tablo 6.1'de verilmiştir. Örneğin, 40°C sıcak hava ile kurutulan örneklerin nem içeriğinin 0,2 g su/g kuru madde nem içeriğine gelmesi 208 dakika sürerken; 40°C sıcak hava ve 90, 180, 360 W mikrodalga kombinasyonları ile yapılan kurutma işlemlerinde örneklerin aynı nem içeriğine gelme süreleri sırasıyla 93, 58, 30 dakika olarak bulunmuştur. Ayrıca kurutma sıcaklıklarının artırılması da kuruma sürelerinde kısalmaya neden olmuştur. En kısa kurutma süresi 60°C+360 W kombinasyonu ile yapılan kurutma işleminde gözlenmiş olup, örneklerin 5,26 g su/g kuru madde nem içeriğinden 0,2 g su/g kuru madde'ye gelme süresi 24 dakika olarak hesaplanmıştır. 60°C+360 W kombinasyonun en yüksek kuruma hızına sahip olmasına, kurutma koşulları içerisinde en yüksek sıcaklık ve mikrodalga gücü değerinin kullanılması ve bu yüzden örnekteki suyun buharlaşmasının en hızlı gerçekteşmesinin neden olduğu düşünölmektedir.



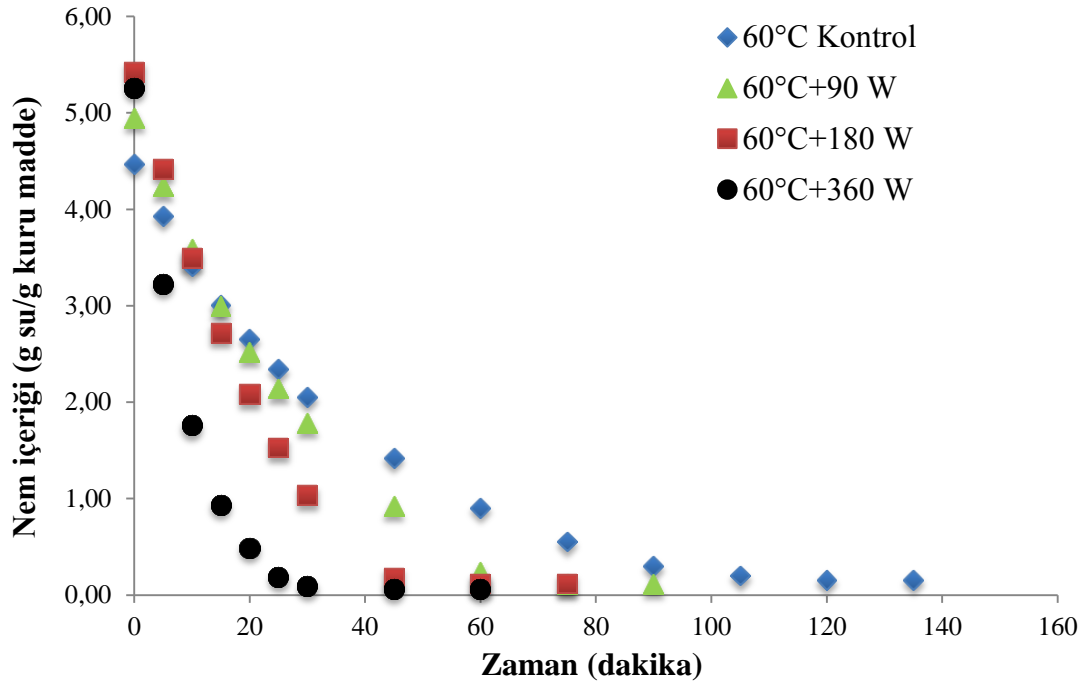
Şekil 6. 1: Mikrodalga ile kurutulan limon kabuğu örneklerinin nem içeriğinin kuruma zamanı ile değişimi



Şekil 6. 2: 40°C ve mikrodalga kombinasyonları ile kurutulan limon kabuğu örneklerinin nem içeriğinin kuruma zamanı ile değişimi



Şekil 6. 3: 50°C ve mikrodalga kombinasyonları ile kurutulan limon kabuğu örneklerinin nem içeriğinin kuruma zamanı ile değişimi



Şekil 6. 4: 60°C ve mikrodalga kombinasyonları ile kurutulan limon kabuğu örneklerinin nem içeriğinin kuruma zamanı ile değişimi

Horuz (2018) yaptığı çalışmada elma örneklerini 50, 60, 70°C sıcaklıklar ve 120, 150, 180 W mikrodalga güçleri ile ayrı ayrı ve kombinasyonlar şeklinde kurutmuştur. Bu çalışmanın sonucunda en yüksek kuruma hızı ve en kısa kuruma süresinin 70°C+180 W kombinasyonun ait olduğunu belirlemiştir.

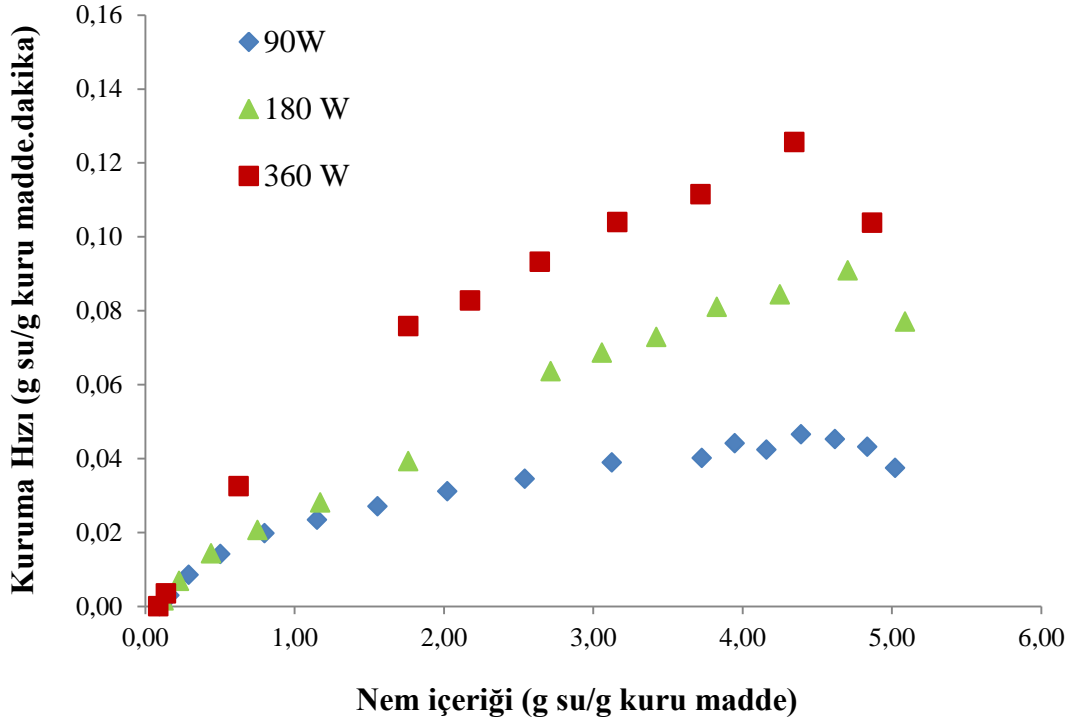
Alibaş (2006) pazı yaprağı üzerine yaptığı çalışmada 50, 75 ve 100°C sıcaklıklar ile 350, 500 ve 650 W mikrodalga güçlerini ayrı ayrı ve kombinasyon şeklinde kullanarak kurutma işlemlerini gerçekleştirmiştir. Çalışma verilerini değerlendirdiğinde en yüksek kuruma hızı ve kuruma süresinin en kısa olduğu kurutmanın 100°C+650 W kombinasyonu olduğunu tespit etmiştir.

Tablo 6. 1: Limon kabuğu örneklerinin 0,2 g su/g kuru madde nem içeriğine gelme süreleri

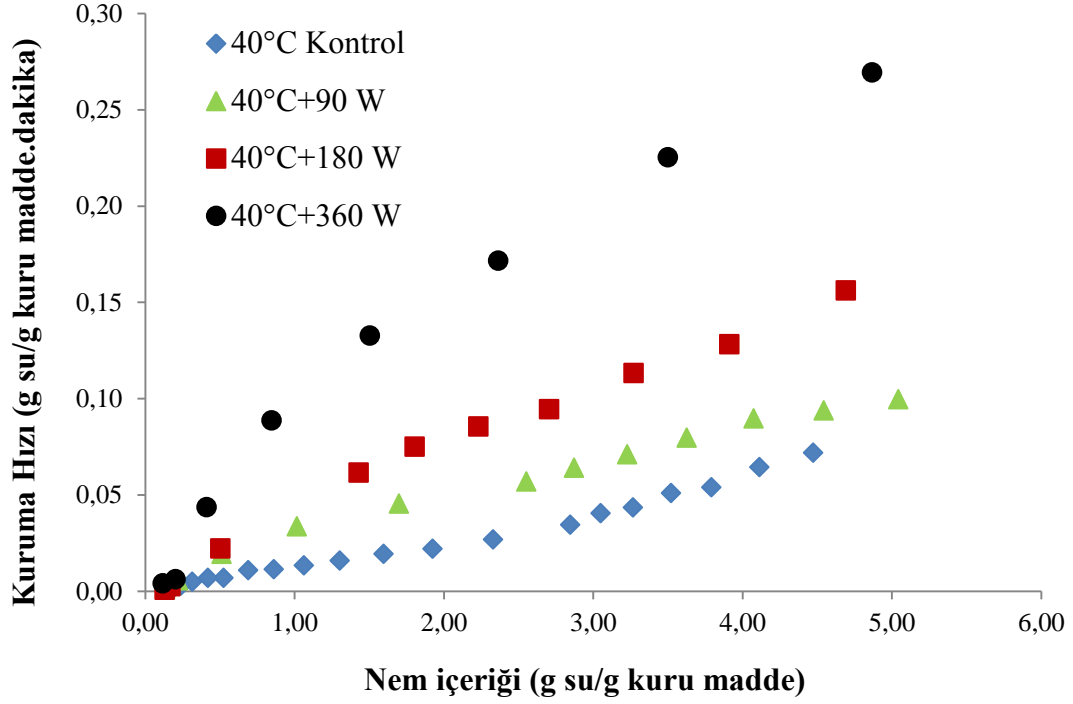
Kurutma Sıcaklığı (°C)	Mikrodalga Gücü (W)	0,2 g su/g kuru madde Nem İçeriğine Gelme Süresi (dakika)
-	90 W	160
	180 W	108
	360 W	58
40°C	-	208
	90 W	93
	180 W	58
	360 W	30
50°C	-	135
	90 W	80
	180 W	55
	360 W	25
60°C	-	105
	90 W	64
	180 W	44
	360 W	24

6.1.2 Kuruma Hızı Değişimi

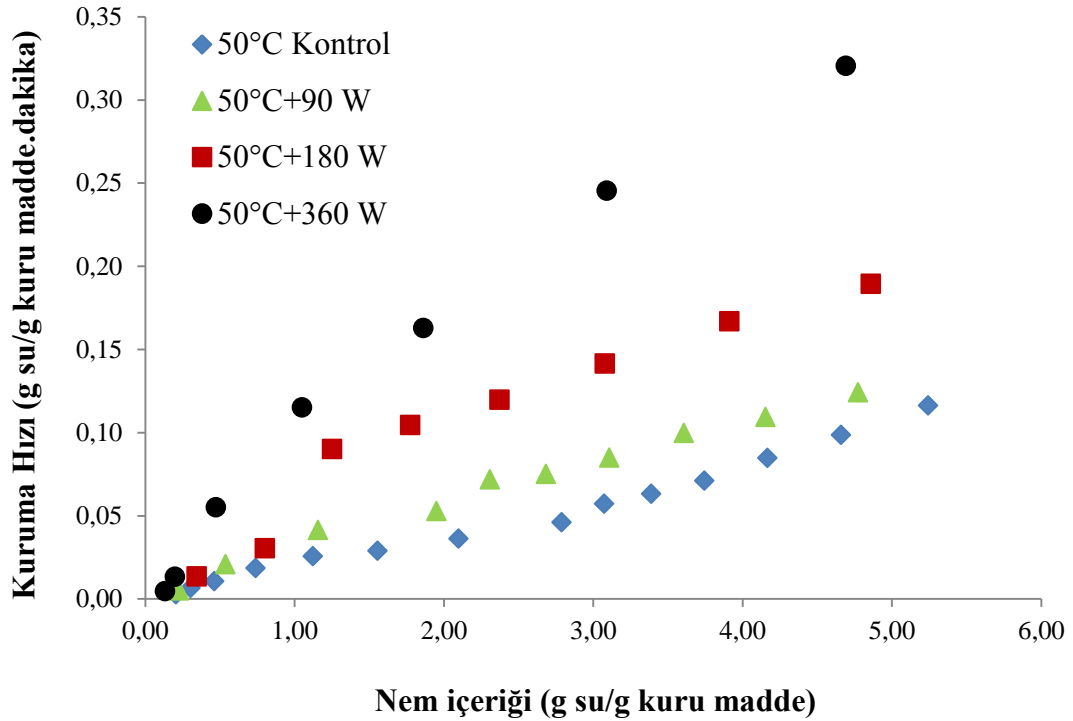
Mikrodalganın sıcak havayla birlikte kullanılmasının nem içeriğine etkisini incelemek için farklı sıcaklıklarda sıcak hava ve mikrodalga kombinasyonlarıyla kurutulan limon kabuğu örneklerinin kuruma hızları Denklem 5.5 kullanılarak hesaplanmış ve bu değerler Şekil 6.5-6.8’de verilmiştir.



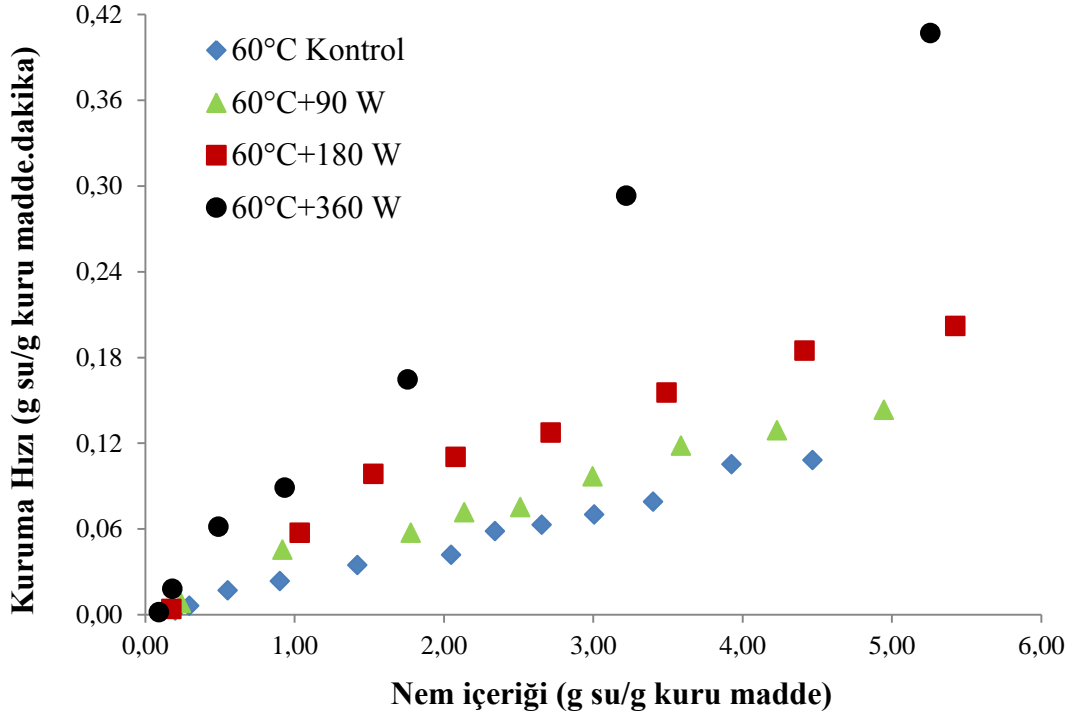
Şekil 6. 5: Mikrodalga ile kurutulan limon kabuğu örneklerinin kuruma hızlarının nem içeriği ile değişimi



Şekil 6. 6: 40°C ve mikrodalga kombinasyonları ile kurutulan limon kabuğu örneklerinin kuruma hızlarının nem içeriği ile değişimi



Şekil 6. 7: 50°C ve mikrodalga kombinasyonları ile kurutulan limon kabuğu örneklerinin kuruma hızlarının nem içeriği ile değişimi



Şekil 6. 8: 60°C ve mikrodalga kombinasyonları ile kurutulan limon kabuğu örneklerinin kuruma hızlarının nem içeriği ile değişimi

Limon kabuğunun 90, 180, 360 W mikrodalga güçleriyle kurutulmasında ilk önce artan hız periyodu gerçekleşmiş ve ardından azalan hızda kuruma periyodunun gerçekleştiği tespit edilmiştir. Bunun nedeni olarak örneklerin mikrodalga ile kurutulması sırasında kurumanın örneklerin iç kısmından başlayarak dış yüzeye doğru olması nedeniyle gerçekleştiği ve kuruma hızının önce artış daha sonrada azalma gösterdiği düşünülmektedir. Örneklerin 40, 50 ve 60°C’de gerçekleştirilen kurutmaları ve sıcak hava-mikrodalga kombinasyonları ile yapılan kurutmalarının azalan kurutma hızı periyodunda gerçekleştiği belirlenmiştir. Mikrodalganın sıcak havaya ilave olarak kullanılmasıyla birlikte mikrodalga ve sıcaklık değerlerinin yükseltilmesi sonucu kuruma hızında artış meydana gelmiştir. Kuruma hızları arasındaki bu farklılıklar örneğin nem içeriği düşüğe azalmıştır. Örneklerin kurutulmasında en yüksek kuruma hızına sahip kurutma koşulunun 60°C+360 W kombinasyonu olduğu görülmüştür.

Horuz ve diğ. (2017^b) yaptıkları çalışmada domates dilimlerini 60°C sabit sıcaklıkta 120, 150 ve 180 W mikrodalga gücüne ilave 0 (ultrases uygulaması yapılmamış), 20 ve 40 dakikalık ultrases uygulaması yapmışlardır. Ultrases

uygulaması yapılmayan örneklerde 60°C+180 W kombinasyonunun en yüksek kuruma hızına sahip olduğu belirlenmiştir. Soysal (2004) yaptığı çalışmada 360-900 W arasındaki 7 mikrodalga gücünde gerçekleştirdiği kurutmalarda maydanozun kurutma karakteristiklerini incelemiştir. Bu incelemeler sonucu maydanoz örneklerine ait kuruma hızları değerlendirildiğinde öncelikle kuruma hızının yükseldiği ardından ise mikrodalga değerlerine bağlı olarak sabit hızda ya da azalan hızda kuruma periyotları şeklinde devam etmiştir.

6.1.3 Renk Değişimi

Farklı kurutma şartlarında kurutulmuş limon kabuğu örneklerine ait L*, a*, b* değerleri Tablo 6.2-6.4'te verilmiştir.

Tablo 6. 2: Taze ve kurutulmuş limon kabuğu örneklerine ait L* değerleri ve yüzde değişimleri

Kurutma Şartları	Taze	Kuru	% Değişim ¹
90 W	62,35	59,48	-4,60±1,06 ^a
180 W	62,13	59,85	-3,65±1,83 ^a
360 W	62,72	53,63	-14,49±0,57 ^d
40°C	62,63	58,47	-6,63±1,69 ^b
50°C	63,27	56,16	-11,23±1,52 ^c
60°C	62,87	55,39	-11,86±4,33 ^c
40°C+90 W	62,44	55,17	-11,62±3,91 ^c
40°C+180 W	63,04	53,72	-14,78±0,36 ^d
40°C+360 W	63,22	49,42	-21,79±2,45 ^f
50°C+90 W	62,69	53,79	-14,18±1,09 ^d
50°C+180 W	62,04	52,12	-15,98±1,25 ^d
50°C+360 W	63,33	47,52	-24,96±1,23 ^g
60°C+90 W	63,74	51,76	-18,78±1,40 ^e
60°C+180 W	63,74	50,50	-20,76±1,48 ^f
60°C+360 W	63,14	47,61	-24,59±0,78 ^g

¹Farklı harfler değerlerin p<0,05 seviyesinde farklı olduğunu ifade etmektedir.

Taze limon kabuğuna ait L* değerleri 62,04-63,74 arasında değişmektedir. Örneklerin kurutulmasıyla birlikte L* değerinde düşüş meydana gelmiş ve değerler 47,52-59,85 arasında değişiklik göstermiştir. Sıcaklık ve mikrodalga değerlerinin arttırılmasıyla birlikte L* değerindeki yüzde değişimdeki azalma yükselmiştir.

Tablo 6. 3: Taze ve kurutulmuş limon kabuğu örneklerine ait a* değerleri ve yüzde değişimleri

Kurutma Şartları	Taze	Kuru	% Değişim ¹
90 W	16,32	21,50	31,99±8,21 ^{ef}
180 W	16,84	26,41	57,11±8,44 ^d
360 W	13,80	53,75	289,44±16,39 ^c
40°C	16,88	17,09	1,67±7,46 ^h
50°C	15,49	16,63	7,37±4,07 ^{gh}
60°C	16,92	18,45	9,08±6,83 ^{fgh}
40°C+90 W	16,31	18,73	15,04±7,61 ^{efgh}
40°C+180 W	15,90	20,10	26,45±7,36 ^{efg}
40°C+360 W	15,92	74,62	370,16±32,76 ^b
50°C+90 W	15,91	18,93	18,93±4,81 ^{efgh}
50°C+180 W	15,08	19,17	27,22±4,30 ^{efg}
50°C+360 W	13,93	75,44	447,81±64,28 ^a
60°C+90 W	14,66	18,85	28,74±6,17 ^{efg}
60°C+180 W	13,32	17,73	35,15±19,22 ^e
60°C+360 W	15,80	76,42	384,56±28,17 ^b

¹Farklı harfler değerlerin p<0,05 seviyesinde farklı olduğunu ifade etmektedir.

Taze ve kuru limon kabuğu örneklerine ait a* değeri kurutmaya birlikte artış göstermiştir. Sıcaklık ve mikrodalga gücü değerlerinin yükseltilmesiyle a* değerindeki artışın yükseldiği tespit edilmiştir. Taze ve kuru örneklere ait değer aralıkları sırasıyla 12,32-18,58 ve 15,08-76,41 olarak belirlenmiştir. Örneklerin 180 W, 360 W ve bu mikrodalga gücünün sıcak hava ile kombinasyonlarında kurutulması a* değerleri üzerindeki etkisi istatistiksel olarak anlamlı olduğu saptanmıştır (p<0,05). Bu kurutulmalarda 180 W mikrodalga gücünde örneğin bazı bölgelerinde

kararmalar meydana gelirken, 360 W ve 360 W mikrodalga gücünün sıcak hava ile kombinasyonlarındaki kurutmalarda örneklerde tamamen renk kararması meydana gelmiştir. Bu renk değişikliklerinin de kabukta bulunan flavonoidlerin kurutma esnasında zarara uğramasından kaynaklandığı düşünülmektedir. Diğer kurutma koşullarında ise kuru ürünlerde benzer a* değerleri elde edilmiştir.

Tablo 6. 4: Taze ve kurutulmuş limon kabuğu örneklerine ait b* değerleri ve yüzde değişimleri

Kurutma Şartları	Taze	Kuru	% Değişim ¹
90 W	68,02	63,07	-7,27±1,07 ^c
180 W	68,01	61,01	-10,27±1,29 ^d
360 W	67,22	55,41	-17,57±1,01 ^e
40°C	68,69	65,23	-4,85±4,39 ^{ab}
50°C	67,24	64,52	-4,03±1,29 ^a
60°C	67,62	64,13	-5,04±3,46 ^{ab}
40°C+90 W	67,96	64,23	-5,49±0,92 ^{abc}
40°C+180 W	66,86	63,95	-4,35±0,75 ^a
40°C+360 W	68,96	51,23	-25,67±1,76 ^g
50°C+90 W	67,12	63,48	-5,41±2,02 ^{abc}
50°C+180 W	66,27	62,75	-5,29±1,56 ^{abc}
50°C+360 W	66,29	51,05	-22,98±0,88 ^f
60°C+90 W	67,60	63,20	-6,47±2,26 ^{bc}
60°C+180 W	66,94	62,56	-6,53±1,28 ^{bc}
60°C+360 W	66,82	51,79	-22,49±0,95 ^f

¹Farklı harfler değerlerin p<0,05 seviyesinde farklı olduğunu ifade etmektedir.

Kabukların b* değerlerinde kurutma işlemi sonrası azalma belirlenmiştir. Taze örneklerde b* değeri 66,27-68,96 arasında değişirken kuru örneklerde ise 51,05-65,23 arasındadır. Bu azalma genel olarak % 4,03-10,27 arasındayken, 360 W ve 360 W ile sıcak hava kombinasyonlarında % 17,57 – 25,67 aralığındadır. Limon kabuğu için sarılık (b*) değerinin renk kriterleri açısından önemlidir. Kuru örneklerde bu sarılık değerinin 360 W ve bu mikrodalga gücünün sıcak hava ile kombinasyonlarındaki kurutmalarda önemli derecede düştüğü görülmüştür. Bunun sebebi olarak ise örneklerde meydana gelen kararmalar düşünülmektedir. Diğer

kurutma koşullarında ise sarılık değeri taze örneklere göre çok az bir düşüş gösterse de, çok önemli bir değişimin olmadığı dşnlmektedir.

Taze ve kurutulmuş örneklere ait Kroma, Hue açısı ve Toplam Renk Değişimi (ΔE^*) değerleri Tablo 6.5'te verilmiştir. Bu değerler göz önüne alındığında ΔE^* değerinde sıcaklık ve mikrodalga gücünün artmasıyla birlikte bir artış meydana gelmiştir. Bu da sıcaklık ve mikrodalga gücünün yükseltilmesinin örneğin orijinal rengineeki değişimin artmasına neden olduğunu göstermektedir. Yüksek kuruma şartlarına maruz kalan örneklerde, enzimatik olmayan reaksiyonlar sonucu renk kaybına neden olduğu dşnlmektedir.

Taze rneklerde Hue açısı değeri 75,90-78,76 aralığında bulunmuştur. Kurutma işlemiyle birlikte bu değerlerin azaldığı grlmştir. Kurutma sonrası Hue açısı 34,10-75,55 aralığında belirlenmiştir. Hue açısı değeri 360 W ve bu mikrodalga gücünün kombinasyonlarıyla yapılan kurutmalarda 34,10-46,20 değerlerine kadar dşmştir. Bu düşüş örneğin rengineeki kararmalar sonucu Hue açısını ifade eden renk dairesinde sarıdan turuncuya doğru yönelmesiyle açıklanmaktadır. Toplam renk değişimini ifade eden ΔE^* değeri sıcak hava ve mikrodalga değerlerinin yükseltilmesiyle artmıştır. Bu artış 90, 180 W ve 40, 50, 60°C'de ve kombinasyonlarında yapılan kurutmalarda 6,04-14,75 arasında kalırken, 360 W ve bu mikrodalga gücünün sıcak hava ile kombinasyonlarındaki kurutmalarda 42,65-64,36 aralığına kadar artmıştır.

Tablo 6. 5: Taze ve kurutulmuş limon kabuğu örneklerine ait Hue açısı, Kroma değerleri ve yüzde değişimleri ile ΔE^* değerleri

Kurutma Şartları	Hue Açısı			Kroma			ΔE^* ¹
	Taze	Kuru	% Değişim ¹	Taze	Kuru	% Değişim ¹	
90 W	76,51	71,18	-6,96±1,16 ^g	69,96	66,64	-4,73±1,17 ^d	7,79±1,10 ^l
180 W	76,09	66,60	-12,47±1,32 ^h	70,07	66,49	-5,09±1,25 ^d	12,13±1,32 ^{ef}
360 W	78,40	45,89	-41,46±1,48 ^l	68,63	77,21	12,52±2,96 ^c	42,65±2,09 ^c
40°C	76,14	75,32	-1,05±1,76 ^a	70,76	67,44	-4,55±4,05 ^d	6,04±2,09 ^j
50°C	77,02	75,55	-1,91±0,68 ^{ab}	69,00	66,63	-3,43±1,27 ^d	7,75±1,10 ^l
60°C	75,90	73,97	-2,54±1,09 ^{bc}	69,76	66,79	-4,17±3,69 ^d	8,97±2,01 ^{hi}
40°C+90 W	76,51	73,75	-3,61±1,29 ^{cd}	69,90	66,91	-4,27±0,95 ^d	8,74±1,89 ^{hi}
40°C+180 W	76,62	72,55	-5,31±1,13 ^{ef}	68,73	67,04	-2,45±0,98 ^d	10,68±0,44 ^{fg}
40°C+360 W	76,99	34,49	-55,21±1,12 ^j	70,78	90,52	27,96±4,01 ^b	62,89±2,09 ^b
50°C+90 W	76,66	73,40	-4,25±0,84 ^{de}	68,98	66,24	-3,96±2,01 ^d	10,19±0,51 ^{gh}
50°C+180 W	77,18	73,01	-5,39±0,75 ^{ef}	67,96	65,61	-3,44±1,43 ^d	11,34±1,00 ^{fg}
50°C+360 W	78,13	34,10	-56,35±1,07 ^j	67,75	91,10	34,46±2,65 ^a	65,32±2,40 ^a
60°C+90 W	77,76	73,39	-5,61±0,82 ^f	69,17	65,95	-4,62±2,27 ^d	13,52±1,37 ^{dc}
60°C+180 W	78,76	74,19	-5,78±1,86 ^f	68,27	65,03	-4,73±1,72 ^d	14,75±1,30 ^d
60°C+360 W	76,70	34,14	-55,49±1,23 ^j	68,67	92,32	34,46±2,67 ^a	64,36±2,15 ^{ab}

¹Farklı harfler değerlerin p<0,05 seviyesinde farklı olduğunu ifade etmektedir.

Donukluk-canlılık olarak ifade edilen Kroma değerleri genel olarak kurutmaya birlikte azalma göstermiştir. Kroma değerlerinin düşmesiyle donukluğun arttığını göstermektedir. Ancak sıcak hava ile 360 W kombinasyonlarıyla yapılan kurutmalarda kroma değeri yükselmiştir. Bu da bu kurutmalar sonucu örneğin canlılığının arttığını göstermektedir.

Maskan (2000) yaptığı çalışmada sıcak hava, mikrodalga ve sıcak hava-mikrodalga kombinasyonlarıyla muz dilimlerinin kurutulması sonucu örneklerdeki renk değişimlerini L^* , a^* , b^* ve ΔE^* değerlerine göre incelemiştir. Taze örneğin L^* değeri 71,01 iken, kurutmalar sonucu bu değer 40,815-62,08 arasında bulmuştur. Taze örnekte 3,96 olan a^* değeri kurutmanın etkisiyle birlikte artış tespit etmiştir. Bu değişimlerin enzimatik olmayan esmerleşmeyle ilişkili olabileceği düşünülmüştür. Örneklere ait b^* değerleri kurutma işlemleri sonucu artmıştır. Böylelikle örneğin sahip olduğu sarılık değeri yükselmiştir. Toplam renk değişimi (ΔE^*) sıcak hava-mikrodalga kurutmada diğer yöntemlere göre daha az düşüş göstermiştir.

Alibaş (2007)'in yapmış olduğu çalışmada kabak dilimleri 1 m/s hava hızına sahip fırında sıcak hava (50 ve 75°C), mikrodalga (160 ve 350 W) ve sıcak hava-mikrodalga kombinasyonları ile kurutmuştur. Bu kurutmalar sonucu örneklere ait renk değerleri incelenmiştir. En iyi renk değerlerine sahip örneklerin kombinasyon kurutma sırasında elde edildiğini belirlemiştir. Hava ile kurutma, diğer kurutma yöntemlerine göre daha uzun kuruma sürdüğü için, örneklerde kararmalara neden olduğu tespit etmiştir. Taze kabak dilimleri ile en yakın olan renk değerleri (L^* , a^* , b^*) sıcak hava- mikrodalga yönteminde bulmuştur. Kombinasyon sistemlerinde ise taze örneklere en yakın olan renk değerleri, 75°C+350 W kombinasyonu olduğu saptamıştır. Son olarak tüm kurutmalarda Kroma değerinde düşüş meydana gelirken, kuru örneklerin Hue açısı değerleri, taze örnek değerine yakın olarak tespit etmiştir.

6.1.4 Toplam Fenolik Madde ve Antioksidan Aktivite Değişimi

Taze ve kuru limon kabuklarının toplam fenolik madde miktarları ve antioksidan aktiviteleri Tablo 6.6'da verilmiştir.

Tablo 6. 6: Taze ve farklı kurutma koşullarında kurutulan limon kabuğu örneklerine ait antioksidan aktivite ve toplam fenolik madde miktarları

Kurutma Şartları	Antioksidan Aktivite (mmol TE/g kuru madde)			Toplam Fenolik Madde (mg GAE/g kuru madde)		
	Taze	Kuru	% Değişim ¹	Taze	Kuru	% Değişim ¹
90 W	16,901	2,959	-82,43±1,58 ^b	12,443	16,356	31,49±2,31 ^j
180 W	16,575	3,588	-78,33±1,29 ^{de}	11,992	21,329	78,03±6,65 ^{gh}
360 W	16,514	4,494	-72,73±1,97 ^{hi}	12,040	25,050	108,11±3,37 ^e
40°C	15,965	2,309	-85,54±0,42 ^a	12,466	15,130	21,34±2,19 ^k
50°C	16,266	3,061	-81,16±1,12 ^{bc}	12,561	19,062	51,80±2,85 ^l
60°C	16,249	4,041	-75,10±1,00 ^{fg}	12,741	22,493	76,56±1,48 ^{gh}
40°C+90 W	16,260	3,375	-79,18±1,50 ^{cd}	12,033	20,587	71,21±5,34 ^h
40°C+180 W	16,433	4,254	-74,11±0,42 ^{gh}	12,428	23,676	90,56±3,83 ^f
40°C+360 W	16,494	5,183	-68,57±0,47 ^j	11,995	30,083	151,01±8,22 ^c
50°C+90 W	16,804	3,919	-76,67±0,80 ^{ef}	13,005	21,963	82,90±3,91 ^{fg}
50°C+180 W	16,710	4,653	-72,13±1,18 ^{hi}	12,285	26,509	115,85±4,39 ^{de}
50°C+360 W	16,532	5,843	-64,64±1,24 ^k	12,788	33,476	161,89±5,95 ^b
60°C+90 W	16,896	4,863	-71,20±0,91 ^l	12,417	27,328	120,17±6,27 ^d
60°C+180 W	16,323	5,313	-67,41±1,61 ^j	12,637	32,282	155,55±6,37 ^{bc}
60°C+360 W	16,156	6,140	-61,98±1,26 ^l	12,272	35,112	186,11±1,29 ^a

¹Farklı harfler değerlerin p<0,05 seviyesinde farklı olduğunu ifade etmektedir.

Taze limon kabuğundaki antioksidan aktiviteleri 15,965-16,901 mmol TE/g kuru madde arasında değişmektedir. Kurutulan limon kabuğu örneklerine ait antioksidan aktiviteleri ise 2,309-6,140 mmol TE/g kuru madde arasında bulunmuştur. Bu sonuçlar doğrultusunda kurutma işlemi sonucu taze örnekler göre kuru örneklerde azalma meydana gelmiştir. Bu durum örnekler uygulanan ısı işlem sırasında gıdada doğal olarak bulunan antioksidanların bozunmasıyla ilgili olduğu düşünülmektedir. Ayrıca sıcaklığın ve mikrodalga gücünün artması ile birlikte kuruma süresinin azalmasına bağlı olarak örneklerin antioksidan aktivitesindeki düşüş azalmaktadır.

Kuruma süresi en uzun olan 40°C sıcak hava ile kurutmada, antioksidan aktivitedeki azalma % 85,54 ile en fazla olarak tespit edilmiştir. 40°C ile birlikte kullanılan mikrodalga uygulamalarında ise antioksidan aktivitedeki azalma, mikrodalga gücünün (90, 180 ve 360 W) arttırılmasıyla birlikte sırasıyla % 79,18, % 74,11 ve % 68,57'e kadar düşmüştür. Kurutma sıcaklığı ve mikrodalga gücü en yüksek olan 60°C+360 W kombinasyonunda ise antioksidan aktivitedeki azalmanın % 61,98 ile en düşük olduğu belirlenmiştir. Elde edilen veriler doğrultusunda kurutma yöntemlerinin antioksidan aktivite üzerine etkisi istatistiksel açıdan önemli bulunmuştur ($p<0,05$).

Tekgül (2019) yaptığı çalışmada limon kabuklarını 5 farklı yöntemle kurutmuş ve bu kurutmalar sonucu limon kabuğu örneğine ait toplam antioksidan aktivite değerlerinin kurutma sonrası azaldığını belirlemiştir.

Horuz ve diğ. (2017^a) yaptıkları çalışmada vişnenin konvansiyonel ve hibrit sistem (konvansiyonel-mikrodalga) ile kurutulması sonucu taze örneklerdeki antioksidan aktivitenin kurutma sonrası düştüğü tespit edilmiştir. Ayrıca kuru örnekler baz alındığında hibrit sistemle yapılan kurutmalarda antioksidan aktivitenin konvansiyonel kurutmalara göre daha yüksek olduğu saptanmıştır.

İzli ve diğ. (2014) tarafından yapılan çalışmada konvektif, mikrodalga ve mikrodalga-konvektif kurutma yöntemleri ile altın çilek meyvesinin toplam fenolik madde ve antioksidan kapasitesi üzerindeki etkileri incelenmiştir. Kurutulmuş örnekler, taze örnek ile karşılaştırıldığında antioksidan kapasitede % 65-75 aralıklarında düşüş gösterdiği belirtilmiştir. Sıcaklık ve mikrodalga gücünün arttırılması sonucu antioksidan kapasitedeki düşüşün arttığı görülmüştür.

Toplam fenolik madde miktarı değerlerine baktığımız zaman kurutma işlemleri sonucu limon kabuklarındaki toplam fenolik madde miktarında artış meydana gelmiştir. Taze limon kabuklarındaki toplam fenolik madde miktarı 11,992-13,005 mg GAE/g kuru madde arasında iken, kuru örneklerde ise 15,130-35,112 mg GAE/g kuru madde aralığında tespit edilmiştir. Kurutma sonrasındaki toplam fenolik madde miktarındaki bu artışın hücrelerde bağlı bulunan fenolik maddelerin ısıyla birlikte ayrılma reaksiyonlarının hızlandığı düşünülmektedir. Elde edilen veriler

sonucu sıcak hava ve mikrodalga kombinasyonlarındaki artışın diğer yöntemlere göre daha fazla olduğu bulunmuştur.

40°C sıcak hava ile yapılan kurutmada toplam fenolik madde miktarındaki artış %21,34 bulunurken, 40°C+90 W, 40°C+180 W ve 40°C+360 W ile yapılan kurutmalardaki toplam fenolik madde miktarındaki artış sırasıyla %71,21, %90,56 ve %151,01 olarak tespit edilmiştir. Sıcak hava ve mikrodalga kurutma şartları kendi içerisinde değerlendirildiğinde de kurutma koşullarının arttırılması sonucu toplam fenolik madde miktarında artış meydana gelmektedir. Son olarak kurutma süresinin en kısa olduğu 60°C+360 W kombinasyonunda toplam fenolik madde miktarı 15,130 mg GAE/g kuru madde'den 35,112 mg GAE/g kuru madde seviyesine ulaşmış ve en fazla artışın %186,11 ile bu kurutma şartında meydana geldiği saptanmıştır. İstatistiksel açıdan, taze örneklerdeki toplam fenolik madde miktarı ile kurutmalar sonrası elde edilen toplam fenolik madde miktarları arasındaki fark önemli bulunmuştur ($p<0,05$).

Horuz ve diğ. (2017^b) yaptıkları çalışmada domates dilimlerini 60°C sabit sıcaklıkta 120, 150 ve 180 W mikrodalga gücüne ilave 0 (ultrases uygulaması yapılmamış), 20 ve 40 dakikalık ultrases uygulaması yapmışlardır. Bu uygulamalar sonucu Ultrases uygulaması yapılmayan örnekler baz alındığı zaman toplam fenolik madde miktarı taze üründe 8,27 mg GAE/g kuru madde tespit edilirken, kuru örneklerde 60°C+120 W, 60°C+150 W ve 60°C+180 W için sırasıyla 9,59 mg GA/g kuru madde, 10,88 mg GAE/g kuru madde ve 6,81 mg GAE/g kuru madde olarak bulmuşlardır. Bu sonuçlara göre kurutma işlemi sonrası 120 W ve 150 W ile yapılan kombinasyon kurutmalarda taze örneğe göre artış meydana gelirken, 180 W ile yapılan kombinasyon kurutmada azalma olduğunu saptamışlardır.

Tekgül (2019) yaptığı çalışmada toplam fenolik madde miktarının taze limon kabuğunda 35,5 mg GAE/100 g kuru madde iken 6 farklı kurutma (açık hava, tepsili, mikrodalga, vakumlu mikrodalga, vakumlu infrared, liyofilizatör) işlemleri sonucu 59,52-227,2 mg GAE/100g kuru madde aralığındaki değerlere yükseldiğini tespit etmiştir. Bu kurutmalar arasında en fazla artışın 227,2 mg GAE/100 g kuru madde liyofilizatör ile kurutma olduğu tespit edilirken bu kurutmayı daha sonra mikrodalga (162,99 mg GAE/100g kuru madde) ve tepsili kurutma (157,74 mg GAE/100 g kuru madde) takip etmiştir.

6.1.5 Kurutma Kinetiğinin Modellenmesi

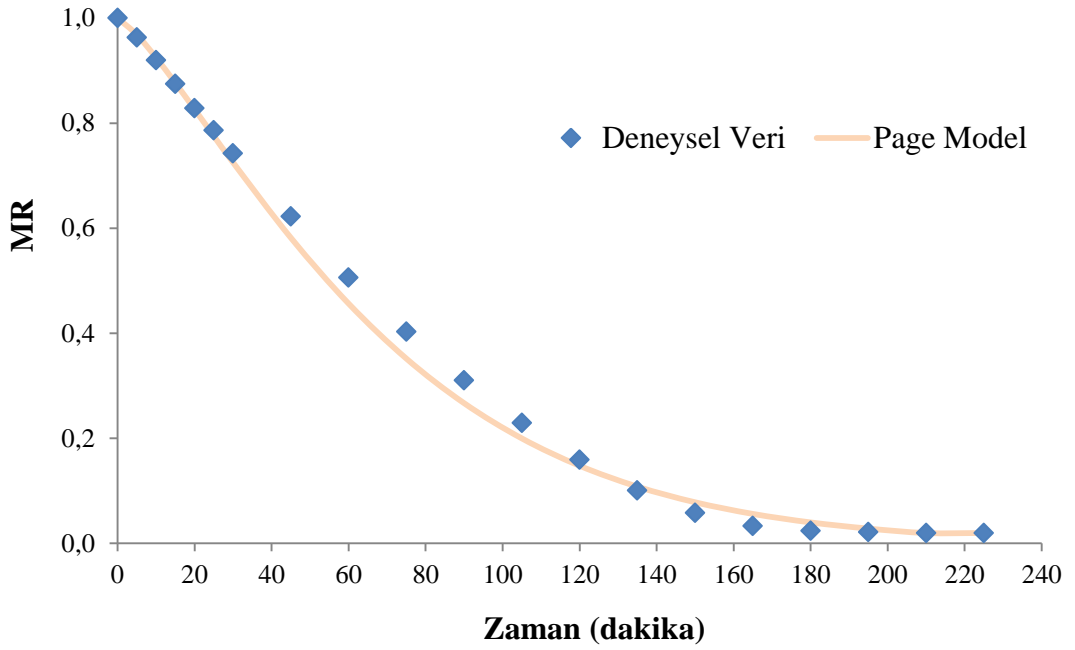
Farklı koşullarda kurutulan limon kabuklarının kurutulması esnasında kuruma süresince elde edilen deneysel MR değerlerinin beş ayrı matematiksel modele uyumu incelenmiştir. Matematiksel modellere ait katsayı, model sabitleri ve istatistiksel veriler Tablo 6.7-6.21’de verilmiştir. Elde edilen R^2 , RMSE ve χ^2 değerlerine göre limon kabuğunun kurutulmasını en iyi açıklayan modelin Page ve Modifiye Page modeller olduğu belirlenmiştir. Kurutmanın uygulandığı her bir kurutma şartı için deneysel ve Page modelden elde edilen MR değerlerinin karşılaştırması grafiksel olarak Şekil 6.9-6.23’te verilmiştir.

Tablo 6.7-6.21 incelendiğinde; Page modele ait kinetik sabitin (k) mikrodalga, sıcak hava, sıcak hava-mikrodalga kombinasyonları için sırasıyla 0,0040-0,0114 dakika⁻¹, 0,0175-0,0239 dakika⁻¹, ve 0,0140-0,0942 dakika⁻¹ arasında değiştiği tespit edilmiştir. Sıcak hava, mikrodalga ve sıcak hava-mikrodalga kombinasyonları için kendi içerisinde olacak şekilde kurutma şartlarının artırılmasıyla kinetik sabitinin de artış gösterdiği belirlenmiştir. Ayrıca Page modele ait diğer bir sabit olan n değeri 0,9587-1,3574 değerleri arasında değişmiştir (Tablo 6.7-6.21).

Limon kabuğu örneklerini en iyi ifade eden model olduğu düşünülen Page modelin literatürdeki geçmiş çalışmalar incelendiğinde benzer şekilde uyumlu sonuçlar verdiği görülmüştür. Horuz ve diğ. (2017^b) domates dilimlerini 60°C sabit sıcaklıkta 120, 150 ve 180 W mikrodalga gücüne ilave 0 (ultrases uygulaması yapılmamış), 20 ve 40 dakikalık ultrases uygulaması yaptıkları çalışmada Page modelin tüm kurutma şartları için en uygun model olduğunu tespit etmişlerdir. Soysal (2004) yaptığı çalışmada 360, 450, 540, 630, 720, 810, 900 W mikrodalga güçlerinde gerçekleştirdiği kurutmalarda maydonuzun kurutma karakteristiklerini incelemiştir. Bu incelemeler sonucu maydonuzun kurutma kinetiğini en iyi açıklayan modelin Page model olduğunu tespit etmiştir.

Tablo 6. 7: 90 W mikrodalga gücü ile kurutulunan limon kabuğu örneği için model katsayıları ve istatistiksel parametreler

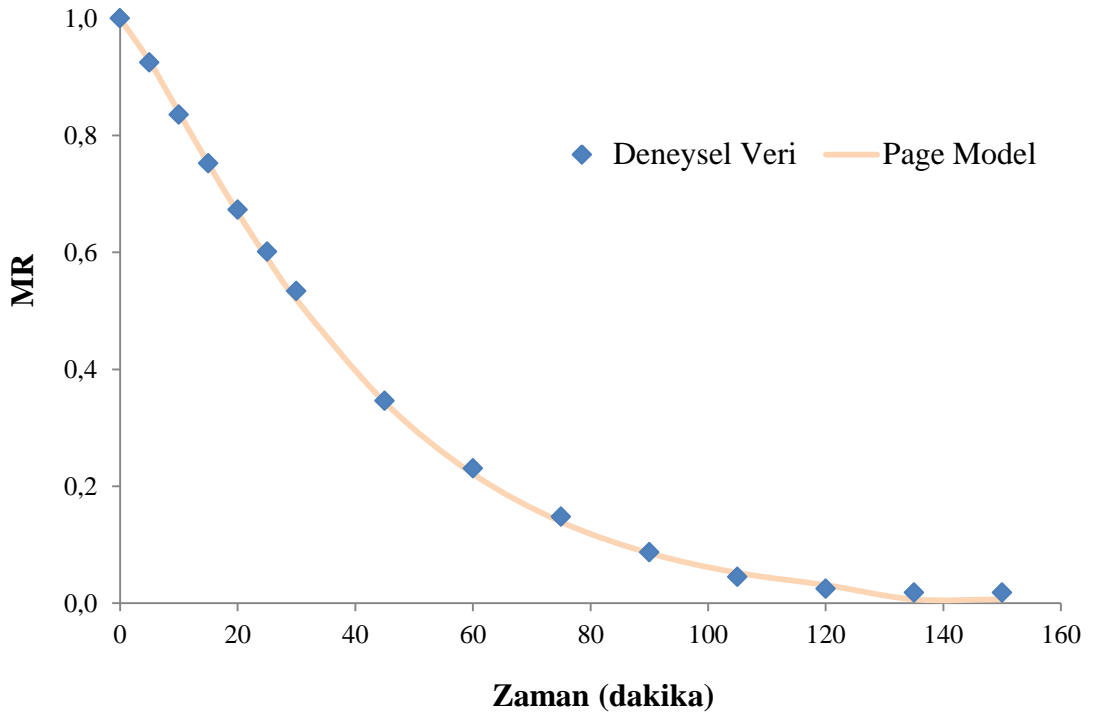
MODEL	90 W			
	Model Katsayıları	R ²	RMSE	χ^2
Lewis	k : 0,0183	0,9542	0,023614	0,011183
Henderson ve Pabis	k : 0,0204 a : 1,3496	0,9716	0,028219	0,016910
Page	k : 0,0040 n : 1,2865	0,9946	0,005606	0,000667
Modifiye Page	k : 0,0138 n : 1,2865	0,9946	0,005606	0,000667
Logaritmik	k : 0,0281 a : 1,7716 c : 0,0192	0,8970	0,062893	0,089246



Şekil 6. 9: 90W mikrodalga gücü ile kurutulunan limon kabuğu örneğine ait deneysel ve Page Model'den elde edilen MR değerlerinin karşılaştırması

Tablo 6. 8: 180 W mikrodalga gücü ile kurutulan limon kabuğu örneği için model katsayıları ve istatistiksel parametreler

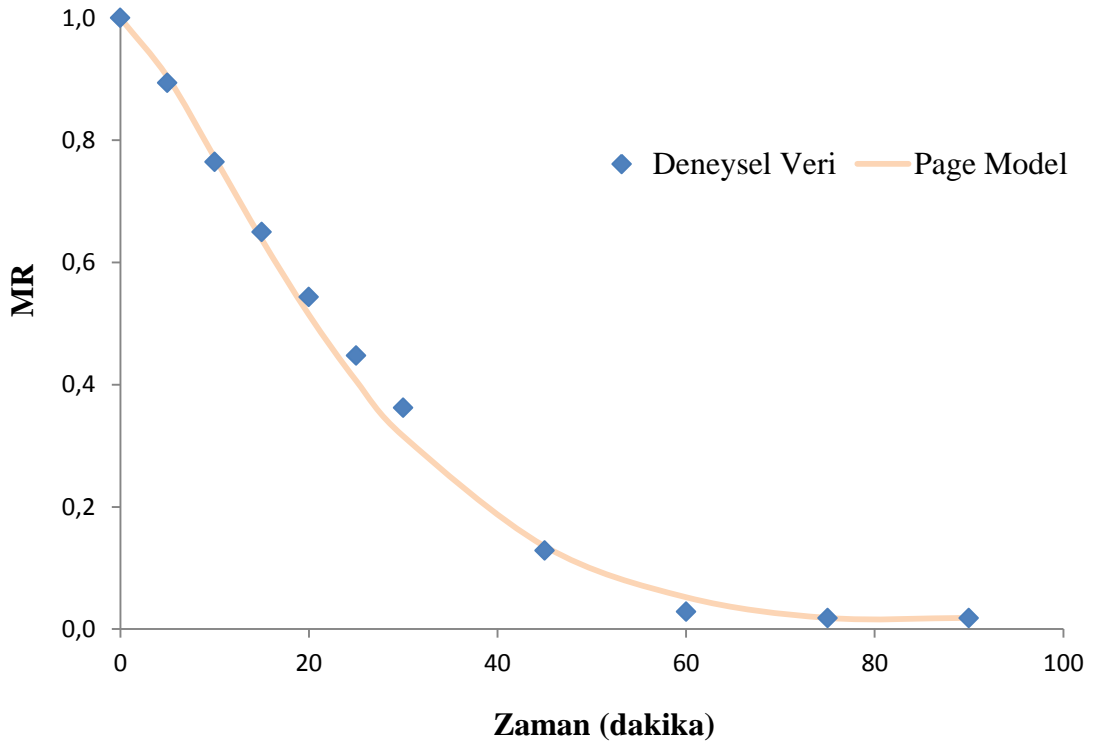
MODEL	180 W			
	Model Katsayıları	R ²	RMSE	χ^2
Lewis	k : 0,0283	0,9826	0,017609	0,004675
Henderson ve Pabis	k : 0,0305 a : 1,2099	0,9909	0,018643	0,005677
Page	k : 0,0110 n : 1,2016	0,9992	0,001781	0,000052
Modifiye Page	k : 0,0235 n : 1,2016	0,9992	0,001781	0,000052
Logaritmik	k : 0,0390 a : 1,4313 c : 0,0197	0,8915	0,040860	0,029749



Şekil 6. 10: 180 W mikrodalga gücü ile kurutulan limon kabuğu örneğine ait deneysel ve Page Model'den elde edilen MR değerlerinin karşılaştırması

Tablo 6. 9: 360 W mikrodalga gücü ile kurutulan limon kabuğu örneği için model katsayıları ve istatistiksel parametreler

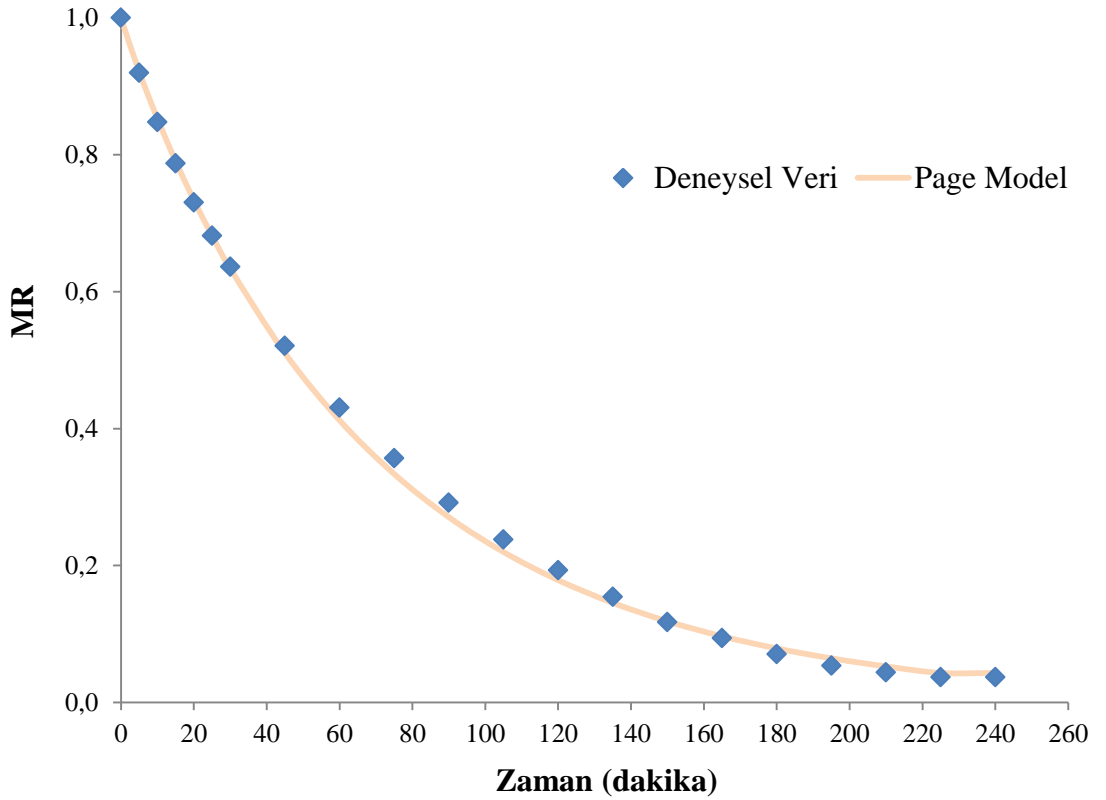
MODEL	360 W			
	Model Katsayıları	R ²	RMSE	χ^2
Lewis	k : 0,0503	0,9370	0,038722	0,016660
Henderson ve Pabis	k : 0,0580 a : 1,4405	0,9652	0,051479	0,033126
Page	k : 0,0114 n : 1,3574	0,9924	0,007427	0,000689
Modifiye Page	k : 0,0370 n : 1,3574	0,9924	0,007427	0,000689
Logaritmik	k : 0,0700 a : 1,6484 c : 0,0178	0,8915	0,076844	0,084357



Şekil 6. 11: 360 W mikrodalga gücü ile kurutulan limon kabuğu örneğine ait deneysel ve Page Model'den elde edilen MR değerlerinin karşılaştırması

Tablo 6. 10: 40°C sıcak hava ile kurutulan limon kabuğu örnekleri için model katsayıları ve istatistiksel parametreler

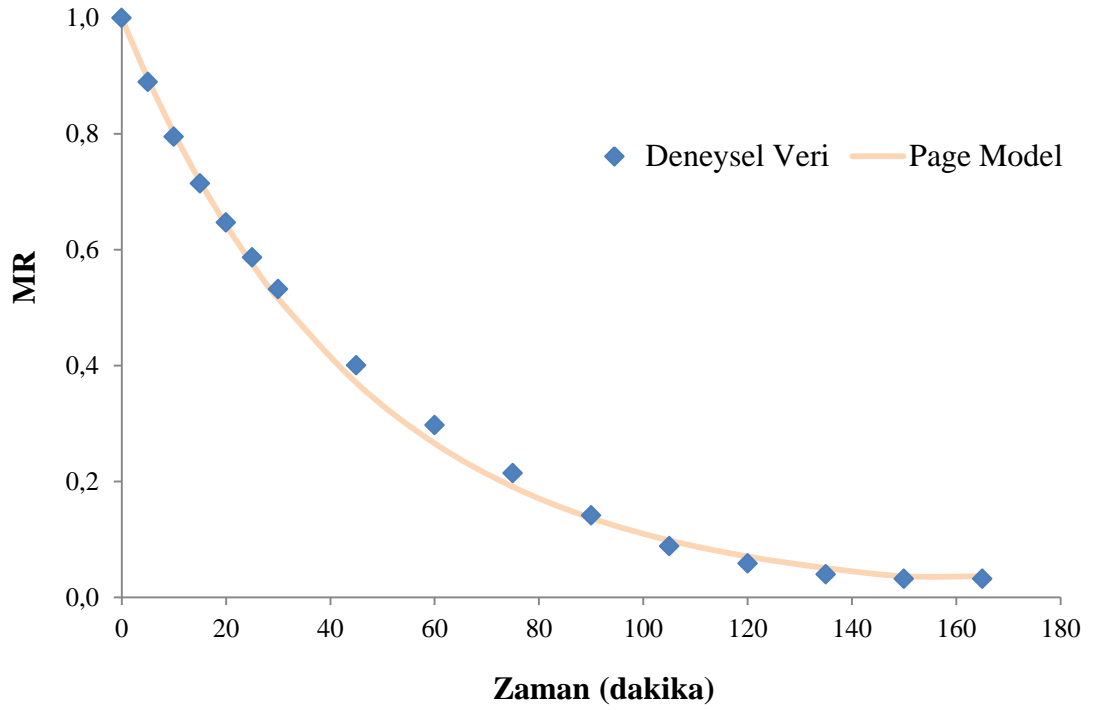
MODEL	40°C			
	Model Katsayıları	R ²	RMSE	χ^2
Lewis	k : 0,0145	0,9974	0,002835	0,000169
Henderson ve Pabis	k : 0,0146 a : 1,0156	0,9975	0,003821	0,000325
Page	k : 0,0175 n : 0,9587	0,9985	0,002453	0,000134
Modifiye Page	k : 0,0147 n : 0,9587	0,9985	0,002453	0,000134
Logaritmik	k : 0,0200 a : 1,1799 c : 0,0368	0,9487	0,019590	0,009030



Şekil 6. 12: 40°C sıcak hava ile kurutulan limon kabuğu örneğine ait deneysel ve Page Model'den elde edilen MR değerlerinin karşılaştırması

Tablo 6. 11: 50°C sıcak hava ile kurutulan limon kabuğu örnekleri için model katsayıları ve istatistiksel parametreler

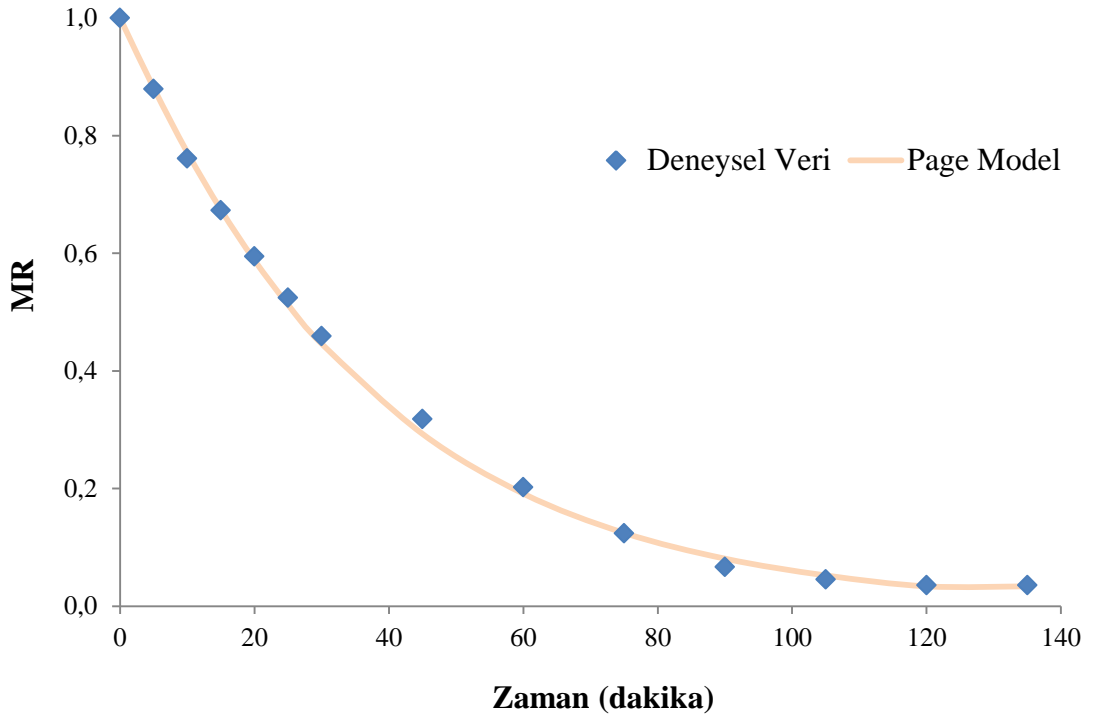
MODEL	50°C			
	Model Katsayıları	R ²	RMSE	χ^2
Lewis	k : 0,0228	0,9941	0,005280	0,000448
Henderson ve Pabis	k : 0,0234 a : 1,0587	0,9951	0,007554	0,000988
Page	k : 0,0220 n : 1,0009	0,9970	0,003865	0,000258
Modifiye Page	k : 0,0221 n : 1,0009	0,9970	0,003865	0,000258
Logaritmik	k : 0,0315 a : 1,2316 c : 0,0318	0,9478	0,026030	0,012704



Şekil 6. 13: 50°C sıcak hava ile kurutulan limon kabuğu örneğine ait deneysel ve Page Model'den elde edilen MR değerlerinin karşılaştırması

Tablo 6. 12: 60°C sıcak hava ile kurutulan limon kabuğu örnekleri için model katsayıları ve istatistiksel parametreler

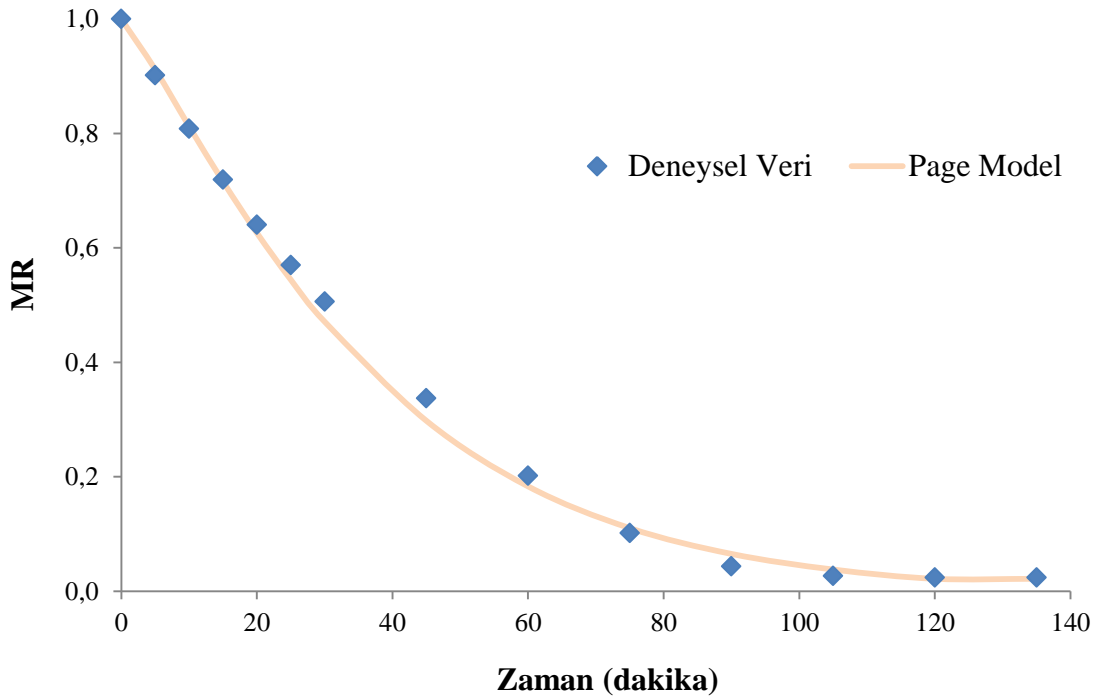
MODEL	60°C			
	Model Katsayıları	R ²	RMSE	χ^2
Lewis	k : 0,0284	0,9948	0,005757	0,000467
Henderson ve Pabis	k : 0,0291 a : 1,0545	0,9537	0,006450	0,000639
Page	k : 0,0239 n : 1,0345	0,9983	0,002950	0,000134
Modifiye Page	k : 0,0271 n : 1,0345	0,9983	0,002950	0,000134
Logaritmik	k : 0,0403 a : 1,2462 c : 0,0352	0,9586	0,028502	0,013729



Şekil 6. 14: 60°C sıcak hava ile kurutulan limon kabuğu örneğine ait deneysel ve Page Model'den elde edilen MR değerlerinin karşılaştırması

Tablo 6. 13: 40°C+90 W kombinasyonu ile kurutulunan limon kabuğu örnekleri için model katsayıları ve istatistiksel parametreler

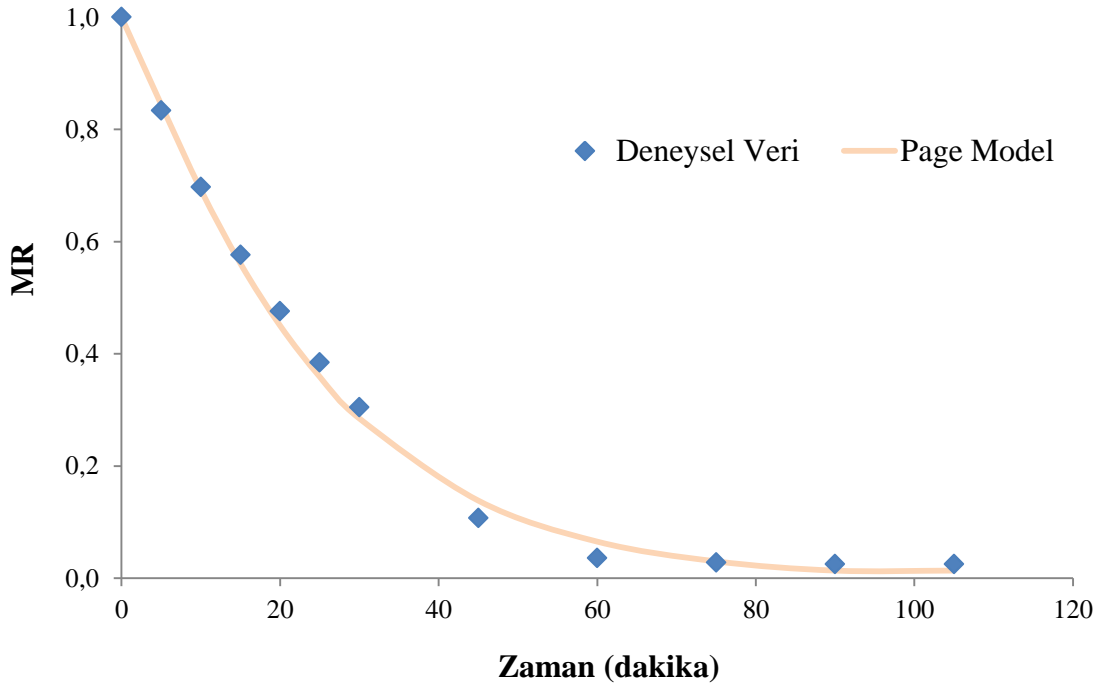
MODEL	40°C+90 W			
	Model Katsayıları	R ²	RMSE	χ^2
Lewis	k : 0,0315	0,9745	0,020053	0,005663
Henderson ve Pabis	k : 0,0340 a : 1,2174	0,9836	0,021984	0,007425
Page	k : 0,0140 n : 1,1725	0,9947	0,005304	0,000432
Modifiye Page	k : 0,0262 n : 1,1725	0,9947	0,005304	0,000432
Logaritmik	k : 0,0490 a : 1,6114 c : 0,0237	0,9085	0,061731	0,064401



Şekil 6. 15: 40°C+90 W kombinasyonu ile kurutulunan limon kabuğu örneğine ait deneysel ve Page Model'den elde edilen MR değerlerinin karşılaştırması

Tablo 6. 14: 40°C+180 W kombinasyonu ile kurutulunan limon kabuğu örnekleri için model katsayıları ve istatistiksel parametreler

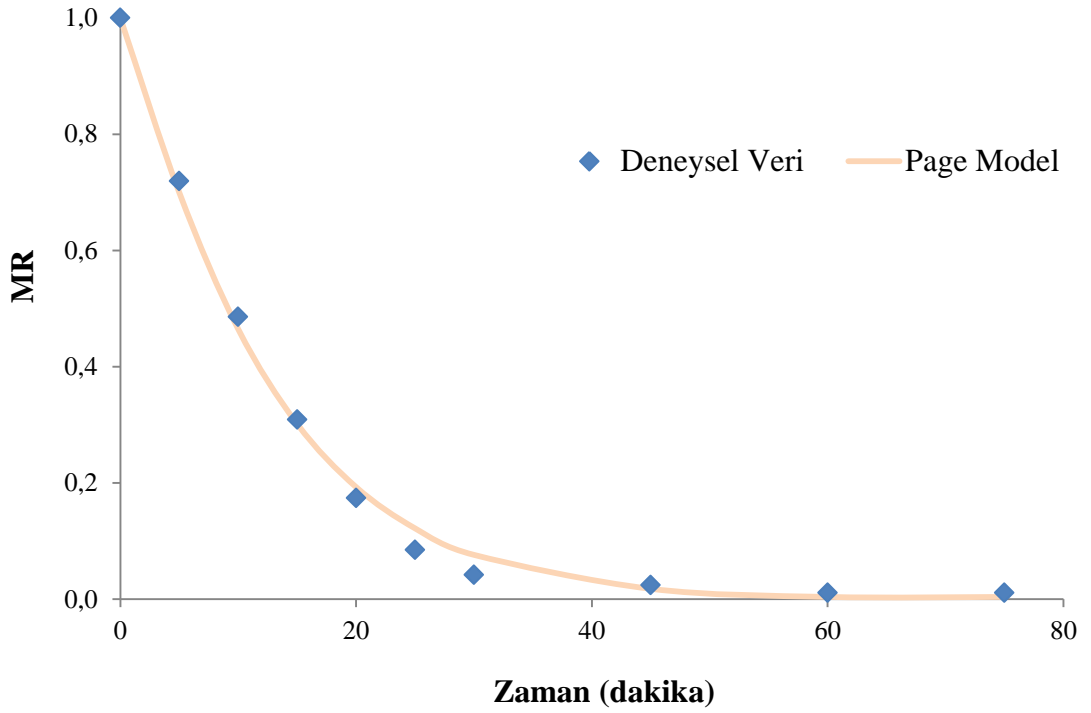
MODEL	40°C+180 W			
	Model Katsayıları	R ²	RMSE	χ^2
Lewis	k : 0,0457	0,9648	0,014225	0,002448
Henderson ve Pabis	k : 0,0469 a : 1,0727	0,9659	0,011939	0,001916
Page	k : 0,0279 n : 1,1190	0,9898	0,005762	0,000446
Modifiye Page	k : 0,0409 n : 1,1190	0,9898	0,005762	0,000446
Logaritmik	k : 0,0805 a : 1,7412 c : 0,0252	0,9516	0,079750	0,096196



Şekil 6. 16: 40°C+180 W kombinasyonu ile kurutulunan limon kabuğu örneğine ait deneysel ve Page Model'den elde edilen MR değerlerinin karşılaştırması

Tablo 6. 15: 40°C+360 W kombinasyonu ile kurutulunan limon kabuğu örnekleri için model katsayıları ve istatistiksel parametreler

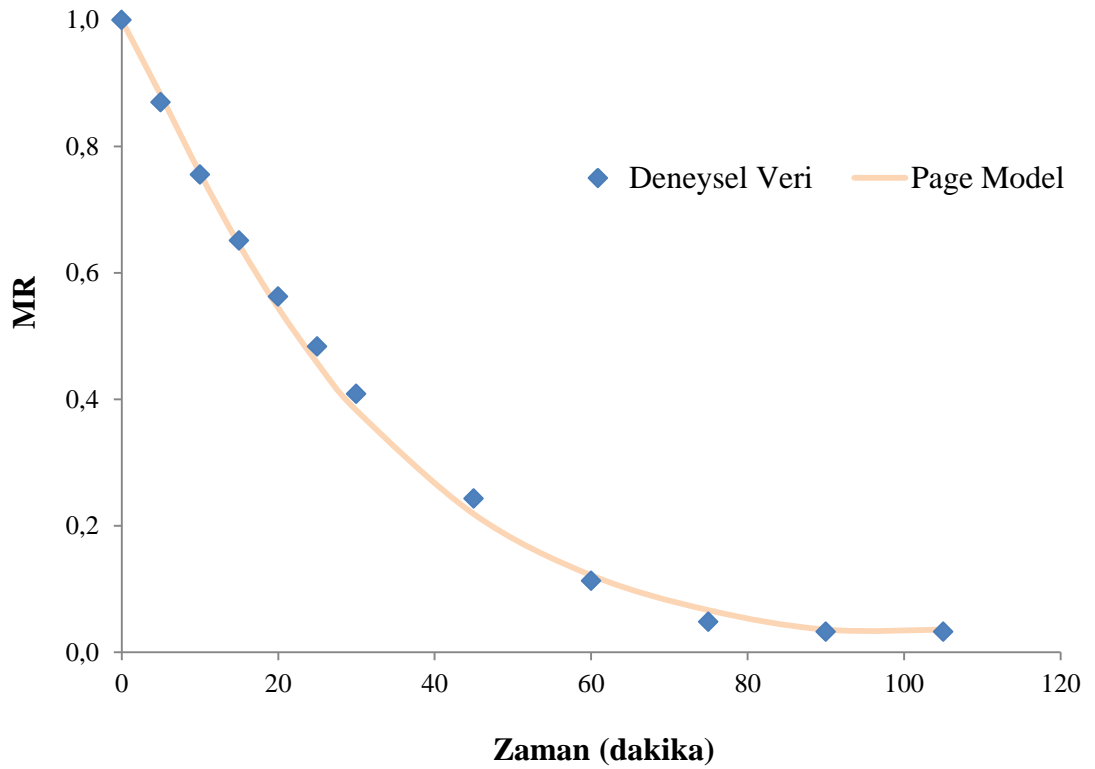
MODEL	40°C+360 W			
	Model Katsayıları	R ²	RMSE	χ^2
Lewis	k : 0,0833	0,9576	0,011187	0,001267
Henderson ve Pabis	k : 0,0803 a : 1,1190	0,9597	0,018034	0,003763
Page	k : 0,0606 n : 1,1021	0,9773	0,006939	0,000557
Modifiye Page	k : 0,0409 n : 1,1190	0,9773	0,006939	0,000557
Logaritmik	k : 0,1042 a : 1,1489 c : 0,0107	0,9746	0,020865	0,005877



Şekil 6. 17: 40°C+360 W kombinasyonu ile kurutulunan limon kabuğu örneğine ait deneysel ve Page Model'den elde edilen MR değerlerinin karşılaştırması

Tablo 6. 16: 50°C+90 W kombinasyonu ile kurutulunan limon kabuğu örnekleri için model katsayıları ve istatistiksel parametreler

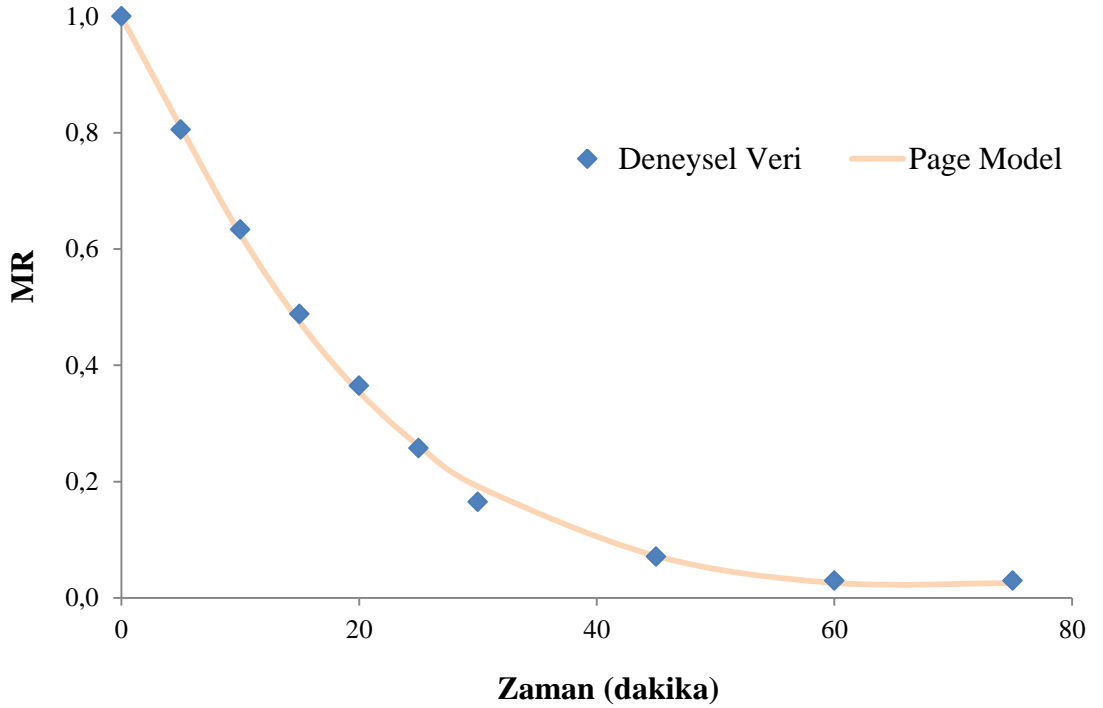
MODEL	50°C+90 W			
	Model Katsayıları	R ²	RMSE	χ^2
Lewis	k : 0,0369	0,9798	0,017007	0,003500
Henderson ve Pabis	k : 0,0397 a : 1,1747	0,9881	0,020039	0,005399
Page	k : 0,0204 n : 1,1320	0,9956	0,004850	0,000316
Modifiye Page	k : 0,0322 n : 1,1320	0,9956	0,004850	0,000316
Logaritmik	k : 0,0509 a : 1,3270 c : 0,0323	0,9369	0,040060	0,024273



Şekil 6. 18: 50°C+90 W kombinasyonu ile kurutulunan limon kabuğu örneğine ait deneysel ve Page Model'den elde edilen MR değerlerinin karşılaştırması

Tablo 6. 17: 50°C+180 W kombinasyonu ile kurutulunan limon kabuğu örnekleri için model katsayıları ve istatistiksel parametreler

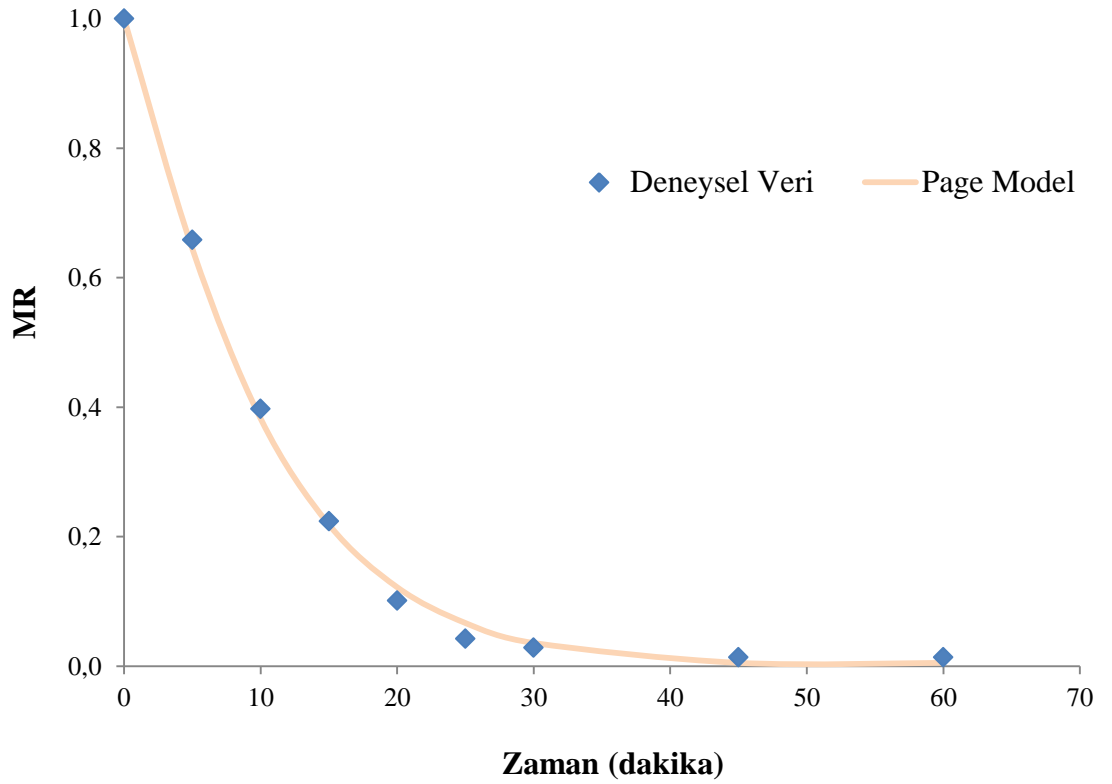
MODEL	50°C+180 W			
	Model Katsayıları	R ²	RMSE	χ^2
Lewis	k : 0,0577	0,9925	0,013997	0,001984
Henderson ve Pabis	k : 0,0606 a : 1,1152	0,9962	0,014596	0,002465
Page	k : 0,0334 n : 1,1470	0,9979	0,003753	0,000163
Modifiye Page	k : 0,0516 n : 1,1470	0,9979	0,003753	0,000163
Logaritmik	k : 0,0707 a : 1,1753 c : 0,0293	0,9833	0,025140	0,008532



Şekil 6. 19: 50°C+180 W kombinasyonu ile kurutulunan limon kabuğu örneğine ait deneysel ve Page Model'den elde edilen MR değerlerinin karşılaştırması

Tablo 6. 18: 50°C+360 W kombinasyonu ile kurutulan limon kabuğu örnekleri için model katsayıları ve istatistiksel parametreler

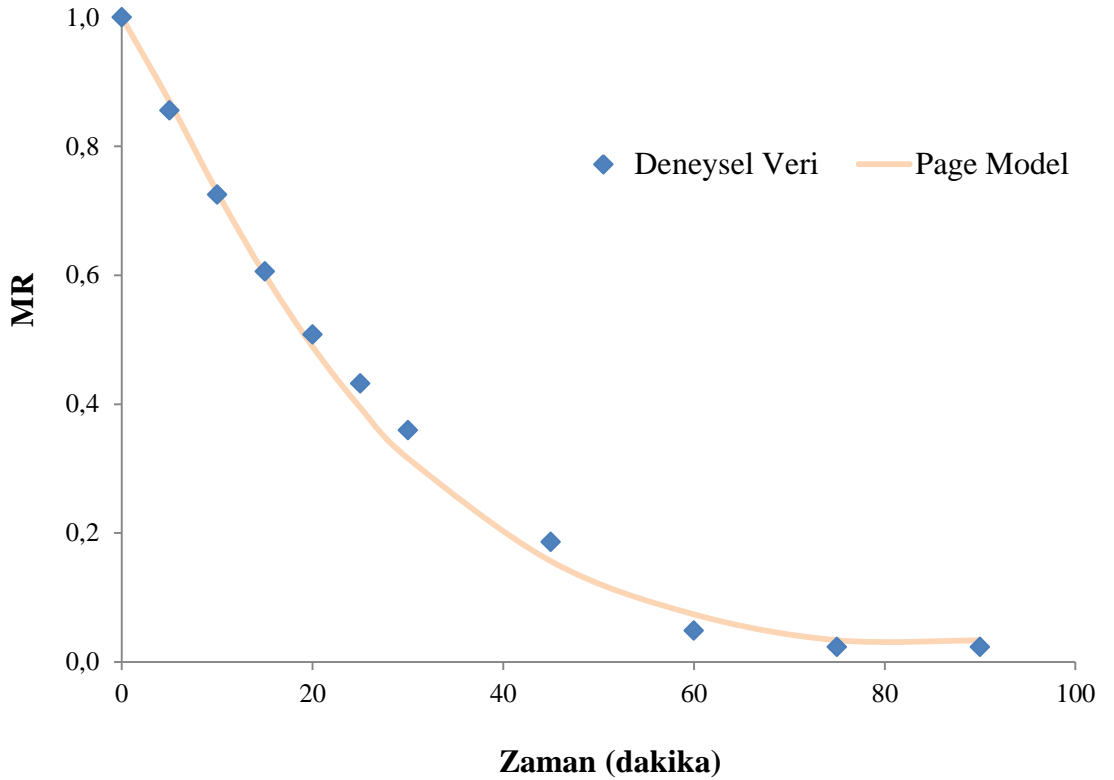
MODEL	50°C+360 W			
	Model Katsayıları	R ²	RMSE	χ^2
Lewis	k : 0,1067	0,9583	0,012301	0,001384
Henderson ve Pabis	k : 0,1049 a : 1,0549	0,9588	0,010651	0,001210
Page	k : 0,0713 n : 1,1299	0,9805	0,005011	0,000268
Modifiye Page	k : 0,0966 n : 1,1299	0,9805	0,005011	0,000268
Logaritmik	k : 0,1455 a : 1,3450 c : 0,0137	0,9773	0,046290	0,027428



Şekil 6. 20: 50°C+360 W kombinasyonu ile kurutulan limon kabuğu örneğine ait deneysel ve Page Model'den elde edilen MR değerlerinin karşılaştırması

Tablo 6. 19: 60°C+90 W kombinasyonu ile kurutululan limon kabuğu örnekleri için model katsayıları ve istatistiksel parametreler

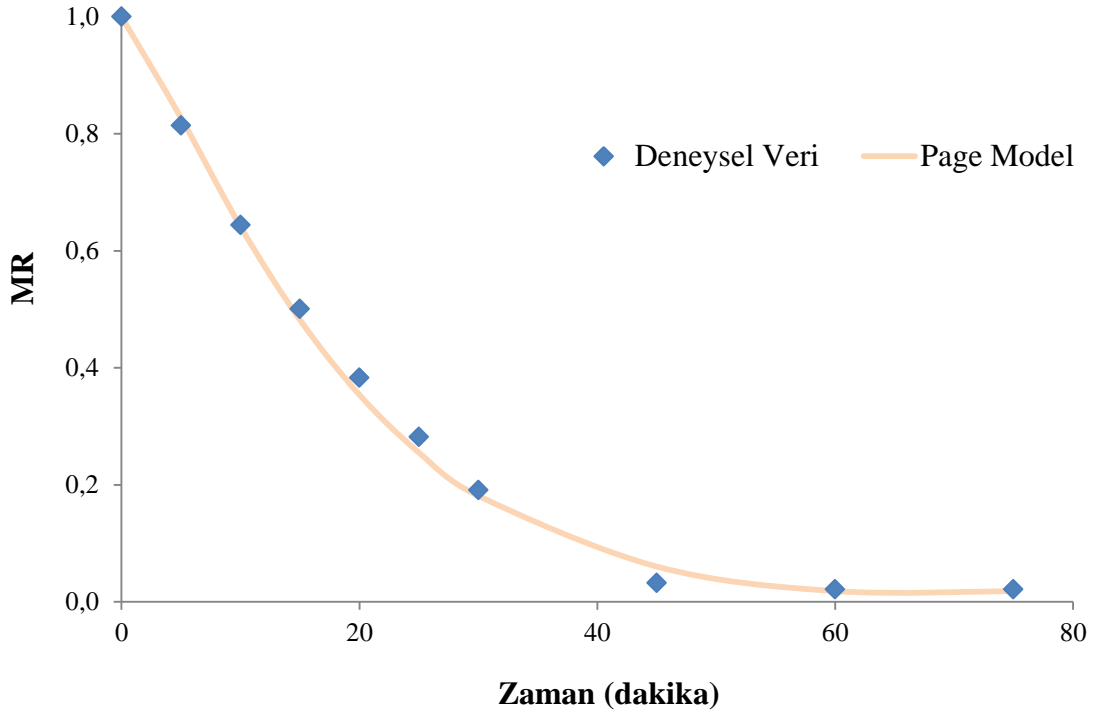
MODEL	60°C+90 W			
	Model Katsayıları	R ²	RMSE	χ^2
Lewis	k : 0,0456	0,9537	0,024592	0,006720
Henderson ve Pabis	k : 0,0509 a : 1,2852	0,9711	0,034692	0,015044
Page	k : 0,0211 n : 1,1764	0,9900	0,007417	0,000688
Modifiye Page	k : 0,0376 n : 1,1764	0,9900	0,007417	0,000688
Logaritmik	k : 0,0558 a : 1,3075 c : 0,0230	0,9185	0,039875	0,022715



Şekil 6. 21: 60°C+90 W kombinasyonu ile kurutululan limon kabuğu örneğine ait deneysel ve Page Model'den elde edilen MR değerlerinin karşılaştırması

Tablo 6. 20: 60°C+180 W kombinasyonu ile kurutulan limon kabuğu örnekleri için model katsayıları ve istatistiksel parametreler

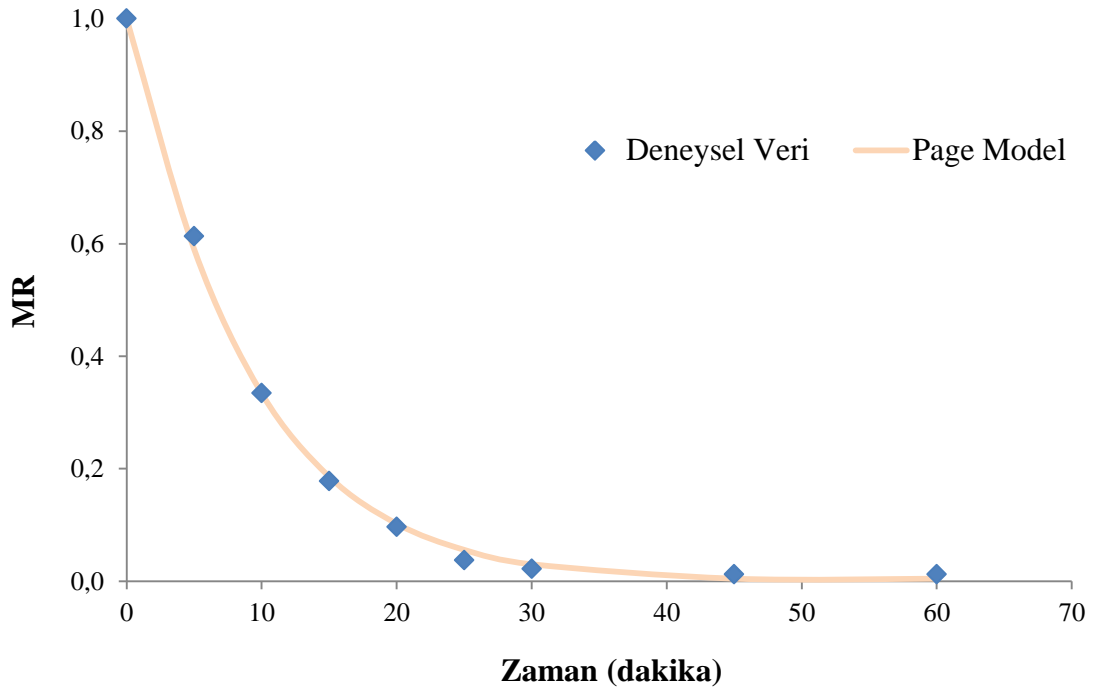
MODEL	60°C+180 W			
	Model Katsayıları	R ²	RMSE	χ^2
Lewis	k : 0,0636	0,9534	0,025528	0,006598
Henderson ve Pabis	k : 0,0701 a : 1,2777	0,9669	0,034703	0,013935
Page	k : 0,0263 n : 1,2268	0,9908	0,006029	0,000421
Modifiye Page	k : 0,0516 n : 1,2268	0,9908	0,006029	0,000421
Logaritmik	k : 0,0923 a : 1,5963 c : 0,0212	0,8852	0,075418	0,076787



Şekil 6. 22: 60°C+180 W kombinasyonu ile kurutulan limon kabuğu örneğine ait deneysel ve Page Model'den elde edilen MR değerlerinin karşılaştırması

Tablo 6. 21: 60°C+360 W kombinasyonu ile kurutulmuş limon kabuğu örnekleri için model katsayıları ve istatistiksel parametreler

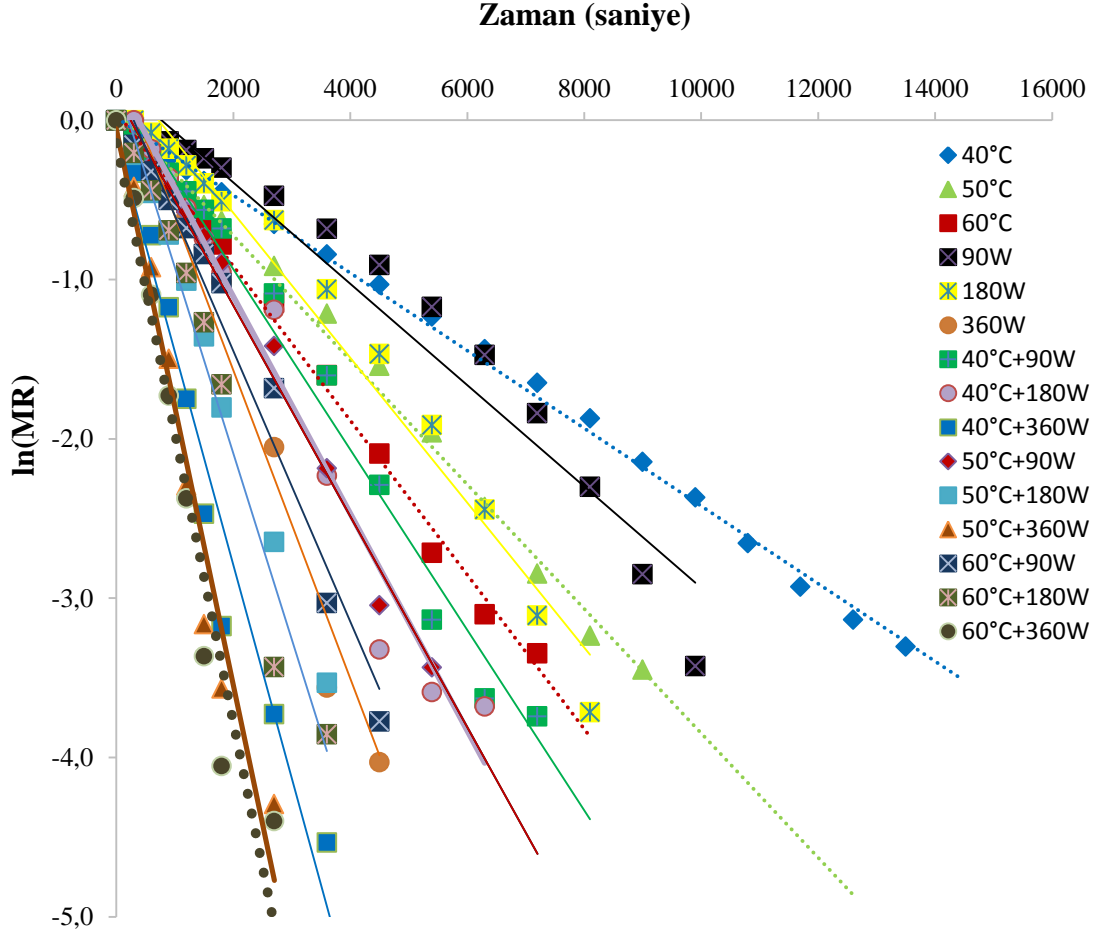
MODEL	60°C+360 W			
	Model Katsayıları	R ²	RMSE	χ^2
Lewis	k : 0,1114	0,9353	0,006906	0,000436
Henderson ve Pabis	k : 0,1091 a : 1,1535	0,9383	0,023526	0,005904
Page	k : 0,0942 n : 1,0686	0,9759	0,004088	0,000178
Modifiye Page	k : 0,1096 n : 1,0686	0,9759	0,004088	0,000178
Logaritmik	k : 0,1699 a : 1,4882 c : 0,0123	0,9572	0,063454	0,051538



Şekil 6. 23: 60°C+360 W kombinasyonu ile kurutulmuş limon kabuğu örneğine ait deneysel ve Page Model'den elde edilen MR değerlerinin karşılaştırması

6.1.6 Etkin Difüzyon Katsayısı

Etkin difüzyon katsayısı dilim kabulü yapılan limon kabuğu için Denklem 5.8'de verilen doğrusal denklemin eğiminden hesaplanmıştır (Şekil 6.24). Limon kabuğu örneklerine ait etkin difüzyon katsayıları Tablo 6.22'de verilmiştir.



Şekil 6. 24: Farklı kurutma koşullarında limon kabuğu örneklerinin $\ln(MR)$ değerlerinin kuruma zamanı ile değişimi

Tablo 6. 22: Farklı kurutma koşullarında limon kabuğu örneklerine ait etkin difüzyon katsayısı değerleri

Kurutma Koşulları		$D_{\text{eff}} \times 10^9$ (m^2/s)
Sıcaklık ($^{\circ}\text{C}$)	Mikrodalga gücü (W)	
40 $^{\circ}\text{C}$	-	1,58
	90 W	3,67
	180 W	5,07
	360 W	8,68
50 $^{\circ}\text{C}$	-	2,53
	90 W	4,29
	180 W	6,55
	360 W	11,33
60 $^{\circ}\text{C}$	-	3,14
	90 W	5,50
	180 W	7,57
	360 W	11,79
-	90 W	2,21
	180 W	3,29
	360 W	6,27

Sıcak hava ile kurutma işlemlerinde sıcaklık artışıyla birlikte etkin difüzyon katsayısı da artmıştır. 40 $^{\circ}\text{C}$ 'de kurutulan örnekler için etkin difüzyon katsayısı $1,58 \times 10^{-9} \text{ m}^2/\text{s}$ bulunurken, kurutmaya mikrodalga gücünün ilave edilmesiyle 40 $^{\circ}\text{C}$ +90 W, 40 $^{\circ}\text{C}$ +180 W ve 40 $^{\circ}\text{C}$ +360 W için etkin difüzyon katsayı değerleri sırasıyla $3,67 \times 10^{-9}$, $5,07 \times 10^{-9}$, $8,68 \times 10^{-9} \text{ m}^2/\text{s}$ olarak bulunmuştur. Böylelikle kombinasyonlarda mikrodalga gücünün yükseltilmesi etkin difüzyon katsayısını arttırdığı tespit edilmiştir. Ayrıca mikrodalga ve sıcak hava değerlerinin en yüksek olduğu 60 $^{\circ}\text{C}$ +360 W kombinasyonu ile yapılan kurutmada etkin difüzyon katsayısı $11,79 \times 10^{-9} \text{ m}^2/\text{s}$ bulunmuştur. Yapılan literatür çalışmalarında etkin difüzyon katsayı değerlerinin $10^{-12} \text{ m}^2/\text{s}$ - $10^{-8} \text{ m}^2/\text{s}$ arasında değiştiği görülüp (Tekgül 2019), elde edilen sonuçların literatür değerleri ile uyumlu olduğu tespit edilmiştir.

Horuz (2018) biber dilimlerini 3 farklı sıcaklık (50, 60 ve 70 $^{\circ}\text{C}$) ve bu sıcaklıkların 3 farklı mikrodalga gücü (120, 150 ve 180 W) ile kombinasyon halinde kullanarak kurutmuştur. Bu kurutmalar sonucu elde edilen etkin difüzyon katsayılarını kombinasyonlar baz alındığında $8,92 \times 10^{-10} \text{ m}^2/\text{s}$ ile $4,54 \times 10^{-9} \text{ m}^2/\text{s}$ arasında bulmuştur. Ayrıca kombinasyon kurutmalarındaki sıcaklık ve mikrodalga değerlerinin yükseltilmesiyle birlikte etkin difüzyon katsayılarının da arttığını

saptamıştır. Arslan ve Özcan (2004) soğanın kurutulması üzerine yaptıkları çalışmada sıcak hava (50 ve 70°C) ve mikrodalga (210 ve 700 W) kullandıkları kurutmalarda etkin difüzyon katsayı değerlerini sırasıyla $7,468 \times 10^{-10}$ - $1,554 \times 10^{-9}$ m^2/s ve $4,009 \times 10^{-8}$ - $4,869 \times 10^{-8}$ olarak bulmuşlardır. Bu sonuçlar doğrultusunda sıcaklık ve mikrodalga artışının etkin difüzyon katsayısını arttırdığını tespit etmişlerdir.

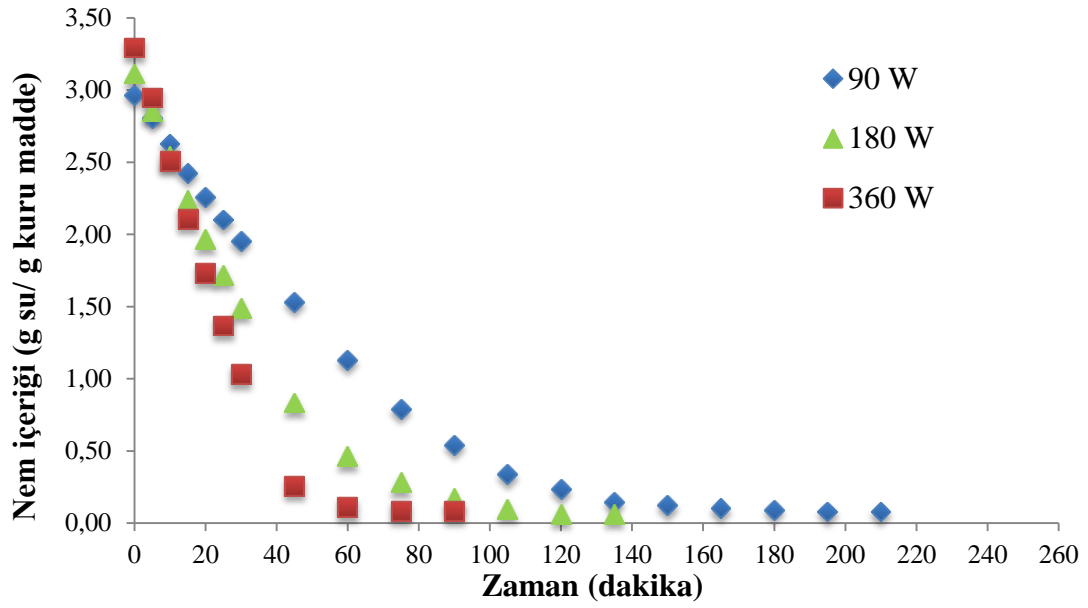
6.2 Mikrodalğanın Portakal Kabuğu Örneklerinin Kurutulması Üzerindeki Etkisi

6.2.1 Nem İçeriği Değişimi

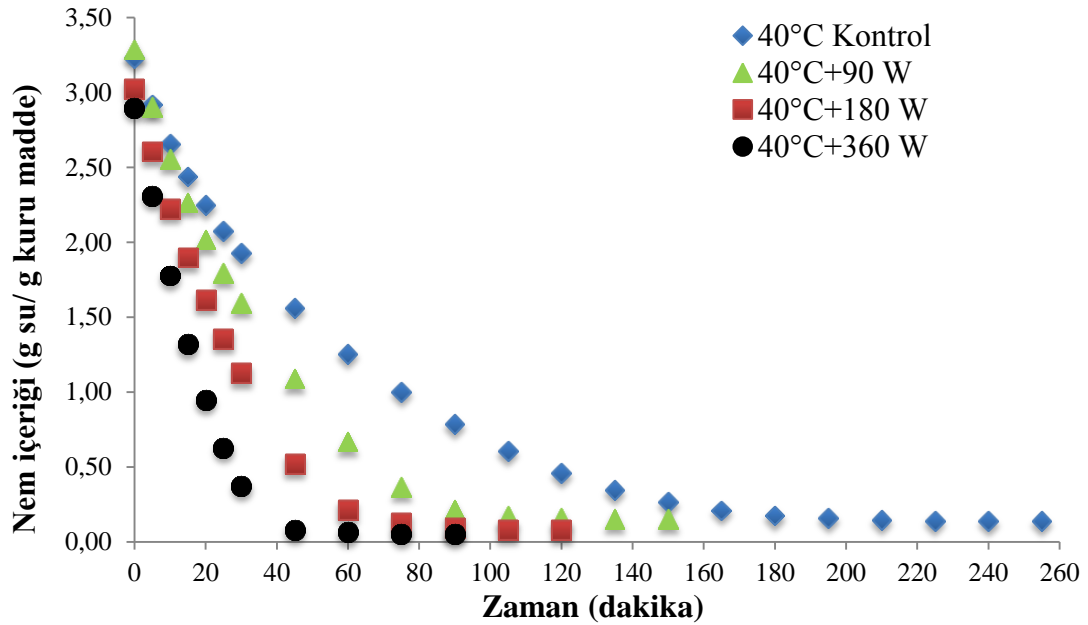
Bu çalışmada kullanılan portakal kabuğu örneklerinin başlangıç ortalama nem içeriği $M_0 = 3,04$ g su/g kuru madde olarak tespit edilmiştir. Sıcak hava, mikrodalga ve sıcak hava-mikrodalga kombinasyonlarıyla kurutulan portakal kabuğu örneklerinin zamana bağlı olarak nem içeriğindeki değişimler Ek A'da, Tablo B1-EB15'te sırasıyla verilmiştir. Ayrıca Şekil 6.25-6.28'de grafik şeklinde gösterilmiştir. Sıcak hava-mikrodalga kombinasyonlarıyla yapılan kurutmalarda mikrodalga gücünün yükseltilmesiyle beraber kuruma sürelerinde kısalmaya neden olmuştur. Örneklerin 0,2 g su/g kuru madde nem içeriğine gelmeleri Tablo 6.23'te verilmiştir. Örneğin, 40°C sıcak hava ile kurutulan örneklerin nem içeriğinin 0,2 g su/g kuru madde nem içeriğine düşmesi 168 dakika sürerken; 40°C sıcak hava ile mikrodalğanın kombinasyonları (90, 180, 360 W) ile yapılan kurutma işlemlerinde örneklerin aynı nem içeriğine gelme süreleri sırasıyla 94, 62, 39 dakika sürmüştür. Ayrıca kurutma sıcaklıklarının artırılması da kuruma sürelerinde kısalmaya neden olmuştur. En kısa kurutma süresi 60°C+360 W kombinasyonu ile yapılan kurutma işleminde gözlenmiş olup, örneklerin 2,88 g su/g kuru madde nem içeriğinden 0,2 g su/g kuru madde'ye gelme süresi 26 dakika olarak hesaplanmıştır.

Alibaş (2007) kabak örnekleri üzerine yaptığı çalışmada 50 ve 75°C sıcaklıkları ile 160 ve 350 W mikrodalga güçlerini ayrı ayrı ve kombinasyonlar olacak şekilde kullanmıştır. Bu çalışmanın sonucunda en kısa kuruma süresinin 75°C+350 W kombinasyonu ile yapılan kurutma olduğunu belirlemiştir. Ayrıca

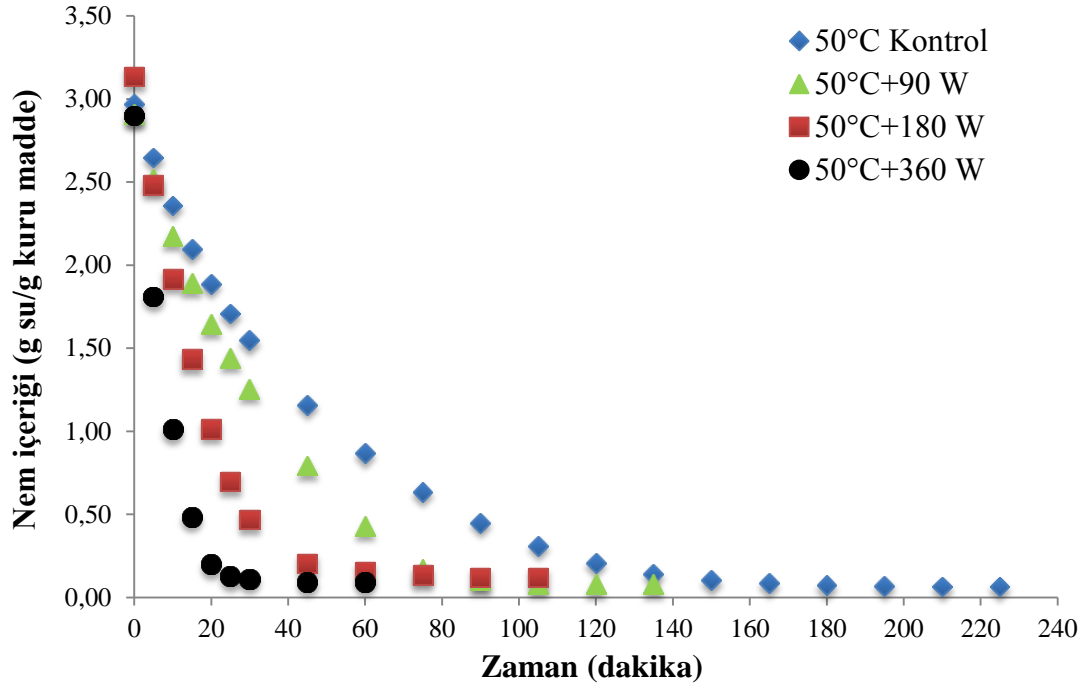
sıcaklık ve mikrodalga gücünün yükseltilmesinin kuruma hızını arttırdığını tespit etmiştir.



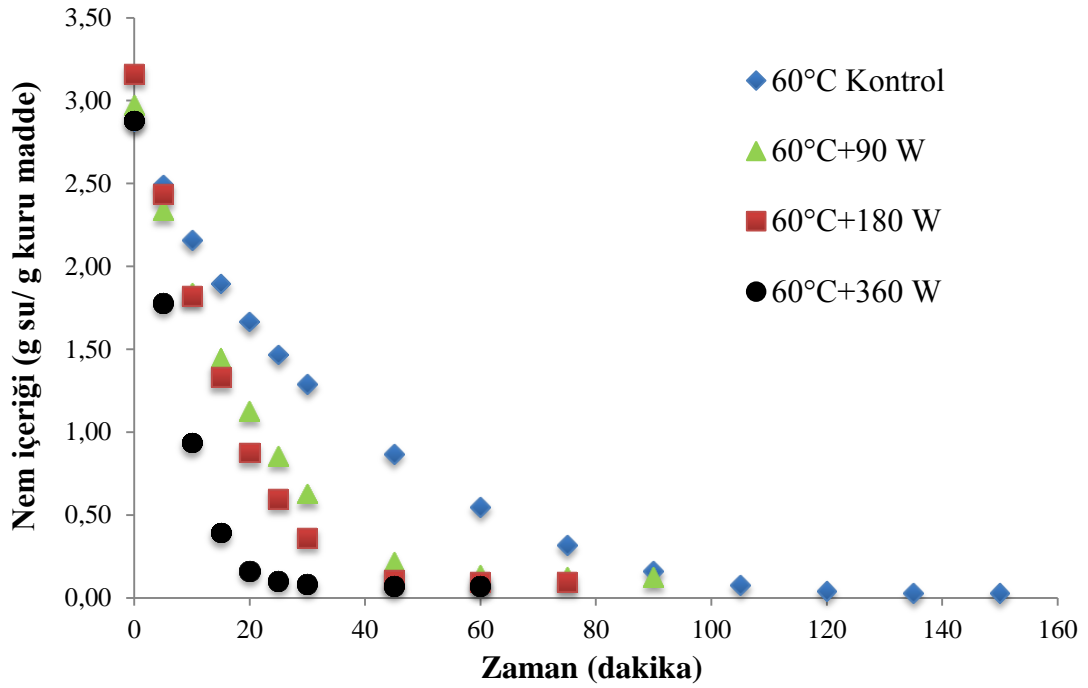
Şekil 6. 25: Mikrodalga ile kurutulan portakal kabuğu örneklerinin nem içeriğinin kuruma zamanı ile değişimi



Şekil 6. 26: 40°C ve mikrodalga kombinasyonları ile kurutulan portakal kabuğu örneklerinin nem içeriğinin kuruma zamanı ile değişimi



Şekil 6. 27: 50°C ve mikrodalga kombinasyonları ile kurutulan portakal kabuğu örneklerinin nem içeriğinin kuruma zamanı ile değişimi



Şekil 6. 28: 60°C ve mikrodalga kombinasyonları ile kurutulan portakal kabuğu örneklerinin nem içeriğinin kuruma zamanı ile değişimi

Tablo 6. 23: Portakal kabuğu örneklerinin 0,2 g su/g kuru madde nem içeriğine gelme süreleri

Kurutma Sıcaklığı (°C)	Mikrodalga Gücü (W)	0,2 g su/g kuru madde Nem İçeriğine Gelme Süresi (dakika)
-	90 W	125
	180 W	85
	360 W	51
40°C	-	168
	90 W	94
	180 W	62
	360 W	39
50°C	-	121
	90 W	73
	180 W	52
	360 W	27
60°C	-	86
	90 W	48
	180 W	41
	360 W	26

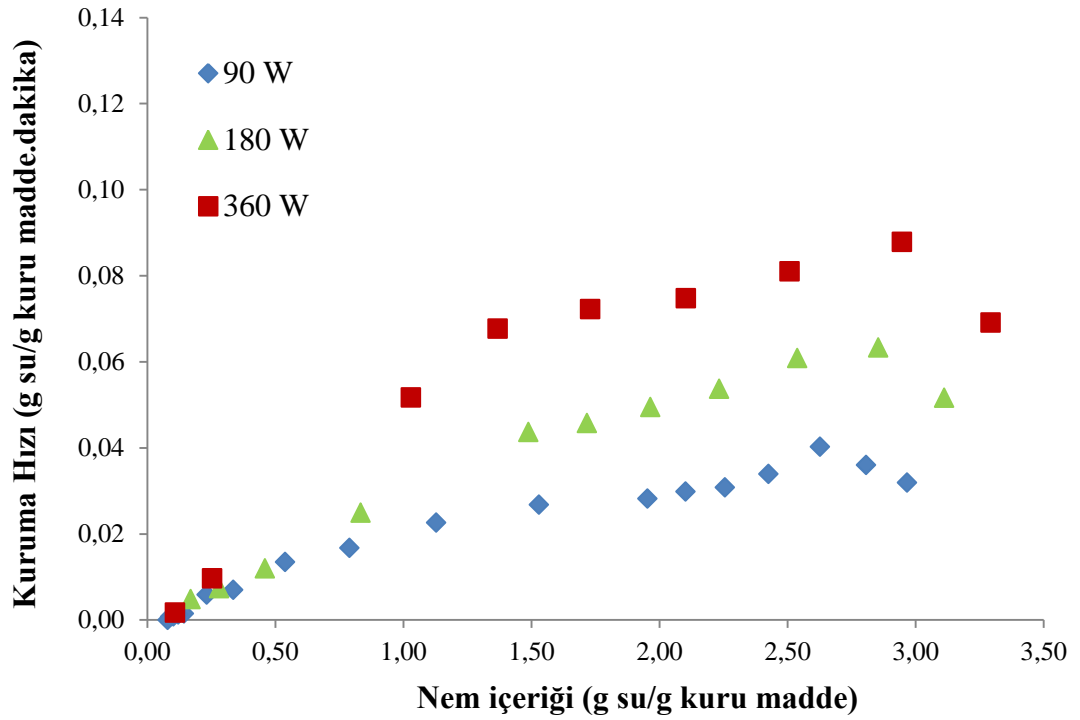
6.2.2 Kuruma Hızı Değişimi

Mikrodalğanın sıcak havayla birlikte kullanılmasının nem içeriğine etkisini incelemek için farklı sıcaklıklarda sıcak hava ve mikrodalga güçlerinin kombinasyonu ile kurutulan portakal kabuğu örneklerinin kuruma hızları Denklem 5.5 kullanılarak hesaplanmış ve bu değerler Şekil 6.29-6.32’de verilmiştir.

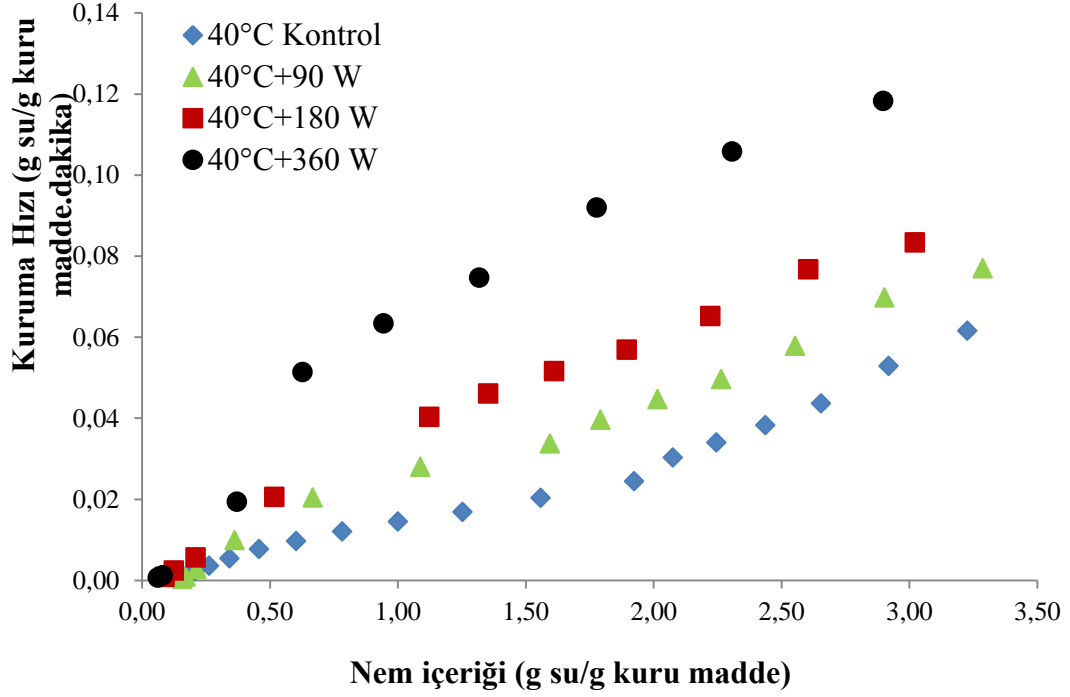
Portakal kabuğunun 90, 180, 360 W mikrodalga güçleriyle kurutulmasında limon kabuğuna benzer olarak ilk önce yükselen hız periyodu gerçekleşmiş ve ardından azalan hızda kuruma periyodunun gerçekleştiği tespit edilmiştir. Örnekleri 40, 50 ve 60°C’de gerçekleştirilen kurutmaların ve sıcak hava-mikrodalga

kombinasyonu ile yapılan kurutmaların azalan kurutma hızı periyodunda gerçekleştiği belirlenmiştir. Mikrodalganın sıcak havaya ilave olarak kullanılmasıyla artan mikrodalga gücü ve sıcaklıkla kuruma hızında artma olmuştur. Kuruma hızları arasındaki bu farklılıklar örneğin nem içeriği düştükçe azalmıştır. Örneklerin kurutulmasında en yüksek kuruma hızına sahip kurutma koşulunun 60°C ile 360 W kombinasyonu olduğu tespit edilmiştir. Örneklerin kurutulmasında en yüksek kuruma hızına sahip kurutma şartının 60°C ile 360 W kombinasyonu olduğu görülmüştür.

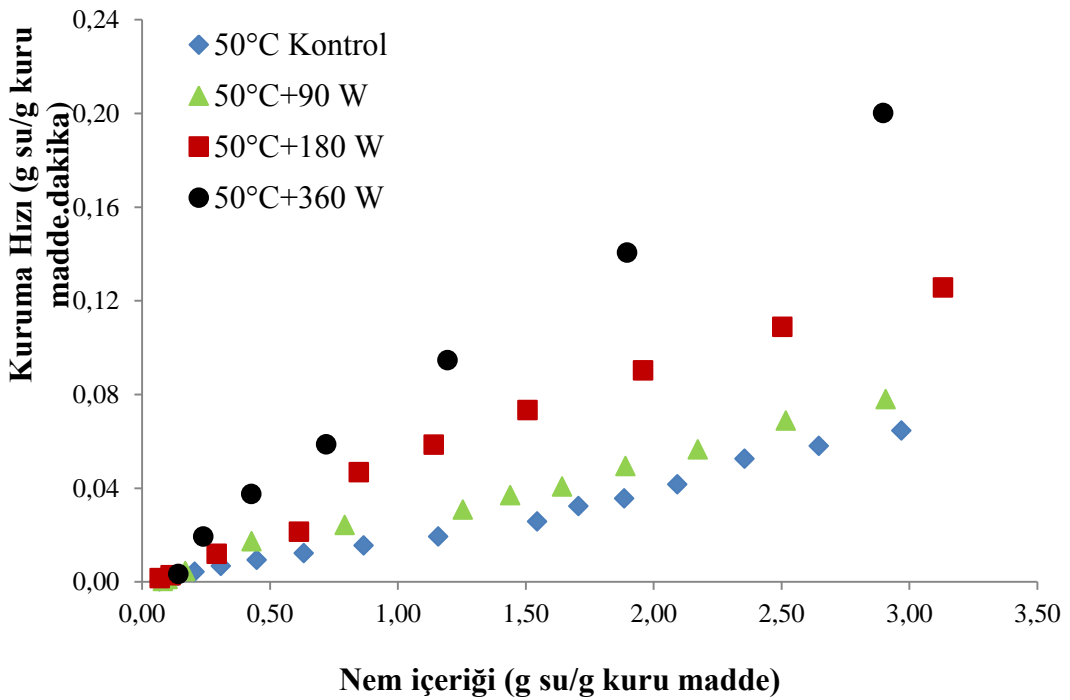
İzli (2016), yaptığı çalışmada kayısı örnekleri üzerine yaptığı çalışmada 50, 75°C sıcaklık ile 90, 160 W mikrodalga gücünü ayrı ayrı ve kombinasyonları şeklinde kullanmıştır. Çalışma sonunda en yüksek kuruma hızınının 75°C+160 W kombinasyonu ile yapılan kurutmaya ait olduğu belirlenmiştir.



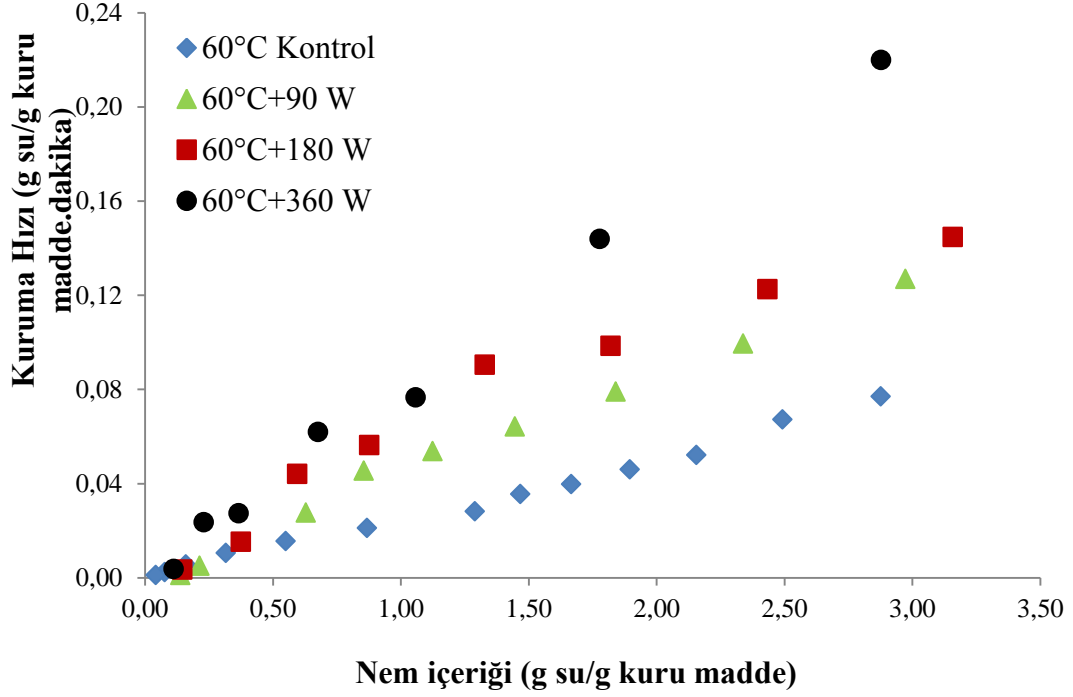
Şekil 6. 29: Mikrodalga ile kurutulan portakal kabuğu örneklerinin kuruma hızlarının nem içeriği ile değişimi



Şekil 6. 30: 40°C ve mikrodalga kombinasyonları ile kurutulan portakal kabuğu örneklerinin kuruma hızlarının nem içeriği ile değişimi



Şekil 6. 31: 50°C ve mikrodalga kombinasyonları ile kurutulan portakal kabuğu örneklerinin kuruma hızlarının nem içeriği ile değişimi



Şekil 6. 32: 60°C ve mikrodalga kombinasyonları ile kurutulan portakal kabuğu örneklerinin kuruma hızlarının nem içeriği ile değişimi

6.2.3 Renk Değişimi

Farklı kurutma şartlarında kurutulmuş portakal kabuğu örneklerine ait L^* , a^* , b^* değerleri Tablo 6.24-6.26'da verilmiştir. Taze portakal kabuğuna ait L^* değerleri 50,45-51,34 arasında değişmektedir. Örneklerin kurutulmasıyla birlikte L^* değeri 39,19-51,80 arasında değişiklik göstermiştir. 360 W ve 360 W ile sıcak hava kombinasyonları hariç genel olarak L^* değerinde önemli bir değişim olmamıştır. Mikrodalğanın en yüksek olduğu 360 W ile yapılan tüm kurutmalarda L^* değerinde önemli ölçüde bir değişim meydana gelmiştir ($p < 0,05$). 360 W ve sıcak havayla kombinasyonları yüksek kuruma hızıyla birlikte örneğin L^* değerinde önemli bir düşüşe neden olmuştur.

Tablo 6. 24: Taze ve kurutulmuş portakal kabuğu örneklerine ait L* değerleri ve yüzde değişimleri

Kurutma Şartları	Taze	Kuru	% Değişim ¹
90 W	50,88	50,11	-1,51±0,77 ^b
180 W	50,98	49,26	-3,37±1,33 ^{bc}
360 W	50,96	44,14	-13,36±1,21 ^e
40°C	51,32	48,12	-6,23±1,59 ^d
50°C	50,67	49,08	-3,14±2,67 ^{bc}
60°C	50,55	48,90	-3,27±1,96 ^{bc}
40°C+90 W	51,04	48,19	-5,59±2,02 ^d
40°C+180 W	50,83	49,10	-3,38±2,25 ^{bc}
40°C+360 W	50,39	40,68	-19,27±2,00 ^f
50°C+90 W	50,89	48,48	-4,72±2,77 ^{cd}
50°C+180 W	50,98	49,50	-2,90±1,87 ^{bc}
50°C+360 W	51,13	39,11	-23,51±0,83 ^g
60°C+90 W	50,84	50,45	-0,78±2,51 ^a
60°C+180 W	51,80	50,97	-1,64±2,00 ^a
60°C+360 W	51,34	39,19	-23,66±1,07 ^g

¹Farklı harfler değerlerin p<0,05 seviyesinde farklı olduğunu ifade etmektedir.

Taze ve kuru portakal kabuğu örneklerine ait a* değeri kurutmaya birlikte artış meydana gelmiştir. Sıcaklık ve mikrodalga gücü değerlerinin yükseltilmesiyle a* değerindeki artışın daha da yükseldiği tespit edilmiştir. Taze ve kuru örnekler için a* değer aralıkları sırasıyla 40,63-41,79 ve 42,39-85,02 olarak belirlenmiştir. Bu kurutulmalarda 360 W ve bu mikrodalga gücünün sıcak hava ile kombinasyonları örnekte renk kararmalarına neden olmuştur. Diğer kombinasyonlarda ve sadece sıcak hava ile yapılan kurutulmalarda kuru örneklerin kırmızılık (a*) değerinde belirgin bir farklılık yoktur ve kuru örneklerde benzer a* değerleri elde edilmiştir.

Tablo 6. 25: Taze ve kurutulmuş portakal kabuğu örneklerine ait a* değerleri ve yüzde değişimleri

Kurutma Şartları	Taze	Kuru	% Değişim¹
90 W	40,76	49,70	21,94±1,66 ^d
180 W	40,83	55,01	34,80±3,37 ^c
360 W	41,14	73,61	78,94±2,92 ^b
40°C	40,68	42,39	4,28±3,73 ¹
50°C	40,59	42,96	5,90±3,60 ^{hi}
60°C	40,63	43,25	6,50±4,73 ^{ghi}
40°C+90 W	41,53	44,45	7,06±3,20 ^{ghi}
40°C+180 W	41,23	45,55	10,52±5,38 ^{fg}
40°C+360 W	41,10	85,02	107,04±6,90 ^a
50°C+90 W	41,79	45,60	9,18±4,04 ^{fgh}
50°C+180 W	41,16	45,91	11,54±4,24 ^f
50°C+360 W	41,62	84,93	104,21±5,64 ^a
60°C+90 W	41,32	46,89	13,57±5,25 ^{ef}
60°C+180 W	41,19	48,05	16,72±4,91 ^e
60°C+360 W	41,66	84,76	103,51±3,06 ^a

¹Farklı harfler değerlerin p<0,05 seviyesinde farklı olduğunu ifade etmektedir.

Kabukların b* değerlerinde ise kurutma yapıldıktan sonra azalma belirlenmiştir. Taze örneklerde b* değeri 62,23-63,01 arasında değişirken kuru örneklerde ise 50,29-61,12 arasında bulunmuştur. b* değerindeki azalma genel olarak %0,02-6,08 arasındayken, 360 W ve bu mikrodalga gücünün sıcak hava kombinasyonlarında %15,75 – 19,09 aralığındadır. Bu da gösteriyor ki 360 W ile yapılan kurutmalarda portakal kabuğunda sarılık değeri önemli ölçüde azalmıştır.

Tablo 6. 26: Taze ve kurutulmuş portakal kabuğu örneklerine ait b* değerleri ve yüzde değişimleri

Kurutma Şartları	Taze	Kuru	% Değişim ¹
90 W	63,01	61,30	-2,71±1,20 ^{bc}
180 W	62,64	60,36	-3,64±0,57 ^{cd}
360 W	62,98	53,08	-15,73±1,63 ^g
40°C	62,60	61,45	-1,84±1,26 ^b
50°C	62,66	60,82	-2,93±0,88 ^{bc}
60°C	62,83	60,04	-4,43±0,97 ^{de}
40°C+90 W	62,53	59,28	-5,19±0,99 ^{ef}
40°C+180 W	62,80	58,97	-6,08±1,10 ^f
40°C+360 W	62,42	50,88	-18,48±0,98 ^h
50°C+90 W	62,47	59,64	-4,53±1,06 ^{de}
50°C+180 W	62,64	59,44	-5,10±1,08 ^{ef}
50°C+360 W	62,34	50,29	-19,32±1,42 ^h
60°C+90 W	62,61	62,54	-0,10±1,07 ^a
60°C+180 W	62,23	62,22	-0,02±1,04 ^a
60°C+360 W	62,28	50,39	-19,09±1,18 ^h

¹Farklı harfler değerlerin p<0,05 seviyesinde farklı olduğunu ifade etmektedir.

Taze ve kurutulmuş portakal kabuğu örneklerine ait Kroma, Hue açısı ve Toplam Renk Değişimi (ΔE^*) değerleri Tablo 6.27'de verilmiştir. Kroma değerleri genel olarak kurutmaya birlikte artış göstermiştir. Kroma değerlerindeki artışın canlılığının arttığını göstermektedir. Ayrıca 360 W ve bu mikrodalga gücünün sıcak hava ile kombinasyonlarıyla yapılan kurutmalarda kroma değeri diğer koşullara göre oldukça fazla yükselmiştir. Bu kurutmalardaki artış % 20,63 - 32,58 aralığındadır.

Tablo 6. 27: Taze ve kurutulmuş portakal kabuğu örneklerine ait Kroma, Hue açısı değerleri ve yüzde değişimleri ile ΔE^* değerleri

Kurutma Şartları	Hue Açısı			Kroma			ΔE^* ¹
	Taze	Kuru	% Değişim ¹	Taze	Kuru	% Değişim ¹	
90 W	57,10	50,97	-10,74±0,94 ^f	75,05	78,92	5,16±0,86 ^d	9,17±0,65 ^d
180 W	56,91	47,66	-16,25±0,98 ^g	74,77	81,66	9,22±1,04 ^c	14,48±1,07 ^c
360 W	56,85	35,79	-37,03±1,11 ^h	75,23	90,75	20,63±1,08 ^b	34,64±0,83 ^b
40°C	56,99	55,40	-2,65±1,68 ^a	74,6	74,60	-0,08±1,45 ^e	3,94±1,08 ^h
50°C	57,06	54,76	-4,02±1,58 ^{ab}	74,66	74,47	-0,25±1,28 ^c	3,81±0,88 ^h
60°C	57,11	54,24	-5,01±2,09 ^{bc}	74,82	74,01	-1,08±1,60 ^e	4,55±1,03 ^{gh}
40°C+90 W	56,41	53,15	-5,79±1,29 ^{cd}	75,07	74,10	-1,29±1,43 ^e	5,39±1,04 ^{fg}
40°C+180 W	56,71	52,33	-7,71±2,36 ^e	75,12	74,53	-0,79±1,87 ^e	6,27±1,74 ^{ef}
40°C+360 W	56,64	30,90	-45,44±1,00 ¹	74,74	99,08	32,58±1,67 ^a	46,45±1,45 ^a
50°C+90 W	56,22	52,60	-6,42±2,02 ^{cde}	75,16	75,08	-0,10±1,20 ^e	5,65±1,09 ^{fg}
50°C+180 W	56,69	52,33	-7,69±2,03 ^e	74,95	75,12	0,23±1,45 ^e	6,06±1,56 ^{ef}
50°C+360 W	56,28	30,63	-45,56±0,94 ¹	74,97	98,71	31,68±1,72 ^a	46,55±0,93 ^a
60°C+90 W	56,58	53,15	-6,05±2,29 ^{cde}	75,01	78,18	4,22±1,74 ^d	5,79±1,97 ^{efg}
60°C+180 W	56,51	52,33	-7,38±2,05 ^{de}	74,63	78,63	5,36±1,75 ^d	6,99±2,02 ^e
60°C+360 W	56,22	30,73	-45,34±0,87 ¹	74,93	98,61	31,61±0,69 ^a	46,34±0,79 ^a

¹Farklı harfler değerlerin p<0,05 seviyesinde farklı olduğunu ifade etmektedir.

Taze örneklerde Hue açısı değeri 56,22-57,11 aralığında saptanmıştır. Kurutma işlemleri sonucu bu değerlerin azaldığı görülmüştür. Kurutma sonrası Hue açısı 30,90-54,24 aralığında bulunmuştur. Kuru örneklerdeki Hue açısı değeri genel olarak sıcaklık ve mikrodalga gücünün yükseltilmesiyle birlikte daha da azalmıştır. Bu azalış, 360 W ve bu mikrodalga gücünün kombinasyonlarıyla yapılan kurutmalarda %37,03-45,56 ile en yüksek seviyelere çıkmıştır. Toplam renk değişimini ifade eden ΔE^* değeri sıcak hava ve mikrodalga gücü değerlerinin yükseltilmesiyle artmıştır. Bu artış sıcak hava ve sıcak havanın 90, 180 W ile yapılan kombinasyonları ile yapılan kurutmalarda 3,81-6,99 saptanmıştır. Burdan da anlaşılacağı gibi kuru örnekler arasında bir fark tespit edilmemiştir ($p < 0,05$). Ancak 360 W ve sıcak hava kombinasyonlarında ise 34,64-46,55 aralığında bulunan ΔE^* değeri diğer kurutmalara göre çok fazla artış göstermiştir.

Horuz (2018) kayısı üzerine yaptığı çalışmada 50, 60 ve 70°C sıcaklık ve bu sıcaklık değerlerinin ile 120, 150 ve 180 W mikrodalga güçlerini hibrit sistemde kombin şekilde kullanarak örneklerin renk değişimlerini incelemiştir. İncelemeler sonucunda ΔE değerlerini 16,48-41,58 arasında tespit etmiştir. Bu değerler neticesinde sıcaklık ve mikrodalga gücünün yükseltilmesi sonucu ΔE değerinde artışlar meydana gelmiştir.

6.2.4 Toplam Fenolik Madde ve Antioksidan Aktivite Değişimi

Taze ve kuru portakal kabuklarının DPPH yöntemine göre hesaplanan antioksidan aktivite değerleri Tablo 6.28'de verilmiştir. Taze portakal kabuğunda bulunan antioksidan değerleri 5,104-5,578 mmol TE/g kuru madde arasında değişmektedir. Farklı kurutma şartlarıyla elde edilen kuru portakal örneklerine ait antioksidan değerleri ise 2,396-3,717 mmol TE/g kuru madde arasında bulunmuştur. Bu sonuçlar göz önüne alındığında antioksidan aktivite sıcaklığın ve mikrodalga gücünün artmasıyla % değişim oranı azalmaktadır. En düşük değişim ise 60°C+360 W kombinasyonunda meydana gelmiştir.

Toplam fenolik madde miktarı değerlerine baktığımız zaman taze örneklerin kurutulduğunda kuru madde bazında fenolik maddede artış meydana gelmiştir. Son ürünlerdeki toplam fenolik madde miktarı 18,921-33,396 mg GAE/g kuru madde

arasında tespit edilmiştir. Sıcaklık ve mikrodalga gücünün artmasıyla birlikte % değişim oranı artmaktadır. Yüzde değişimin en fazla olduğu 60°+360 W kombinasyonunda toplam fenolik madde miktarı 17,566'dan 33,396 mg GAE/g kuru madde seviyesine ulaşmıştır.

Tablo 6. 28: Taze ve farklı kurutma koşullarında kurutulan portakal kabuğu örneklerine ait antioksidan ve toplam fenolik madde miktarları

Kurutma Şartları	Antioksidan Aktivite (mmol TE/g kuru madde)			Toplam Fenolik Madde (mg GAE/g kuru madde)		
	Taze	Kuru	% Değişim ¹	Taze	Kuru	% Değişim ¹
90 W	5,380	2,453	-54,41±0,38 ^{ab}	17,450	20,874	19,95±1,49 ^g
180 W	5,578	2,786	-50,03±2,05 ^c	16,997	23,300	37,11±2,32 ^{ef}
360 W	5,511	3,096	-43,82±0,22 ^{ef}	17,516	25,562	45,95±1,84 ^{de}
40°C	5,452	2,396	-56,03±1,11 ^a	17,158	18,921	10,27±1,23 ^h
50°C	5,424	2,629	-51,46±2,51 ^{bc}	17,346	21,475	23,81±0,96 ^g
60°C	5,545	2,860	-48,43±1,47 ^{cd}	17,415	24,108	38,46±2,4 ^{ef}
40°C+90 W	5,212	2,726	-47,67±1,18 ^{cde}	17,149	23,128	34,92±3,25 ^f
40°C+180 W	5,290	2,909	-44,97±2,93 ^{def}	17,526	25,002	42,73±3,68 ^{ef}
40°C+360 W	5,104	3,166	-37,94±2,69 ^{gh}	17,336	26,430	52,58±5,68 ^{cd}
50°C+90 W	5,528	3,104	-43,86±1,46 ^{ef}	17,389	25,866	48,90±5,81 ^{cde}
50°C+180 W	5,497	3,227	-41,24±2,64 ^{fg}	17,199	26,548	54,47±5,14 ^c
50°C+360 W	5,408	3,581	-33,61±4,49 ^{jl}	17,348	30,081	73,44±4,08 ^b
60°C+90 W	5,425	3,301	-39,13±0,87 ^{gh}	17,431	26,978	54,85±4,33 ^c
60°C+180 W	5,373	3,408	-36,54±2,72 ^{hi}	17,044	28,918	69,77±6,22 ^b
60°C+360 W	5,352	3,717	-30,45±3,47 ^j	17,566	33,396	90,11±4,01 ^a

¹Farklı harfler değerlerin p <0,05 seviyesinde farklı olduğunu ifade etmektedir.

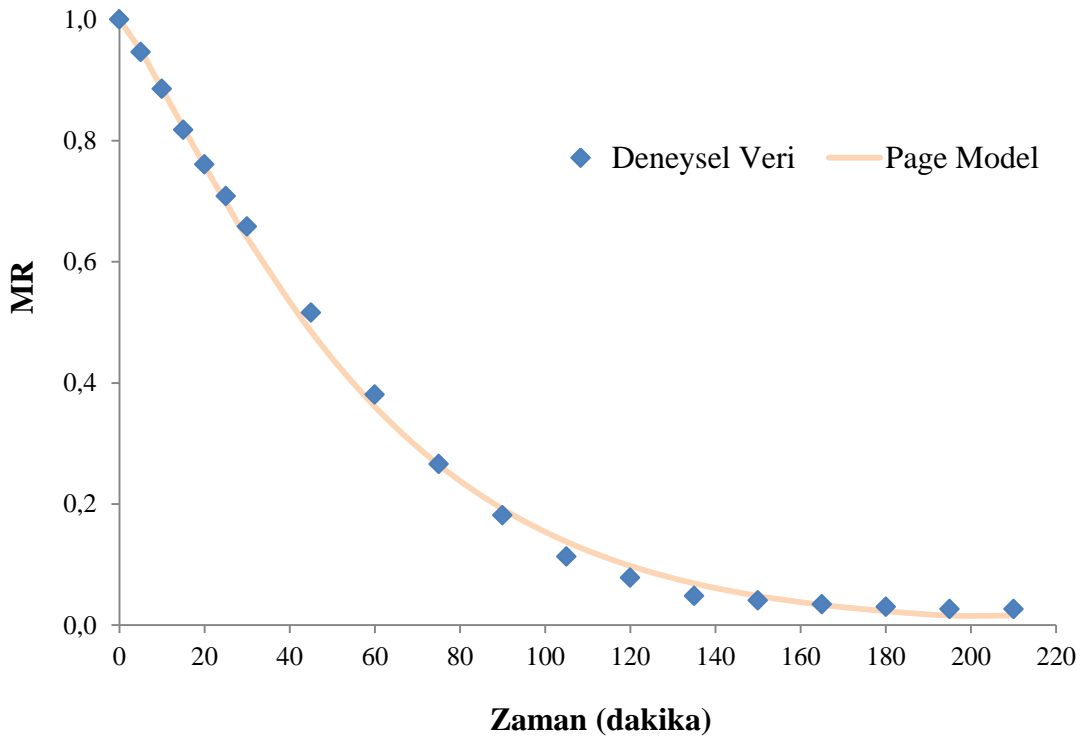
6.2.5 Kurutma Kinetiğinin Modellenmesi

Farklı koşullarda kurutulan portakal kabuklarının kurutulması esnasında kuruma süresince elde edilen deneysel MR değerlerinin beş farklı matematiksel modele uyumu incelenmiştir. Matematiksel modellere ait katsayı, model sabitleri ve istatistiksel veriler Tablo 6.29-6.43'te verilmiştir. Elde edilen R^2 , RMSE ve χ^2 değerlerine göre portakal kabuğunun kurutulmasını en iyi açıklayan modelin Page ve Modifiye Page modeller olduğu belirlenmiştir. Kurutmanın uygulandığı her bir kurutma şartı için deneysel ve Page modelden elde edilen MR değerlerinin karşılaştırması grafiksel olarak Şekil 6.33-6.47'te verilmiştir.

Tablo 6.29-6.43 incelendiğinde; Page modele ait kinetik sabitinin (k) mikrodalga, sıcak hava, sıcak hava-mikrodalga kombinasyonları için sırasıyla 0,0078-0,0123 dakika⁻¹, 0,0228-0,0233 dakika⁻¹, ve 0,0232-0,1014 dakika⁻¹ arasında değiştiği tespit edilmiştir. Ayrıca Page modele ait diğer bir sabit olan n değeri 0,9227-1,3618 değerleri arasında değişmiştir (Tablo 6.29-6.43).

Tablo 6. 29: 90 W mikrodalga gücü ile kurutulanan portakal kabuğu örneği için model katsayıları ve istatistiksel parametreler

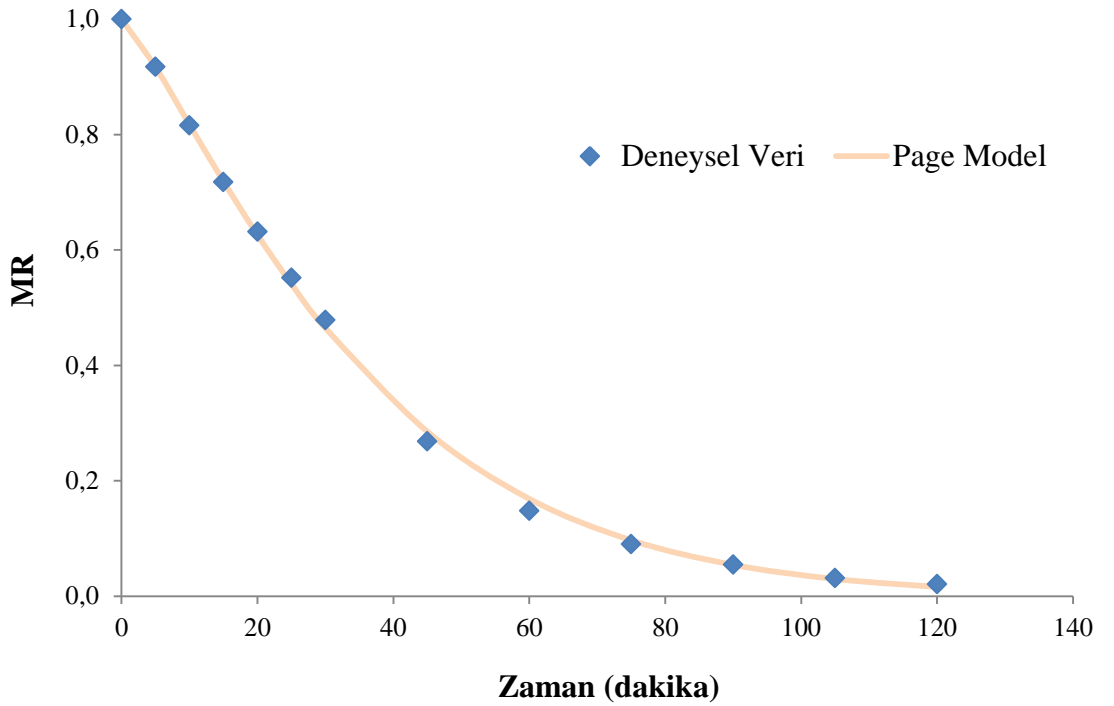
MODEL	90 W			
	Model Katsayıları	R ²	RMSE	χ^2
Lewis	k : 0,0204	0,9821	0,063274	0,004239
Henderson ve Pabis	k : 0,0220 a : 1,1813	0,9900	0,060425	0,004108
Page	k : 0,0078 n : 1,1895	0,9972	0,014085	0,000223
Modifiye Page	k : 0,0169 n : 1,1895	0,9972	0,014085	0,000223
Logaritmik	k : 0,0276 a : 1,3252 c : 0,0266	0,9662	0,115653	0,016051



Şekil 6. 33: 90 W mikrodalga gücü ile kurutulanan portakal kabuğu örneğine ait deneysel ve Page Model'den elde edilen MR değerlerinin karşılaştırması

Tablo 6. 30: 180 W mikrodalga gücü ile kurutulmuş portakal kabuğu örneği için model katsayıları ve istatistiksel parametreler

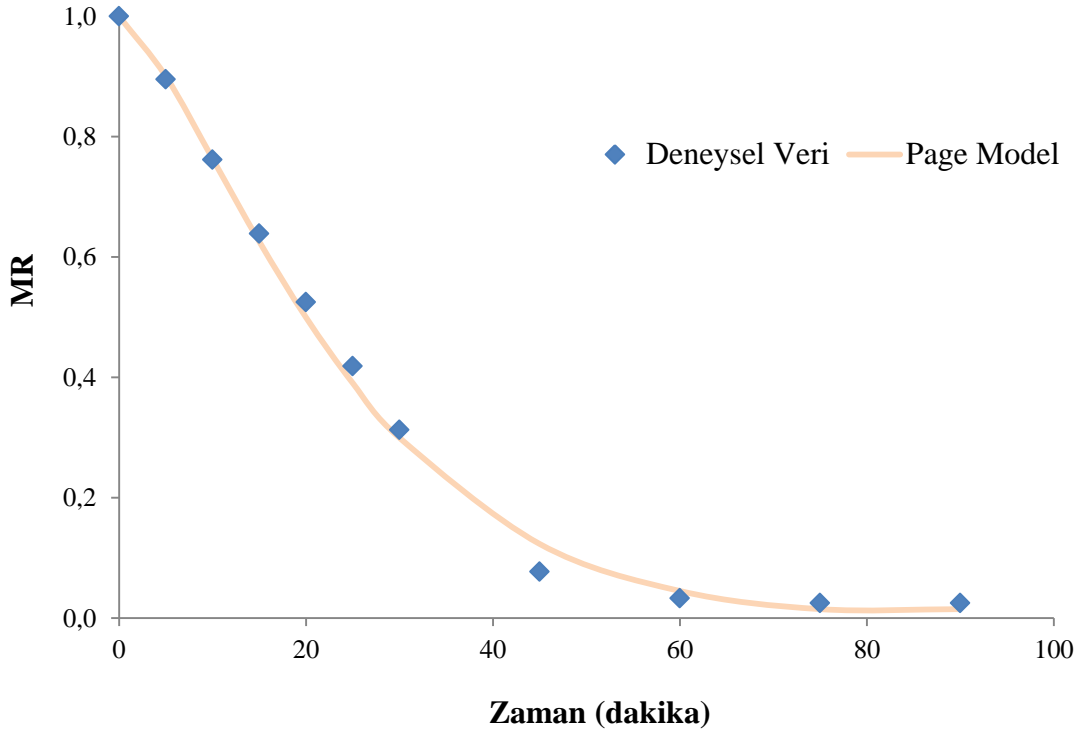
MODEL	180 W			
	Model Katsayıları	R ²	RMSE	χ^2
Lewis	k : 0,0319	0,9913	0,063380	0,004352
Henderson ve Pabis	k : 0,0338 a : 1,1652	0,9969	0,055260	0,003609
Page	k : 0,0123 n : 1,2150	0,9990	0,009416	0,000105
Modifiye Page	k : 0,0268 n : 1,2150	0,9990	0,009416	0,000105
Logaritmik	k : 0,0415 a : 1,3102 c : 0,0206	0,9794	0,110182	0,015782



Şekil 6. 34: 180 W mikrodalga gücü ile kurutulmuş portakal kabuğu örneğine ait deneysel ve Page Model'den elde edilen MR değerlerinin karşılaştırması

Tablo 6. 31: 360 W mikrodalga gücü ile kurutulmuş portakal kabuğu örneği için model katsayıları ve istatistiksel parametreler

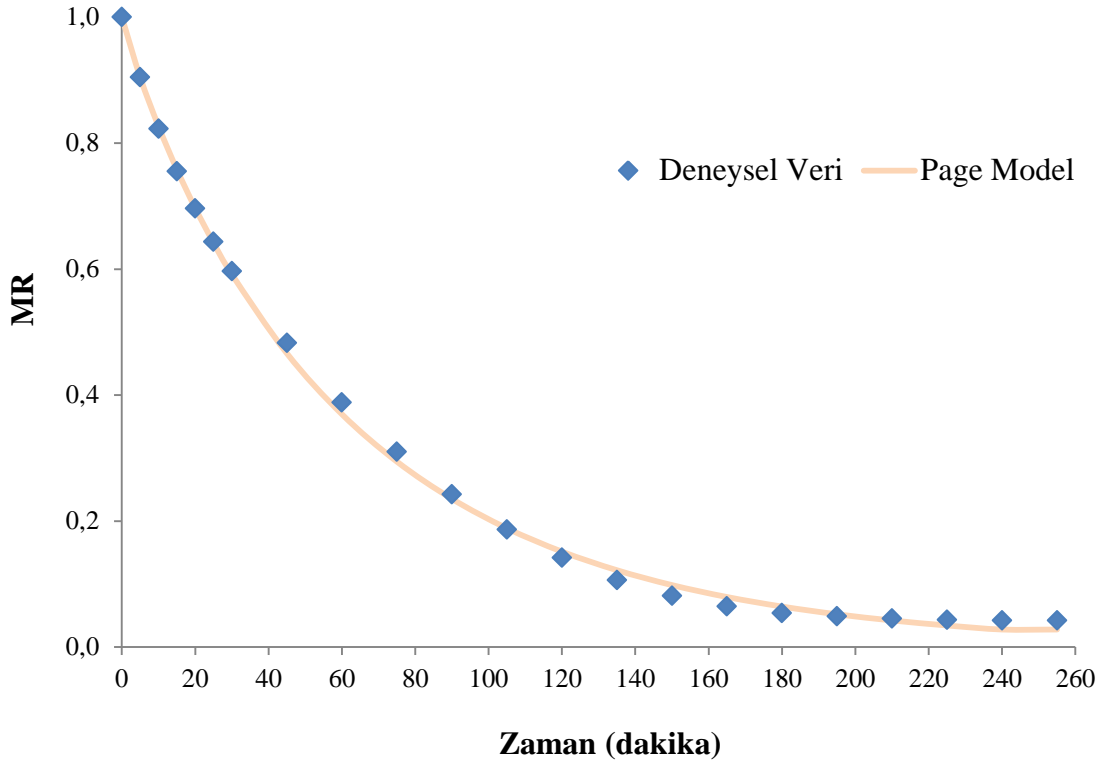
MODEL	360 W			
	Model Katsayıları	R ²	RMSE	χ^2
Lewis	k : 0,0500	0,9528	0,107539	0,012850
Henderson ve Pabis	k : 0,0556 a : 1,3075	0,9694	0,114578	0,016410
Page	k : 0,0117 n : 1,3618	0,9926	0,020101	0,000505
Modifiye Page	k : 0,0383 n : 1,3618	0,9926	0,020101	0,000505
Logaritmik	k : 0,0795 a : 1,7514 c : 0,0251	0,9235	0,276740	0,109408



Şekil 6. 35: 360 W mikrodalga gücü ile kurutulmuş portakal kabuğu örneğine ait deneysel ve Page Model'den elde edilen MR değerlerinin karşılaştırması

Tablo 6. 32: 40°C sıcak hava ile kurutulan portakal kabuğu örnekleri için model katsayıları ve istatistiksel parametreler

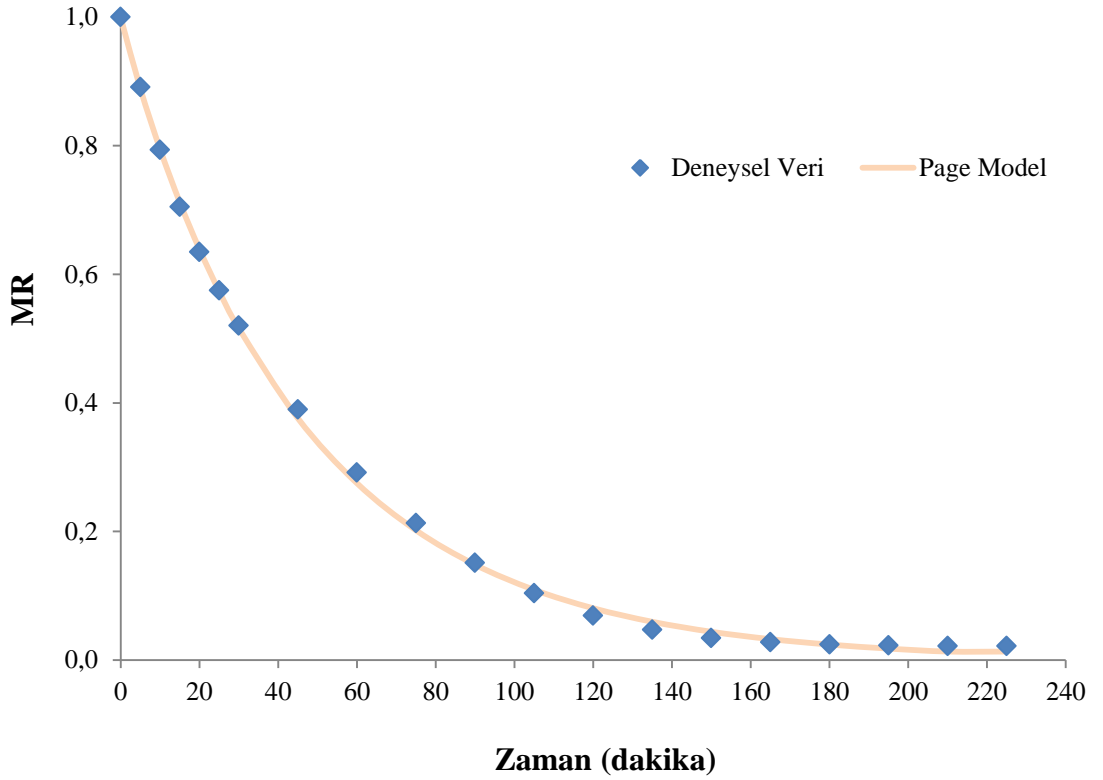
MODEL	40°C			
	Model Katsayıları	R ²	RMSE	χ^2
Lewis	k : 0,0152	0,9803	0,023497	0,000580
Henderson ve Pabis	k : 0,0145 a : 1,1054	0,9832	0,082686	0,007557
Page	k : 0,0228 n : 0,9227	0,9976	0,010354	0,000118
Modifiye Page	k : 0,0166 n : 0,9227	0,9976	0,010354	0,000118
Logaritmik	k : 0,0265 a : 1,3719 c : 0,0419	0,9574	0,148927	0,025876



Şekil 6. 36: 40°C sıcak hava ile kurutulan portakal kabuğu örneğine ait deneysel ve Page Model'den elde edilen MR değerlerinin karşılaştırması

Tablo 6. 33: 50°C sıcak hava ile kurutulan portakal kabuğu örnekleri için model katsayıları ve istatistiksel parametreler

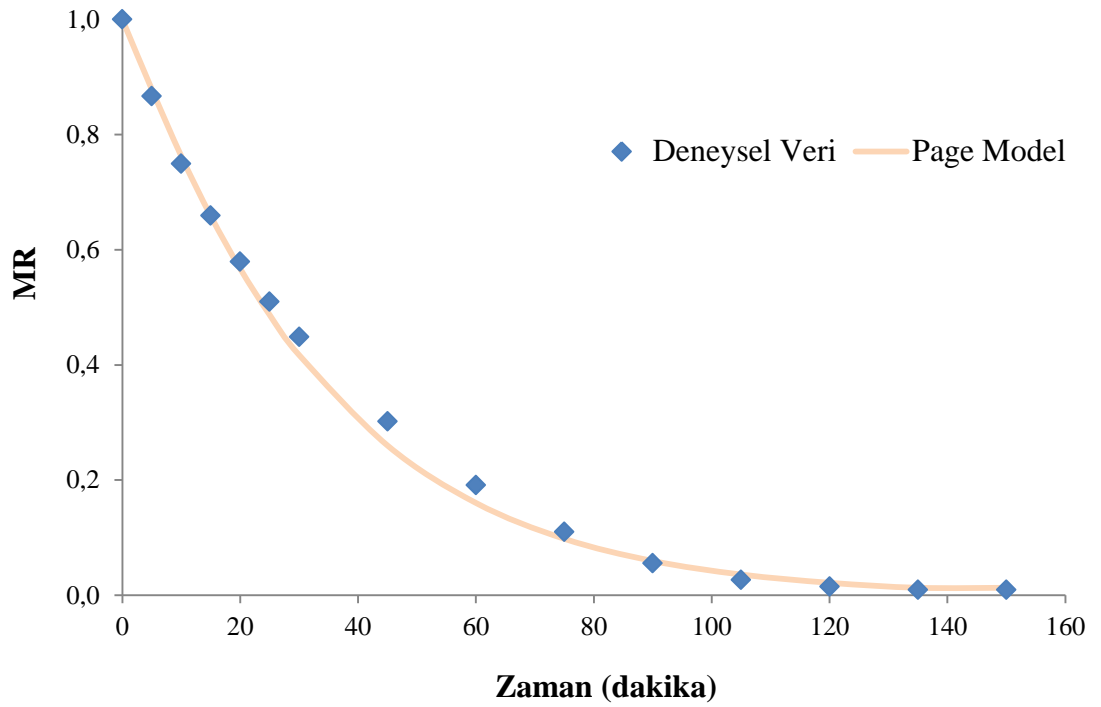
MODEL	50°C			
	Model Katsayıları	R ²	RMSE	χ^2
Lewis	k : 0,0206	0,9850	0,014347	0,000217
Henderson ve Pabis	k : 0,0201 a : 1,0761	0,9861	0,052770	0,003112
Page	k : 0,0249 n : 0,9639	0,9979	0,008003	0,000072
Modifiye Page	k : 0,0217 n : 0,9639	0,9979	0,008003	0,000072
Logaritmik	k : 0,0321 a : 1,3749 c : 0,0217	0,9670	0,137522	0,022458



Şekil 6. 37: 50°C sıcak hava ile kurutulan portakal kabuğu örneğine ait deneysel ve Page Model'den elde edilen MR değerlerinin karşılaştırması

Tablo 6. 34: 60°C sıcak hava ile kurutulan portakal kabuğu örnekleri için model katsayıları ve istatistiksel parametreler

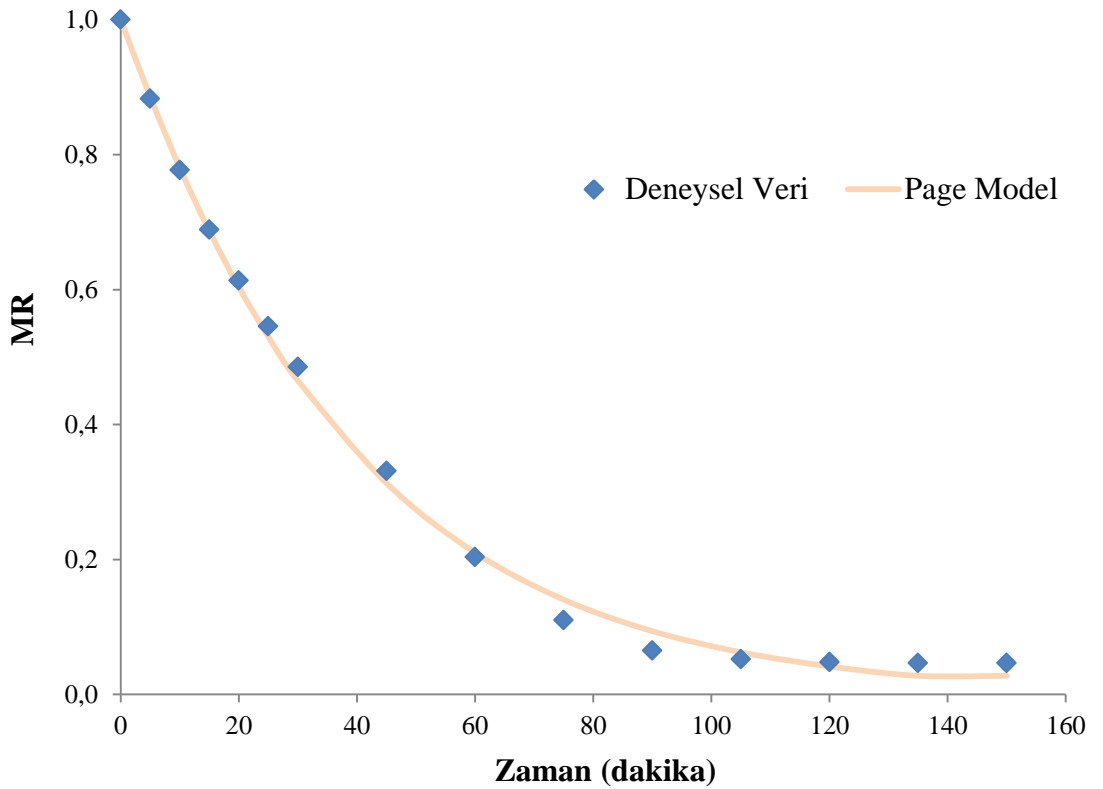
MODEL	60°C			
	Model Katsayıları	R ²	RMSE	χ^2
Lewis	k : 0,0332	0,9848	0,045865	0,002265
Henderson ve Pabis	k : 0,0351 a : 1,1873	0,9899	0,070095	0,005732
Page	k : 0,0233 n : 1,0664	0,9946	0,018784	0,000412
Modifiye Page	k : 0,0294 n : 1,0664	0,9946	0,018784	0,000412
Logaritmik	k : 0,0399 a : 1,3011 c : 0,0091	0,9626	0,112022	0,015971



Şekil 6. 38: 60°C sıcak hava ile kurutulan portakal kabuğu örneğine ait deneysel ve Page Model'den elde edilen MR değerlerinin karşılaştırması

Tablo 6. 35: 40°C+90 W kombinasyonu ile kurutulan portakal kabuğu örnekleri için model katsayıları ve istatistiksel parametreler

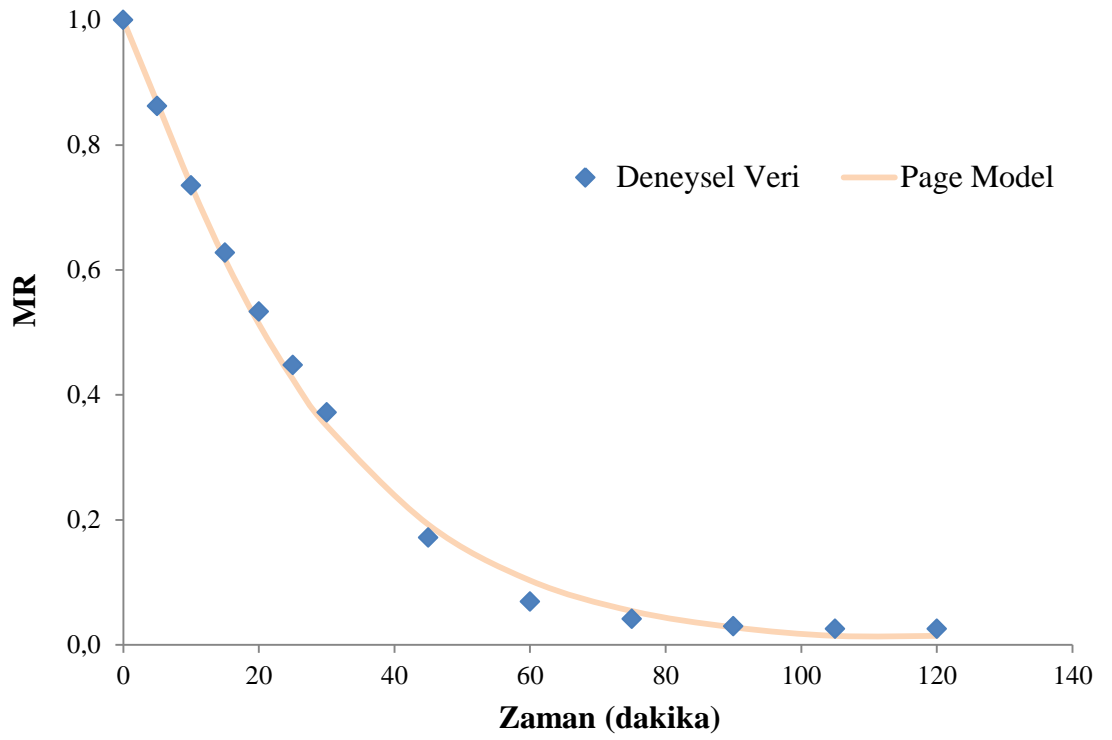
MODEL	40°C+90 W			
	Model Katsayıları	R ²	RMSE	χ^2
Lewis	k : 0,0261	0,9735	0,005011	0,000379
Henderson ve Pabis	k : 0,0259 a : 1,0196	0,9736	0,004731	0,000366
Page	k : 0,0232 n : 1,0277	0,9944	0,004157	0,000282
Modifiye Page	k : 0,0257 n : 1,0277	0,9944	0,004157	0,000282
Logaritmik	k : 0,0508 a : 1,5748 c : 0,0464	0,9511	0,056477	0,056834



Şekil 6. 39: 40°C+90 W kombinasyonu ile kurutulan portakal kabuğu örneğine ait deneysel ve Page Model'den elde edilen MR değerlerinin karşılaştırması

Tablo 6. 36: 40°C+180 W kombinasyonu ile kurutulan portakal kabuğu örnekleri için model katsayıları ve istatistiksel parametreler

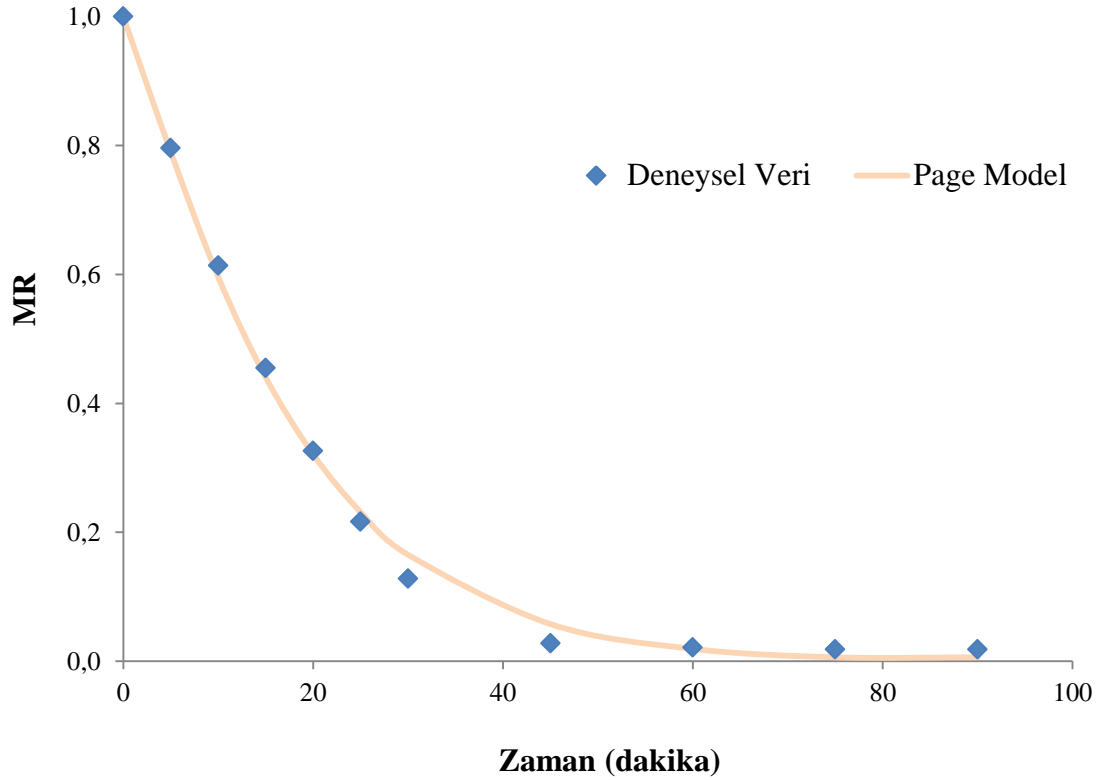
MODEL	40°C+180 W			
	Model Katsayıları	R ²	RMSE	χ^2
Lewis	k : 0,0385	0,9786	0,012465	0,002034
Henderson ve Pabis	k : 0,0394 a : 1,0601	0,9794	0,010016	0,001445
Page	k : 0,0234 n : 1,1173	0,9937	0,004820	0,000335
Modifiye Page	k : 0,0348 n : 1,1173	0,9937	0,004820	0,000335
Logaritmik	k : 0,0605 a : 1,4805 c : 0,0252	0,9733	0,049922	0,039875



Şekil 6. 40: 40°C+180 W kombinasyonu ile kurutulan portakal kabuğu örneğine ait deneysel ve Page Model'den elde edilen MR değerlerinin karşılaştırması

Tablo 6. 37: 40°C+360 W kombinasyonu ile kurutulan portakal kabuğu örnekleri için model katsayıları ve istatistiksel parametreler

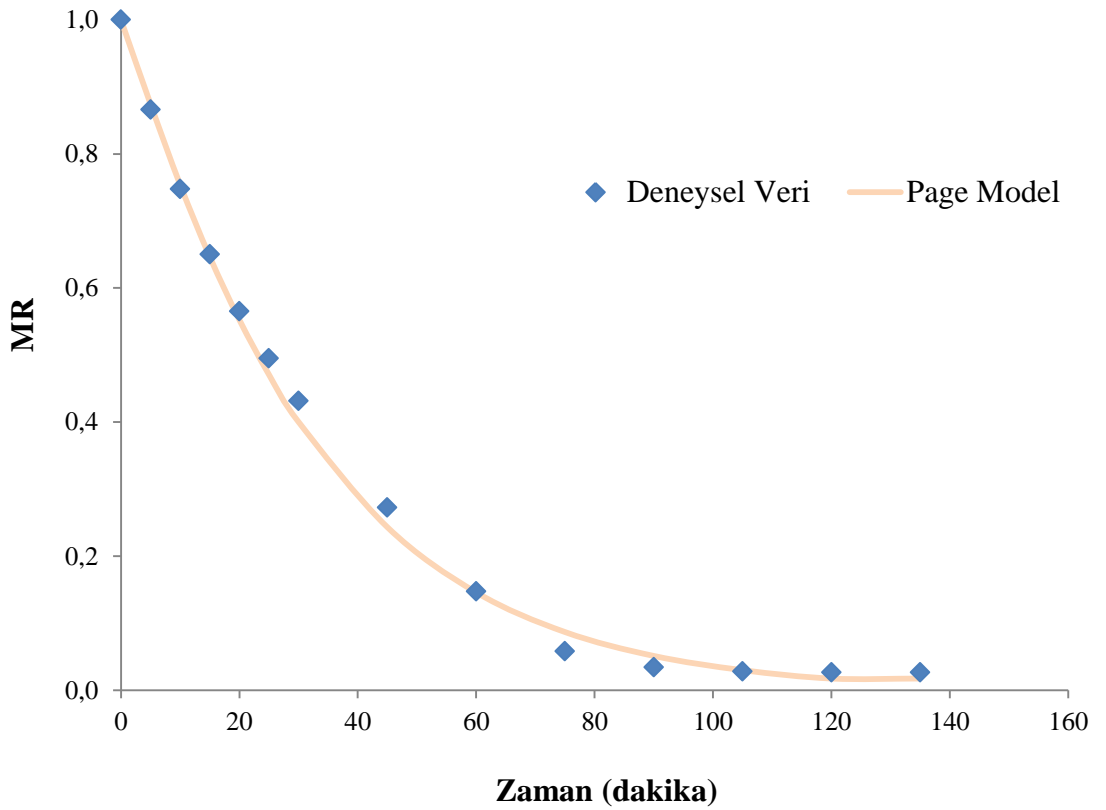
MODEL	40°C+360 W			
	Model Katsayıları	R ²	RMSE	χ^2
Lewis	k : 0,0616	0,9460	0,012577	0,001758
Henderson ve Pabis	k : 0,6110 a : 1,0244	0,9461	0,010516	0,001382
Page	k : 0,0379 n : 1,1352	0,9829	0,005683	0,000404
Modifiye Page	k : 0,0560 n : 1,1352	0,9829	0,005683	0,000404
Logaritmik	k : 0,1013 a : 1,6154 c : 0,0180	0,9649	0,067934	0,065928



Şekil 6. 41: 40°C+360 W kombinasyonu ile kurutulan portakal kabuğu örneğine ait deneysel ve Page Model'den elde edilen MR değerlerinin karşılaştırması

Tablo 6. 38: 50°C+90 W kombinasyonu ile kurutululan portakal kabuğu örnekleri için model katsayıları ve istatistiksel parametreler

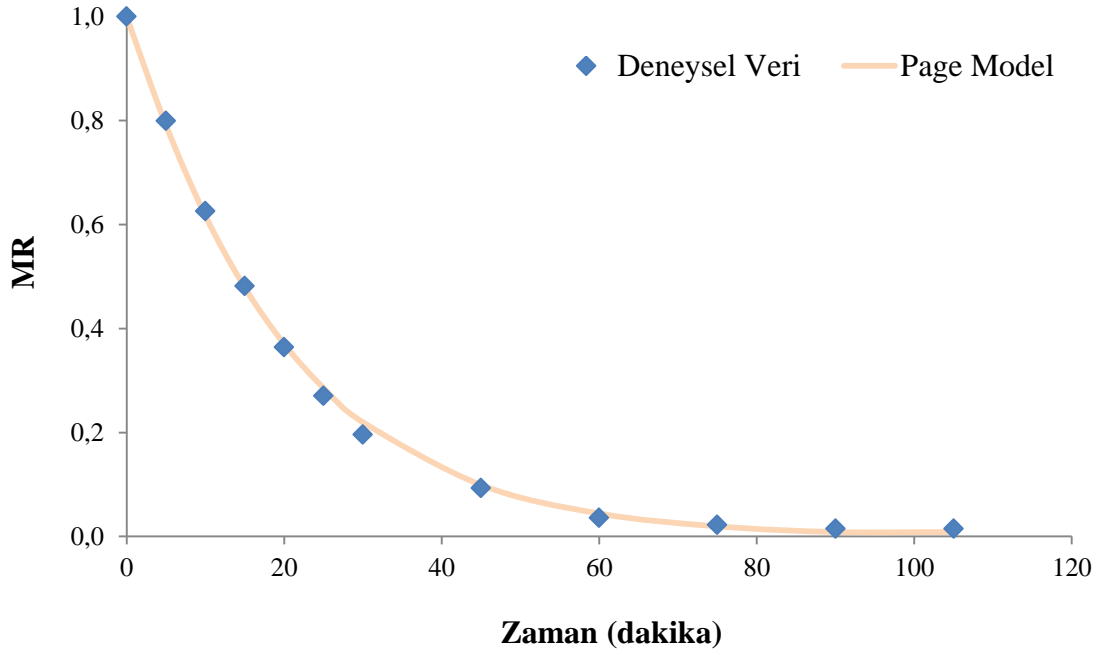
MODEL	50°C+90 W			
	Model Katsayıları	R ²	RMSE	χ^2
Lewis	k : 0,0333	0,9782	0,009993	0,001406
Henderson ve Pabis	k : 0,0341 a : 1,0672	0,9791	0,008859	0,001206
Page	k : 0,0240 n : 1,0708	0,9939	0,004812	0,000356
Modifiye Page	k : 0,0307 n : 1,0708	0,9939	0,004812	0,000356
Logaritmik	k : 0,0565 a : 1,6140 c : 0,0264	0,9441	0,061157	0,063210



Şekil 6. 42: 50°C+90 W kombinasyonu ile kurutululan portakal kabuğu örneğine ait deneysel ve Page Model'den elde edilen MR değerlerinin karşılaştırması

Tablo 6. 39: 50°C+180 W kombinasyonu ile kurutulan portakal kabuğu örnekleri için model katsayıları ve istatistiksel parametreler

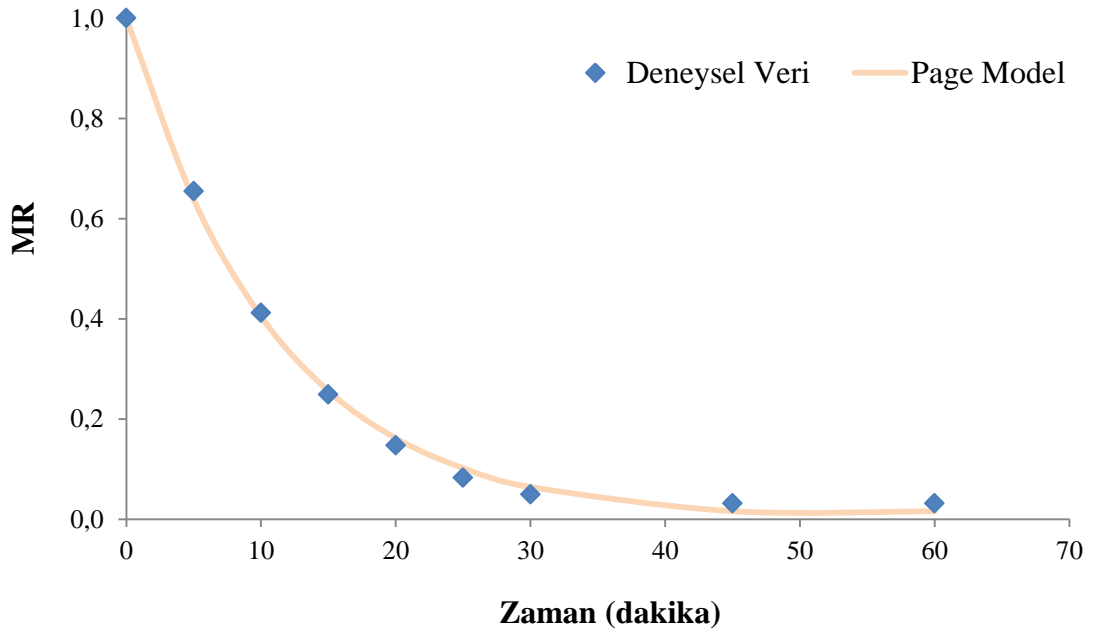
MODEL	50°C+180 W			
	Model Katsayıları	R ²	RMSE	χ^2
Lewis	k : 0,0526	0,9958	0,017269	0,000328
Henderson ve Pabis	k : 0,0531 a : 1,0246	0,9959	0,013605	0,000226
Page	k : 0,0439 n : 1,0414	0,9963	0,010174	0,000127
Modifiye Page	k : 0,0905 n : 1,0108	0,9963	0,010174	0,000127
Logaritmik	k : 0,0632 a : 1,1450 c : 0,0147	0,9903	0,052114	0,003734



Şekil 6. 43: 50°C+180 W kombinasyonu ile kurutulan portakal kabuğu örneğine ait deneysel ve Page Model'den elde edilen MR değerlerinin karşılaştırması

Tablo 6. 40: 50°C+360 W kombinasyonu ile kurutulan portakal kabuğu örnekleri için model katsayıları ve istatistiksel parametreler

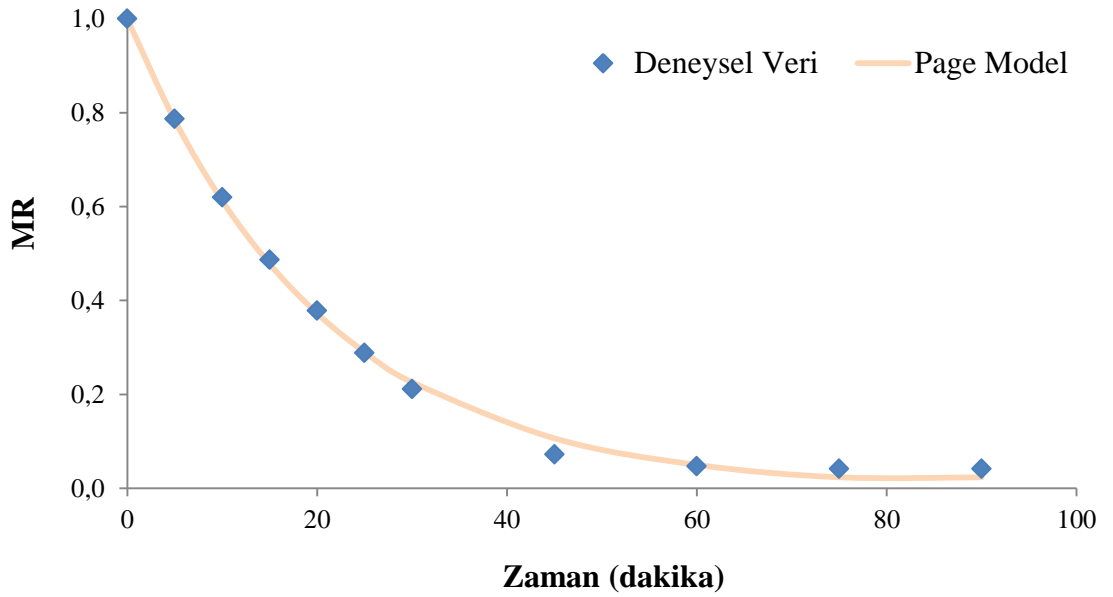
MODEL	50°C+360 W			
	Model Katsayıları	R ²	RMSE	χ^2
Lewis	k : 0,0881	0,9529	0,017657	0,000356
Henderson ve Pabis	k : 0,0833 a : 1,1463	0,9577	0,083701	0,009341
Page	k : 0,0882 n : 1,0108	0,9836	0,013379	0,000239
Modifiye Page	k : 0,0905 n : 1,0108	0,9836	0,013379	0,000239
Logaritmik	k : 0,1301 a : 1,2374 c : 0,0314	0,9754	0,098119	0,015404



Şekil 6. 44: 50°C+360 W kombinasyonu ile kurutulan portakal kabuğu örneğine ait deneysel ve Page Model'den elde edilen MR değerlerinin karşılaştırması

Tablo 6. 41: 60°C+90 W kombinasyonu ile kurutulan portakal kabuğu örnekleri için model katsayıları ve istatistiksel parametreler

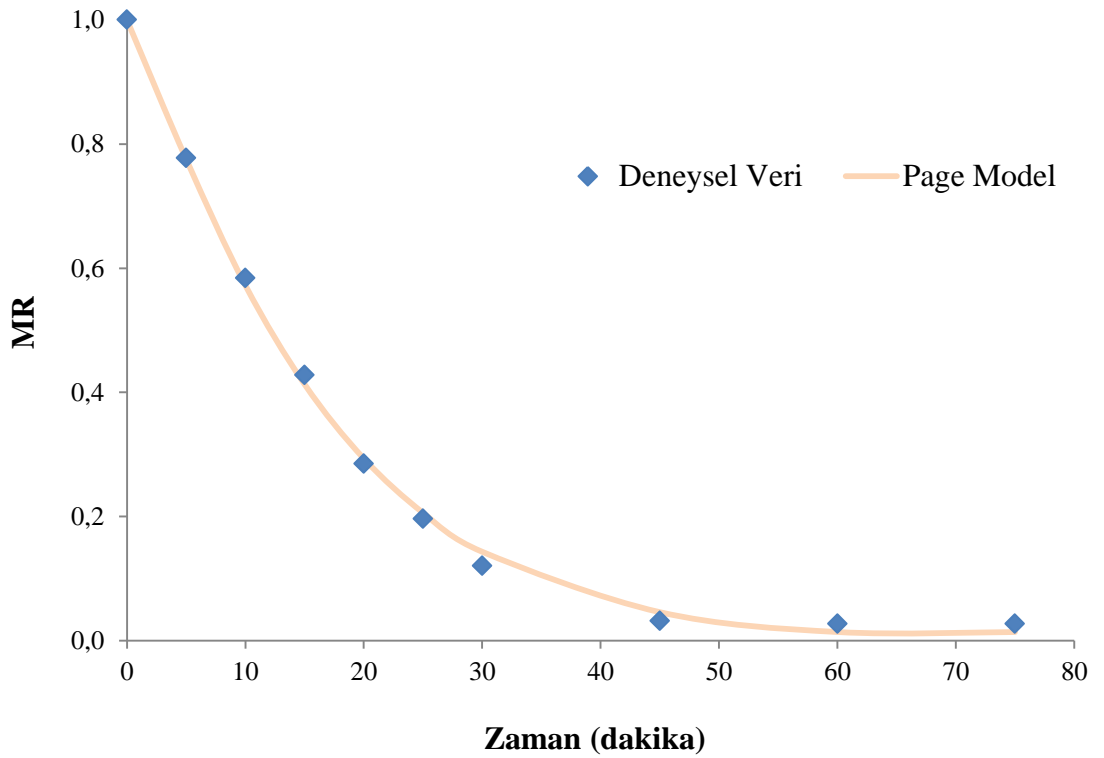
MODEL	60°C+90 W			
	Model Katsayıları	R ²	RMSE	χ^2
Lewis	k : 0,0485	0,9646	0,016025	0,000285
Henderson ve Pabis	k : 0,0470 a : 1,0732	0,9662	0,048606	0,002953
Page	k : 0,0478 n : 1,0110	0,9910	0,013736	0,000236
Modifiye Page	k : 0,0494 n : 1,0110	0,9910	0,013736	0,000236
Logaritmik	k : 0,0854 a : 1,4441 c : 0,0410	0,9641	0,170976	0,041761



Şekil 6. 45: 60°C+90 W kombinasyonu ile kurutulan portakal kabuğu örneğine ait deneysel ve Page Model'den elde edilen MR değerlerinin karşılaştırması

Tablo 6. 42: 60°C+180 W kombinasyonu ile kurutulan portakal kabuğu örnekleri için model katsayıları ve istatistiksel parametreler

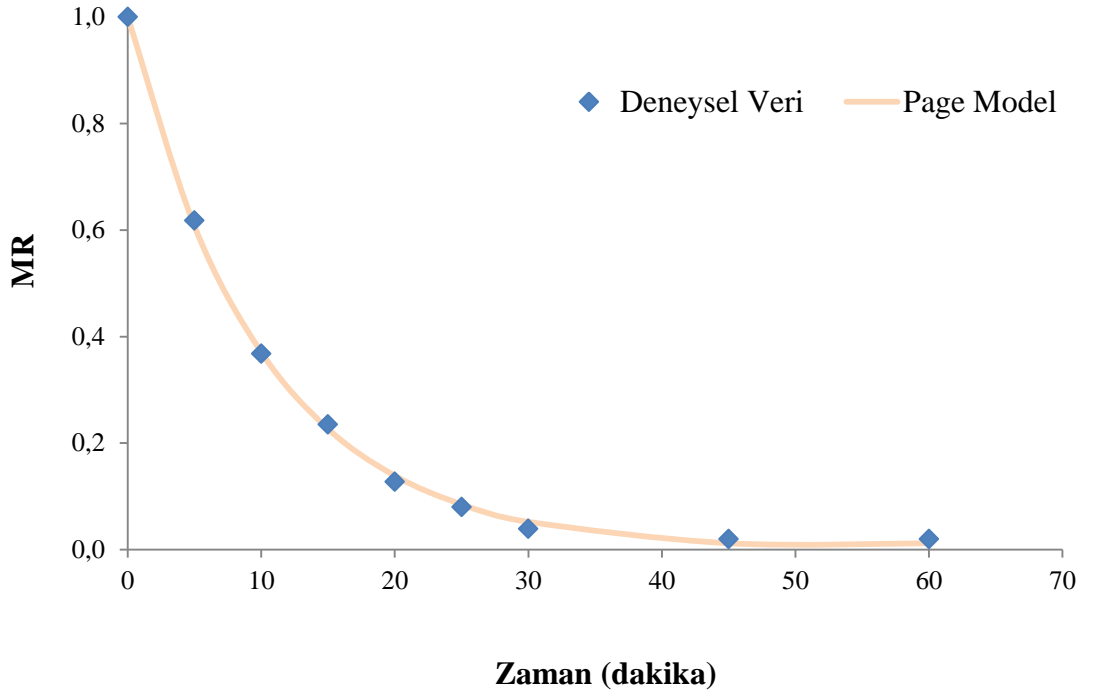
MODEL	60°C+180 W			
	Model Katsayıları	R ²	RMSE	χ^2
Lewis	k : 0,0659	0,9703	0,026925	0,000816
Henderson ve Pabis	k : 0,0670 a : 1,0422	0,9707	0,023981	0,000739
Page	k : 0,0408 n : 1,1358	0,9912	0,015230	0,000298
Modifiye Page	k : 0,0598 n : 1,1358	0,9912	0,015230	0,000298
Logaritmik	k : 0,1116 a : 1,6726 c : 0,0269	0,9175	0,109487	0,017981



Şekil 6. 46: 60°C+180 W kombinasyonu ile kurutulan portakal kabuğu örneğine ait deneysel ve Page Model'den elde edilen MR değerlerinin karşılaştırması

Tablo 6. 43: 60°C+360 W kombinasyonu ile kurutulan portakal kabuğu örnekleri için model katsayıları ve istatistiksel parametreler

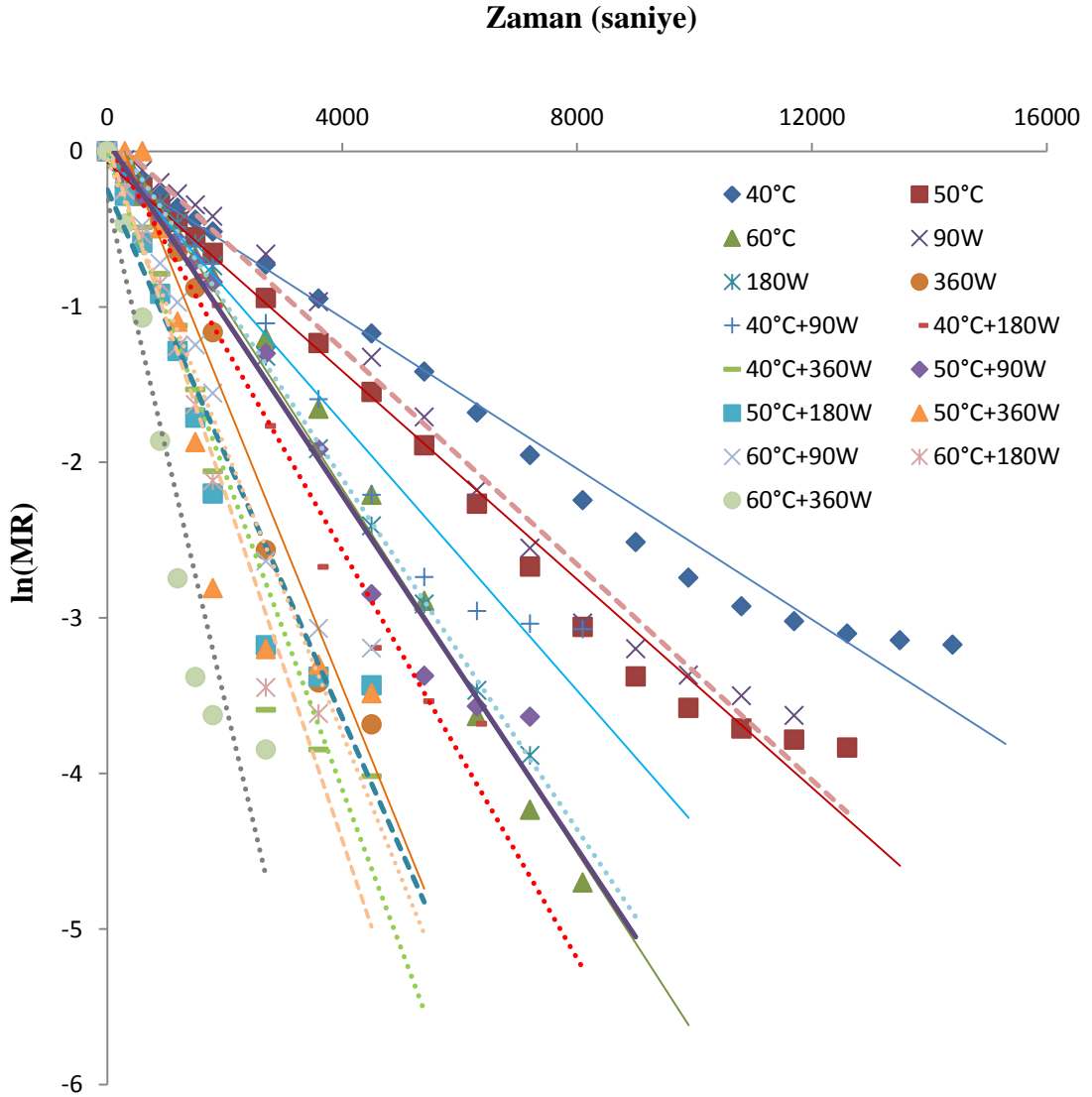
MODEL	60°C+360 W			
	Model Katsayıları	R ²	RMSE	χ^2
Lewis	k : 0,1075	0,8691	0,011401	0,000149
Henderson ve Pabis	k : 0,0965 a : 1,3696	0,8866	0,062278	0,005171
Page	k : 0,1014 n : 1,0382	0,9809	0,008518	0,000097
Modifiye Page	k : 0,1103 n : 1,0382	0,9809	0,008518	0,000097
Logaritmik	k : 0,1815 a : 1,4569 c : 0,0214	0,9463	0,067052	0,007193



Şekil 6. 47: 60°C+360 W kombinasyonu ile kurutulan portakal kabuğu örneğine ait deneysel ve Page Model'den elde edilen MR değerlerinin karşılaştırması

6.2.6 Etkin Difüzyon Katsayısı

Etkin difüzyon katsayısı dilim kabulü yapılan portakal kabuğu için Denklem 5.8'de verilen doğrusal denklemin eğiminden hesaplanmıştır (Şekil 6.48). Portakal kabuğu örneklerine ait etkin difüzyon katsayıları Tablo 6.44'te verilmiştir.



Şekil 6. 48: Farklı kurutma koşullarında portakal kabuğu örneklerinin ln(MR) değerlerinin kuruma zamanı ile değişimi

Portakal kabuklarının kurutulması sonucu elde edilen Etkin difüzyon katsayıları (D_{eff}) değerlendirildiğinde en düşük değerin 40°C ile yapılan kurutma olduğu görülmektedir. Ayrıca sıcaklık artışıyla beraber bu değerde artış meydana gelmiştir. Mikrodalganın sıcak havayla kombinasyon olarak kullanılması sonucu $40^{\circ}\text{C}+90\text{ W}$, $40^{\circ}\text{C}+180\text{ W}$, $40^{\circ}\text{C}+360\text{ W}$ kombinasyonlarındaki etkin difüzyon katsayıları sırasıyla $2,79 \times 10^{-9}$, $4,25 \times 10^{-9}$ ve $6,61 \times 10^{-9}\text{ m}^2/\text{s}$ olarak bulunmuştur. Bulunan değerlerde de görüldüğü gibi mikrodalga gücü değerlerinin yükseltilmesi etkin difüzyon katsayısının artmasına neden olmuştur. Son olarak kurutma koşullarının en yüksek olduğu $60^{\circ}\text{C}+360\text{ W}$ kombinasyonunda en yüksek etkin difüzyon katsayısı değerine ulaşılarak $9,98 \times 10^{-9}\text{ m}^2/\text{s}$ olarak bulunmuştur.

Tablo 6. 44: Farklı kurutma koşullarında portakal kabuğu örneklerine ait etkin difüzyon katsayısı değerleri

Kurutma Koşulları		$D_{eff} \times 10^9$ (m^2/s)
Sıcaklık ($^{\circ}\text{C}$)	Mikrodalga gücü (W)	
40°C	-	1,57
	90 W	2,79
	180 W	4,25
	360 W	6,61
50°C	-	2,17
	90 W	3,69
	180 W	5,38
	360 W	9,01
60°C	-	3,79
	90 W	5,08
	180 W	6,81
	360 W	9,98
-	90 W	2,25
	180 W	3,66
	360 W	6,01

6.3 Limon ve Portakal Kabuklarına Ait Sonuçların Karşılaştırılması

Limon kabuğu ile portakal kabuklarının kurutma işlemleri sonrası 0,2 g su/g kuru madde nem içeriğine gelme sürelerini karşılaştırdığımızda limon kabuğu için en yavaş kuruma 208 dakika ile 40°C'de gerçekleşmiştir. Portakal kabuğu için de en yavaş kuruma 40°C'de gerçekleşirken, kuruma süresi 168 dakika sürmüştür. Örneklerde en hızlı kuruma 60°C+360 W kombinasyonunda gerçekleşirken, limon ve portakal kabukları için kuruma süreleri sırasıyla 24 ve 26 dakika olarak tespit edilmiştir.

Örneklerin etkin difüzyon katsayıları açısından yapılan karşılaştırmada en düşük etkin difüzyon katsayısı değerleri 2 örnek içinde 40°C'de yapılan kurutmalarda bulunmuştur. Limon kabuğu için bu değer $1,58 \times 10^{-9}$ m²/s bulunurken, portakal kabuğunda $1,57 \times 10^{-9}$ m²/s olarak tespit edilmiştir. En yüksek etkin difüzyon katsayısı değerlerine baktığımızda 2 örnekte de bu değerlerin 60°C+360 W kombinasyonu ile yapılan kurutmalarda olduğu saptanmıştır. Limon ve portakal kabuğuna ait en yüksek etkin difüzyon katsayısı değerleri sırasıyla $11,79 \times 10^{-9}$ m²/s ve $9,98 \times 10^{-9}$ m²/s olarak tespit edilmiştir.

Limon ve portakal kabuklarının kuruma kinetikleri incelendiğinde tüm kurutma şartları için limon ve portakal kabuklarının kurutulmasını en iyi açıklayan modelin Page ve Modifiye Page modeller olduğu tespit edilmiştir.

Limon ve portakal kabukları renk değişimi yönünden karşılaştırıldığında, kurutma işlemleri sonucunda limon kabuklarındaki toplam renk değişimleri (ΔE^*) % 6,04-65,32 arasında bulunurken, portakal kabuğundaki toplam renk değişimleri % 3,81-46,55 aralığında tespit edilmiştir. 2 örnekte de sıcak havanın ve mikrodalga gücünün yükseltilmesiyle birlikte toplam renk değişiminde artışlar meydana gelmiştir.

Limon ve portakal kabuklarını antioksidan aktivite ve toplam fenolik madde miktarı bakımından karşılaştırdığımızda kurutmaya birlikte 2 örnekte de benzer değişimler meydana gelmiştir. Kurutma işlemleri sonrası örneklerde antioksidan aktivite değerlerinde düşüş meydana gelirken, toplam fenolik madde miktarı değerlerinde artış meydana gelmiştir. Taze limon kabuklarındaki antioksidan aktivite

değerleri 15,965-16,901 mmol TE/g kuru madde arasında değişirken, portakal kabuklarında ise 5,104-5,578 mmol TE/g kuru madde arasında değişmektedir. Kurutma işlemleri sonucu limon kabuklarındaki antioksidan aktivite değerleri % 61,98-85,54 arasında düşüş gösterirken, portakal kabuklarında % 30,45-56,03 arasında düşüş meydana gelmiştir. Taze limon kabuklarındaki toplam fenolik madde miktarı 11,992-13,005 mg GAE/g kuru madde arasında iken, portakal kabuklarında 16,997-17,566 mg GAE/g kuru madde aralığında tespit edilmiştir. Kurutma işlemleri sonrasında limon kabuklarındaki toplam fenolik madde miktarı değerleri % 21,34-186,11 arasında bir artış gösterirken, portakal kabuklarında bu artış % 19,95-90,11 aralığında bulunmuştur.

7. SONUÇ VE ÖNERİLER

Bu çalışmada limon ve portakal kabuklarına sıcak hava (40, 50, 60°C), mikrodalga gücü (90, 180, 360 W) ve sıcak hava-mikrodalga kombinasyonları uygulanarak örneklerin kurutulması gerçekleştirilmiştir.

Çalışma sonunda elde edilen verilere göre mikrodalğanın sıcak havayla birlikte kullanılmasıyla örneklerin kurutma hızını arttırdığı, kuruma süresini kısalttığı ve ürün kalitesine etki ettiği tespit edilmiştir. Limon kabuğu örnekleri için kuruma süreleri karşılaştırıldığında 0,2 g su/g kuru madde nem içeriğine düşürülen kuru örneklerde en uzun kuruma süresi 208 dakika ile 40°C'de gerçekleşmiştir. En kısa kuruma ise 60°C+360 W kombinasyon kurutmada 24 dakikada yapılmıştır. Portakal kabuklarına baktığımızda ise limon kabuğundaki gibi en uzun kuruma süresi 40°C'de, en kısa kuruma süresi de 60°C+360 W kombinasyonda bulunmuştur. Kurutma işlemleri 40°C'de 168 dakika sürerken, 60°C+360 W kombinasyonda 26 dakika sürmüştür. Mikrodalga kurutmalar haricindeki tüm kurutmalarda azalan hız kuruma periyodu gerçekleşmiştir. Mikrodalga ile yapılan kurutmalardaki farklılık kurumanın örneğin iç kısmından başlayarak dış yüzeye doğru kuruma sağlaması nedeniyle, ilk başta artan hızda kuruma periyoduna sahip olduğu düşünülmektedir.

60°C+360 W kombinasyonu en hızlı kurumayı gerçekleştirirken, 360 W ile yapılan kurutmaların ürünün kalitesi açısından bazı olumsuz yanları olmuştur. Kurutmalar sonrası renk ölçümü yapıldığında 360 W ve bu mikrodalga gücünün sıcak hava ile kombinasyonlarında örneklerde yanma ve buna bağlı olarak renginde kararmalar tespit edilmiştir. Bu sebeple yüksek mikrodalga gücü ürün rengini olumsuz etkilemiştir.

Kurutmayla birlikte elde edilen veriler doğrultusunda limon ve portakal kabuğunun kurutma kinetiğini 5 farklı matematiksel model ile değerlendirilmiştir. Bu modeller arasında limon ve portakal kabuğunun kurutma kinetiğini en iyi ifade eden modelin Page ve Modifiye Page modeller olduğu görülmüştür.

Çalışmada limon ve portakal kabuklarının kurutulması sonucu renk değişimleri incelenmiştir. Elde edilen değerler sonucunda 360 W ve bu mikrodalga

gücünün sıcak hava ile kombinasyonlarında kuruma hızının fazla olması nedeniyle örneklerde yanma ve örnek renklerinde kararmalara neden olmuştur. Bu nedenle mikrodalga gücünün 90 ve 180 W olarak kullanılmasının daha uygun olduğu tespit edilmiştir.

Taze ve kuru örnekler arasındaki toplam fenolik madde miktarı ve antioksidan aktivite değişimi incelenmiştir. Toplam fenolik madde miktarının taze limon kabuklarına 11,992-13,005 mg GAE/g kuru madde arasında iken, kurutma işlemleri sonrasında 15,130-35,112 mg GAE/g kuru madde aralığında tespit edilmiştir. Taze portakal kabuklarında toplam fenolik madde miktarı 16,997-17,566 mg GAE/g kuru madde aralığında bulunurken, kuru örneklerde 18,921-33,396 mg GAE/g kuru madde arasında saptanmıştır. 2 örnekte tüm kurutma işlemleri sonucu taze örnekler göre kuru örneklerde toplam fenolik madde miktarının arttığı gözlenmiştir. Bu durum kurutma işlemi sırasında hücrelerde bağlı bulunan fenolik maddelerin ısıyla birlikte ayrılma reaksiyonlarının hızlandığı düşünülmektedir. Sıcaklık ve mikrodalga gücü değerlerinin yükseltilmesi sonucu toplam fenolik madde miktarındaki artışın daha fazla olduğu tespit edilmiştir.

Antioksidan aktivitede kurutma işlemleri sonucu azalmalar meydana gelmiştir. Taze limon kabuğunda antioksidan aktivite değerleri 15,965-16,901 mmol TE/g kuru madde aralığında değişirken, kurutma işlemleri sonrası 2,309-6,140 mmol TE/g kuru madde arasında bulunmuştur. Portakal kabuklarında ise taze örneklerde antioksidan aktivite 5,104-5,578 mmol TE/g kuru madde arasında değişirken, kuru örneklerde 2,396-3,717 mmol TE/g kuru madde aralığında tespit edilmiştir. Antioksidan aktivitedeki bu azalmaların örneklere uygulanan ısı işlem sırasında gıdada doğal olarak bulunan antioksidanların bozunmasıyla ilgili olduğu düşünülmektedir. Kuruma süresi arttıkça antioksidan miktarındaki düşüşün daha da fazla olduğu belirlenmiştir.

Çalışma sonuçları değerlendirildiğinde mikrodalga gücünün kurutma üzerine önemli bir etkisinin olduğu görülmektedir. Çeşitli örnekler üzerine farklı mikrodalga ve sıcak hava değerleriyle yapılacak çalışmalarla örnekler için en uygun kurutma koşulları tespit edilebilir.

8. KAYNAKLAR

Alibaş, İ., “Characteristics of chard leaves during microwave, convective and combined microwave-convective drying”, *Drying Technology*, 24(11), 1425-1435, (2006).

Alibaş, İ., “Microwave, air and combined microwave–air-drying parameters of pumpkin slices”, *LWT-Food Science and Technology*, 40(8), 1445-1451, (2007).

Anonim, USDA (05.05.2019), <https://www.usda.gov/>, (2019).

Anonim, TÜİK (11.04.2019), <http://www.tuik.gov.tr/>, (2019).

Arslan, D. ve Özcan, M. M., “Study the effect of sun, oven and microwave drying on quality of onion slices”, *LWT-Food Science and Technology*, 43(7), 1121-1127, (2010).

Cemeroğlu, B., Meyve Sebze İşleme Teknolojisi, Bölüm: Kurutma Teknolojisi. Gıda Teknolojisi Derneği Yayınları, No: 39, 479-626, (2004).

Cesur, H., “Kurutulmuş Turunçgil Kabuklarının Kefirin Bazı Mikrobiyal, Kimyasal ve Fiziksel Özelliklerine Etkisi”, Yüksek Lisans Tezi, *Balıkesir Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, Balıkesir, (2014).

Çalışkan, M. K., “Mikrodalga Enerjisi ile Kurutma”, Yüksek Lisans Tezi, *İstanbul Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, İstanbul, (2002).

Çelen, S., “Mikrodalga ve Vakum Kurutucuda Bazı Gıda Ürünlerinin Kurutulması ve Modellenmesi”, Doktora Tezi, *Trakya Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, Edirne, (2010).

Dadalı, G., “Bamya ve Ispanağın Mikrodalga tekniği Kullanılarak Kurutulması, Doku ve Renk Özelliklerinin İncelenmesi ve Modellenmesi”,

Yüksek Lisans Tezi, *Yıldız Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, İstanbul, (2007).

Demiray, E., “Kurutma İşleminde Domatesin Likopen, β -karoten, Askorbik Asit ve Renk Değişim Kinetiğinin Belirlenmesi”, Yüksek Lisans Tezi, *Pamukkale Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, Denizli, (2009).

Demiray, E., “Havuç ve Kırmızı Biberin Farklı Kurutma Yöntemleri ile Kurutulması, Kuruma Karakteristiklerinin ve Bazı Kalite Özelliklerindeki Değişimin Modellenmesi”, Doktora Tezi, *Pamukkale Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, Denizli, (2015).

Gorinstein, S., Martín-Belloso, O., Park, Y. S., Haruenkit, R., Lojek, A., Cız, M., Caspi, A., Libman, I., Trakhtenberg, S., Comparison of some biochemical characteristics of different citrus fruits, *Food Chemistry*, 74 (3), 309-315, (2001).

Göğüs, F., ve Maskan, M., “Drying of olive pomace by a combined microwave-fan assisted convection oven” *Food/Nahrung*, 45(2), 129-132, (2001).

Güzel, M. ve Akpınar, Ö., “Turunçgil Kabuklarının Biyoaktif Bileşenleri ve Antioksidan Aktivitelerinin Belirlenmesi”, *Gümüşhane Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi*, 7(2), 153-167, (2017).

Heybeli, N., “Farklı Kurutma Sistemlerinin Birlikte Kullanımı ile Stanley Erik Çeşidinin Kurutulması Üzerine Bir Araştırma”, Doktora Tezi, *Akdeniz Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, Antalya, (2017).

Horuz, E., Bozkurt, H., Karataş, H. ve Maskan M., ” Effects of hybrid (microwave-convectonal) and convectonal drying on drying kinetics, total phenolics, antioxidant capacity, vitamin C, color and rehydration capacity of sour cherries”, *Food Chemistry*, 230, 295-305, (2017^a).

Horuz, E., Jaafar, H. J. ve Maskan, M., “Ultrasonication as pretreatment for drying of tomato slices in a hot air–microwave hybrid oven”, *Drying Technology*, 35(7), 849-859, (2017^b).

Horuz, E., “Investigation of Drying and Quality Parameters of Some Fruits and Vegetables in Home Type Hybrid (Convective-Microwave) Oven”, Ph.D. Thesis, *Gaziantep University*, Gaziantep, (2018).

İzli, N., Yıldız, G., Ünal, H., Işık, E. ve Uylaşer, V., “Effect of different drying methods on drying characteristics, colour, total phenolic content and antioxidant capacity of Goldenberry (*Physalis peruviana L.*)”, *International Journal of Food Science & Technology*, 49(1), 9-17, (2014).

İzli, N., “Kayısının (*Prunus armeniaca L.*) konvektif, mikrodalga ve mikrodalga-konvektif yöntemleriyle kurutulması ve matematiksel modellenmesi”, *Anadolu Tarım Bilimleri Dergisi*, 31(3), 375, (2016).

Karaaslan, S. N. ve Tuncer, I. K., “Development of a drying model for combined microwave–fan-assisted convection drying of spinach”, *Biosystems Engineering*, 100(1), 44-52, (2008).

Kocayiğit, F., “Bazı Sebzelerin Kurutma Karakteristiklerinin İncelenmesi”, Yüksek Lisans Tezi, *Yıldız Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, İstanbul, (2010).

Kuş, S., “Mikrodalga Enerjisiyle Ayva ve Armut Meyvesinin Kuruma Davranışı ve Modellenmesi”, Yüksek Lisans Tezi, *Namık Kemal Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, Tekirdağ, (2016).

Maskan, M., “Microwave/air and microwave finish drying of banana”, *Journal of Food Engineering*, 44(2), 71-78, (2000).

Maskan, M. “Drying, shrinkage and rehydration characteristics of kiwifruits during hot air and microwave drying”, *Journal of Food Engineering*, 48(2), 177-182, (2001).

McMinn, W. A. M., “Thin-layer modelling of the convective, microwave, microwave-convective and microwave-vacuum drying of lactose powder”, *Journal of Food Engineering*, 72(2), 113-123, (2006).

Özel, Ö. F., “Balkabağının Farklı Kurutma Şartlarındaki Kurutma Karakteristiklerinin Belirlenmesi”, *Selçuk Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, Konya, (2010).

Özsoy, E., “Mikrodalga Bantlı Kurutucuda Elma (Gala) Dilimlerinin Kuruma Davranışı”, Yüksek Lisans Tezi, *Namık Kemal Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, Tekirdağ, (2015).

Saldamlı, İ. ve Saldamlı, E., *Gıda Endüstrisi Makineleri*, Ankara: Savaş Kitapevi, (2004).

Saraçoğlu, T., “Bazı Narenciye Çeşitlerinin Seçilmiş Fiziksel ve Hidrodinamik Özellikleri”, *Anadolu Tarım Bilimleri Dergisi*, 32(2), 206-215, (2017).

Seerangurayar, T., Al-Ismaïli, A. M., Jeewantha, L. J., ve Al-Habsi, N. A., “Effect of solar drying methods on color kinetics and texture of dates”, *Food and Bioproducts Processing*, 116, 227-239, (2019).

Singleton, V.L., Orthofer, R. and Lamuela-Raventos, R.M., “Analysis of Total Phenols and Other Oxidation Substrates and Antioxidants by Means of Folin-Ciocalteu Reagent”, *Methods of Enzymology*, 299, 152-178, (1999).

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

Tamer, C., “Kurutmanın Portakal Kabuğunun Fiziksel Özelliklerine Etkileri”, Yüksek Lisans, *Ankara Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, Ankara, (2017).

Tekgöl, Y., “Limon Kabuğunun Farklı Kurutma Yöntemleriyle Optimum Kurutma Koşullarının Belirlenmesi Ve Kurutma Yöntemlerinin Bazı Kalite Özellikleri İle Uçucu Bileşenler Üzerine Etkileri”, Doktora Tezi, *Ege Üniversitesi Gıda Mühendisliği Bölümü*, İzmir, 138s, (2019).

Turhan, İ., Tetik, N., ve Karhan, M., “Turunçgil Kabuk Yağlarının Elde Edilmesi Ve Gıda Endüstrisinde Kullanımı”, *Gıda Teknolojileri Elektronik Dergisi*, 3, 71-77, (2006).

Tüfekçi, S., “Ultrasen Ön İşleminin Bamya ve Elma Örneklerinin Kurutma Performansları Üzerine Etkisi”, Yüksek Lisans Tezi, *Pamukkale Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, Denizli, (2014).

Zambak, Ö., “Ultrasen Ön İşleminin Sığır Bonfile ve Tavuk Göğüs Etlerinin Kurutma Davranışları Üzerine Etkisi”, Yüksek Lisans Tezi, *Pamukkale Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, Denizli, (2015).

Wang, Z., Sun, J., Chen, F., Liao, X. ve Hu, X., “Mathematical modelling on thin layer microwave drying of apple pomace with and without hot air pre-drying”, *Journal of Food Engineering*, 80, 536-544, (2007).

EKLER

9. EKLER

EK A Limon Kabuğunun Kuruma Hızına ve Kinetiğine Ait Deneysel Veriler

Tablo A. 1: 90 W mikrodalga gücü ile kurutulan limon kabuğu örneğine ait kurutma verileri

Kurutma Zamanı (dakika)	Nem İçeriği (g su/g kuru madde)	Nem Oranı (MR)
0	5,0214	1,0000
5	4,8343	0,9627
10	4,6183	0,9197
15	4,3922	0,8747
20	4,1594	0,8283
25	3,9474	0,7861
30	3,7267	0,7422
45	3,1244	0,6222
60	2,5407	0,5060
75	2,0229	0,4029
90	1,5559	0,3099
105	1,1500	0,2290
120	0,7984	0,1590
135	0,5025	0,1001
150	0,2906	0,0579
165	0,1632	0,0325
180	0,1183	0,0236
195	0,1062	0,0212
210	0,0962	0,0192
225	0,0962	0,0192

Tablo A. 2: 180 W mikrodalga gücü ile kurutulan limon kabuğu örneğine ait kurutma verileri

Kurutma Zamanı (dakika)	Nem İçeriği (g su/g kuru madde)	Nem Oranı (MR)
0	5,0890	1,0000
5	4,7038	0,9243
10	4,2493	0,8350
15	3,8274	0,7521
20	3,4223	0,6725
25	3,0577	0,6009
30	2,7147	0,5334
45	1,7611	0,3461
60	1,1721	0,2303
75	0,7511	0,1476
90	0,4415	0,0867
105	0,2274	0,0447
120	0,1239	0,0243
135	0,1000	0,0197
150	0,1000	0,0197

Tablo A. 3: 360 W mikrodalga gücü ile kurutulan limon kabuğu örneğine ait kurutma verileri

Kurutma Zamanı (dakika)	Nem İçeriği (g su/g kuru madde)	Nem Oranı (MR)
0	4,8664	1,0000
5	4,3475	0,8934
10	3,7194	0,7643
15	3,1618	0,6497
20	2,6422	0,5429
25	2,1759	0,4471
30	1,7623	0,3621
45	0,6255	0,1285
60	0,1384	0,0284
75	0,0865	0,0178
90	0,0865	0,0178

Tablo A. 4: 40°C sıcak hava ile kurutulan limon kabuğu örneğine ait kurutma verileri

Kuruma Zamanı (dakika)	Nem İçeriği (g su/g kuru madde)	Nem Oranı (MR)
0	4,4725	1,0000
5	4,1128	0,9196
10	3,7906	0,8475
15	3,5208	0,7872
20	3,2660	0,7302
25	3,0488	0,6817
30	2,8465	0,6364
45	2,3295	0,5208
60	1,9253	0,4305
75	1,5956	0,3567
90	1,3034	0,2914
105	1,0635	0,2378
120	0,8613	0,1926
135	0,6891	0,1541
150	0,5242	0,1172
165	0,4192	0,0937
180	0,3143	0,0703
195	0,2394	0,0535
210	0,1944	0,0435
225	0,1644	0,0368
240	0,1644	0,0368

Tablo A. 5: 50°C sıcak hava ile kurutulmuş limon kabuğu örneğine ait kurutma verileri

Kurutma Zamanı (dakika)	Nem İçeriği (g su/g kuru madde)	Nem Oranı (MR)
0	5,2415	1,0000
5	4,6601	0,8891
10	4,1674	0,7951
15	3,7437	0,7142
20	3,3889	0,6466
25	3,0735	0,5864
30	2,7878	0,5319
45	2,0982	0,4003
60	1,5563	0,2969
75	1,1226	0,2142
90	0,7384	0,1409
105	0,4624	0,0882
120	0,3047	0,0581
135	0,2062	0,0393
150	0,1668	0,0318
165	0,1668	0,0318

Tablo A. 6: 60°C sıcak hava ile kurutulmuş limon kabuğu örneğine ait kurutma verileri

Kurutma Zamanı (dakika)	Nem İçeriği (g su/g kuru madde)	Nem Oranı (MR)
0	4,4680	1,0000
5	3,9273	0,8790
10	3,4012	0,7612
15	3,0067	0,6729
20	2,6559	0,5944
25	2,3418	0,5241
30	2,0495	0,4587
45	1,4213	0,3181
60	0,9024	0,2020
75	0,5517	0,1235
90	0,2960	0,0662
105	0,2011	0,0450
120	0,1574	0,0352
135	0,1574	0,0352

Tablo A. 7: 40°C+90 W kombinasyonu ile kurutulan limon kabuğu örneğine ait kurutma verileri

Kuruma Zamanı (dakika)	Nem İçeriği (g su/g kuru madde)	Nem Oranı (MR)
0	5,0424	1,0000
5	4,5444	0,9012
10	4,0749	0,8081
15	3,6267	0,7193
20	3,2283	0,6402
25	2,8726	0,5697
30	2,5526	0,5062
45	1,6989	0,3369
60	1,0159	0,2015
75	0,5109	0,1013
90	0,2193	0,0435
105	0,1339	0,0266
120	0,1197	0,0237
135	0,1197	0,0237

Tablo A. 8: 40°C+180 W kombinasyonu ile kurutulan limon kabuğu örneğine ait kurutma verileri

Kuruma Zamanı (dakika)	Nem İçeriği (g su/g kuru madde)	Nem Oranı (MR)
0	4,6926	1,0000
5	3,9115	0,8335
10	3,2705	0,6970
15	2,7038	0,5762
20	2,2316	0,4756
25	1,8043	0,3845
30	1,4288	0,3045
45	0,5037	0,1073
60	0,1694	0,0361
75	0,1297	0,0276
90	0,1184	0,0252
105	0,1184	0,0252

Tablo A. 9: 40°C+360 W kombinasyonu ile kurutulan limon kabuğu örneğine ait kurutma verileri

Kurutma Zamanı (dakika)	Nem İçeriği (g su/g kuru madde)	Nem Oranı (MR)
0	4,8664	1,0000
5	3,4993	0,7191
10	2,3637	0,4857
15	1,5042	0,3091
20	0,8469	0,1740
25	0,4118	0,0846
30	0,2035	0,0418
45	0,1171	0,0241
60	0,0523	0,0107
75	0,0523	0,0107

Tablo A. 10: 50°C+90 W kombinasyonu ile kurutulan limon kabuğu örneğine ait kurutma verileri

Kurutma Zamanı (dakika)	Nem İçeriği (g su/g kuru madde)	Nem Oranı (MR)
0	4,7734	1,0000
5	4,1531	0,8701
10	3,6063	0,7555
15	3,1085	0,6512
20	2,6841	0,5623
25	2,3086	0,4836
30	1,9495	0,4084
45	1,1579	0,2426
60	0,5376	0,1126
75	0,2275	0,0477
90	0,1540	0,0323
105	0,1540	0,0323

Tablo A. 11: 50°C+180 W kombinasyonu ile kurutulan limon kabuğu örneğine ait kurutma verileri

Kurutma Zamanı (dakika)	Nem İçeriği (g su/g kuru madde)	Nem Oranı (MR)
0	4,8593	1,0000
5	3,9122	0,8051
10	3,0784	0,6335
15	2,3715	0,4880
20	1,7735	0,3650
25	1,2507	0,2574
30	0,8002	0,1647
45	0,3444	0,0709
60	0,1423	0,0293
75	0,1423	0,0293

Tablo A. 12: 50°C+360 W kombinasyonu ile kurutulan limon kabuğu örneğine ait kurutma verileri

Kurutma Zamanı (dakika)	Nem İçeriği (g su/g kuru madde)	Nem Oranı (MR)
0	4,6926	1,0000
5	3,0902	0,6585
10	1,8630	0,3970
15	1,0489	0,2235
20	0,4736	0,1009
25	0,1984	0,0423
30	0,1324	0,0282
45	0,0642	0,0137
60	0,0642	0,0137

Tablo A. 13: 60°C+90 W kombinasyonu ile kurutulan limon kabuğu örneğine ait kurutma verileri

Kurutma Zamanı (dakika)	Nem İçeriği (g su/g kuru madde)	Nem Oranı (MR)
0	4,9474	1,0000
5	4,2313	0,8553
10	3,5868	0,7250
15	2,9960	0,6056
20	2,5126	0,5079
25	2,1366	0,4319
30	1,7786	0,3595
45	0,9192	0,1858
60	0,2389	0,0483
75	0,1136	0,0230
90	0,1136	0,0230

Tablo A. 14: 60°C+180 W kombinasyonu ile kurutulan limon kabuğu örneğine ait kurutma verileri

Kurutma Zamanı (dakika)	Nem İçeriği (g su/g kuru madde)	Nem Oranı (MR)
0	5,4254	1,0000
5	4,4162	0,8140
10	3,4923	0,6437
15	2,7153	0,5005
20	2,0784	0,3831
25	1,5269	0,2814
30	1,0339	0,1906
45	0,1753	0,0323
60	0,1150	0,0212
75	0,1150	0,0212

Tablo A. 15: 60°C+360 W kombinasyonu ile kurutulan limon kabuğu örneğine ait kurutma verileri

Kurutma Zamanı (dakika)	Nem İçeriği (g su/g kuru madde)	Nem Oranı (MR)
0	5,2568	1,0000
5	3,2222	0,6130
10	1,7569	0,3342
15	0,9341	0,1777
20	0,4894	0,0931
25	0,1819	0,0346
30	0,0913	0,0174
45	0,0647	0,0123
60	0,0647	0,0123

EK B Portakal Kabuğunun Kuruma Hızına ve Kinetiğine Ait Deneysel

Veriler

Tablo B. 1: 90 W mikrodalga gücü ile kurutulan portakal kabuğu örneğine ait kurutma verileri

Kuruma Zamanı (dakika)	Nem İçeriği (g su/g kuru madde)	Nem Oranı (MR)
0	2,96625	1,0000
5	2,80651	0,9461
10	2,62667	0,8855
15	2,42561	0,8177
20	2,25582	0,7605
25	2,10167	0,7085
30	1,95261	0,6583
45	1,52998	0,5158
60	1,12868	0,3805
75	0,78932	0,2661
90	0,53799	0,1814
105	0,33592	0,1132
120	0,23154	0,0781
135	0,14301	0,0482
150	0,12121	0,0409
165	0,10215	0,0344
180	0,08961	0,0302
195	0,07893	0,0266
210	0,07893	0,0266

Tablo B. 2: 180 W mikrodalga gücü ile kurutulan portakal kabuğu örneğine ait kurutma verileri

Kuruma Zamanı (dakika)	Nem İçeriği (g su/g kuru madde)	Nem Oranı (MR)
0	3,1123	1,0000
5	2,8543	0,9171
10	2,5376	0,8153
15	2,2333	0,7176
20	1,9647	0,6313
25	1,7173	0,5518
30	1,4887	0,4783
45	0,8336	0,2678
60	0,4594	0,1476
75	0,2803	0,0900
90	0,1693	0,0544
105	0,0973	0,0312
120	0,0641	0,0206
135	0,0641	0,0206

Tablo B. 3: 360 W mikrodalga gücü ile kurutulan portakal kabuğu örneğine ait kurutma verileri

Kuruma Zamanı (dakika)	Nem İçeriği (g su/g kuru madde)	Nem Oranı (MR)
0	3,2926	1,0000
5	2,9471	0,8951
10	2,5077	0,7616
15	2,1028	0,6386
20	1,7290	0,5251
25	1,3790	0,4188
30	1,0290	0,3125
45	0,2538	0,0771
60	0,1083	0,0329
75	0,0828	0,0251
90	0,0828	0,0251

Tablo B. 4: 40°C sıcak hava ile kurutulan portakal kabuğu örneğine ait kurutma verileri

Kuruma Zamanı (dakika)	Nem İçeriği (g su/g kuru madde)	Nem Oranı (MR)
0	3,2272	1,0000
5	2,9195	0,9046
10	2,6552	0,8227
15	2,4371	0,7552
20	2,2457	0,6959
25	2,0758	0,6432
30	1,9246	0,5964
45	1,5580	0,4828
60	1,2530	0,3882
75	1,0001	0,3099
90	0,7827	0,2425
105	0,6020	0,1865
120	0,4576	0,1418
135	0,3425	0,1061
150	0,2616	0,0811
165	0,2081	0,0645
180	0,1733	0,0537
195	0,1573	0,0487
210	0,1453	0,0450
225	0,1393	0,0432
240	0,1353	0,0419
255	0,1353	0,0419

Tablo B. 5: 50°C sıcak hava ile kurutulan portakal kabuğu örneğine ait kurutma verileri

Kuruma Zamanı (dakika)	Nem İçeriği (g su/g kuru madde)	Nem Oranı (MR)
0	2,9693	1,0000
5	2,6461	0,8912
10	2,3560	0,7935
15	2,0932	0,7049
20	1,8848	0,6348
25	1,7067	0,5748
30	1,5449	0,5203
45	1,1575	0,3898
60	0,8659	0,2916
75	0,6320	0,2129
90	0,4484	0,1510
105	0,3084	0,1039
120	0,2057	0,0693
135	0,1396	0,0470
150	0,1015	0,0342
165	0,0829	0,0279
180	0,0727	0,0245
195	0,0676	0,0228
210	0,0643	0,0217
225	0,0643	0,0217

Tablo B. 6: 60°C sıcak hava ile kurutulan portakal kabuğu örneğine ait kurutma verileri

Kuruma Zamanı (dakika)	Nem İçeriği (g su/g kuru madde)	Nem Oranı (MR)
0	2,8769	1,0000
5	2,4920	0,8662
10	2,1561	0,7494
15	1,8955	0,6589
20	1,6655	0,5789
25	1,4667	0,5098
30	1,2893	0,4482
45	0,8670	0,3014
60	0,5496	0,1910
75	0,3162	0,1099
90	0,1598	0,0555
105	0,0762	0,0265
120	0,0417	0,0145
135	0,0262	0,0091
150	0,0262	0,0091

Tablo B. 7: 40°C+90 W kombinasyonu ile kurutulan portakal kabuğu örneğine ait kurutma verileri

Kuruma Zamanı (dakika)	Nem İçeriği (g su/g kuru madde)	Nem Oranı (MR)
0	3,2869	1,0000
5	2,9022	0,8830
10	2,5532	0,7768
15	2,2639	0,6888
20	2,0159	0,6133
25	1,7926	0,5454
30	1,5944	0,4851
45	1,0880	0,3310
60	0,6678	0,2032
75	0,3614	0,1099
90	0,2129	0,0648
105	0,1710	0,0520
120	0,1576	0,0480
135	0,1525	0,0464
150	0,1525	0,0464

Tablo B. 8: 40°C+180 W kombinasyonu ile kurutulan portakal kabuğu örneğine ait kurutma verileri

Kurutma Zamanı (dakika)	Nem İçeriği (g su/g kuru madde)	Nem Oranı (MR)
0	3,0219	1,0000
5	2,6049	0,8620
10	2,2214	0,7351
15	1,8956	0,6273
20	1,6113	0,5332
25	1,3530	0,4477
30	1,1226	0,3715
45	0,5175	0,1713
60	0,2088	0,0691
75	0,1241	0,0411
90	0,0882	0,0292
105	0,0762	0,0252
120	0,0762	0,0252

Tablo B. 9: 40°C+360 W kombinasyonu ile kurutulan portakal kabuğu örneğine ait kurutma verileri

Kurutma Zamanı (dakika)	Nem İçeriği (g su/g kuru madde)	Nem Oranı (MR)
0	2,8979	1,0000
5	2,3067	0,7960
10	1,7778	0,6135
15	1,3179	0,4548
20	0,9444	0,3259
25	0,6274	0,2165
30	0,3705	0,1278
45	0,0800	0,0276
60	0,0620	0,0214
75	0,0522	0,0180
90	0,0522	0,0180

Tablo B. 10: 50°C+90 W kombinasyonu ile kurutulan portakal kabuğu örneğine ait kurutma verileri

Kurutma Zamanı (dakika)	Nem İçeriği (g su/g kuru madde)	Nem Oranı (MR)
0	2,9073	1,0000
5	2,5173	0,8659
10	2,1728	0,7474
15	1,8900	0,6501
20	1,6429	0,5651
25	1,4393	0,4951
30	1,2544	0,4315
45	0,7926	0,2726
60	0,4278	0,1471
75	0,1687	0,0580
90	0,0998	0,0343
105	0,0820	0,0282
120	0,0767	0,0264
135	0,0767	0,0264

Tablo B. 11: 50°C+180 W kombinasyonu ile kurutulan portakal kabuğu örneğine ait kurutma verileri

Kurutma Zamanı (dakika)	Nem İçeriği (g su/g kuru madde)	Nem Oranı (MR)
0	3,1322	1,0000
5	2,5037	0,7993
10	1,9591	0,6255
15	1,5073	0,4812
20	1,1404	0,3641
25	0,8475	0,2706
30	0,6135	0,1959
45	0,2914	0,0930
60	0,1111	0,0355
75	0,0694	0,0222
90	0,0460	0,0147
105	0,0460	0,0147

Tablo B. 12: 50°C+360 W kombinasyonu ile kurutulan portakal kabuğu örneğine ait kurutma verileri

Kurutma Zamanı (dakika)	Nem İçeriği (g su/g kuru madde)	Nem Oranı (MR)
0	2,8979	1,0000
5	1,8969	0,6546
10	1,1938	0,4120
15	0,7200	0,2485
20	0,4264	0,1471
25	0,2388	0,0824
30	0,1422	0,0491
45	0,0910	0,0314
60	0,0910	0,0314

Tablo B. 13: 60°C+90 W kombinasyonu ile kurutulan portakal kabuğu örneğine ait kurutma verileri

Kurutma Zamanı (dakika)	Nem İçeriği (g su/g kuru madde)	Nem Oranı (MR)
0	2,9723	1,0000
5	2,3378	0,7865
10	1,8407	0,6193
15	1,4454	0,4863
20	1,1244	0,3783
25	0,8554	0,2878
30	0,6280	0,2113
45	0,2134	0,0718
60	0,1383	0,0465
75	0,1220	0,0410
90	0,1220	0,0410

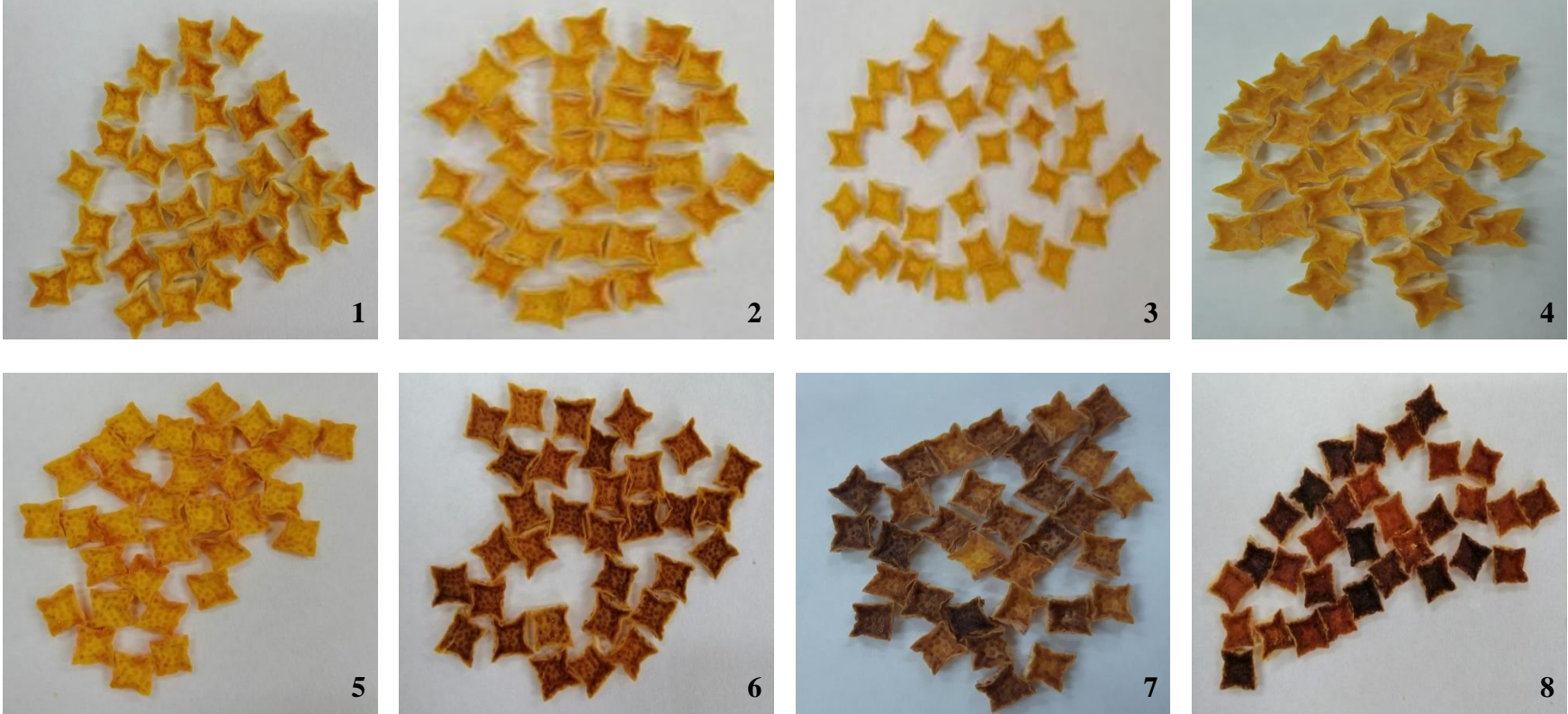
Tablo B. 14 60°C+180 W kombinasyonu ile kurutulan portakal kabuğu örneğine ait kurutma verileri

Kurutma Zamanı (dakika)	Nem İçeriği (g su/g kuru madde)	Nem Oranı (MR)
0	3,1575	1,0000
5	2,4336	0,7707
10	1,8206	0,5766
15	1,3283	0,4207
20	0,8760	0,2774
25	0,5946	0,1883
30	0,3745	0,1186
45	0,1453	0,0460
60	0,0938	0,0297
75	0,0938	0,0297

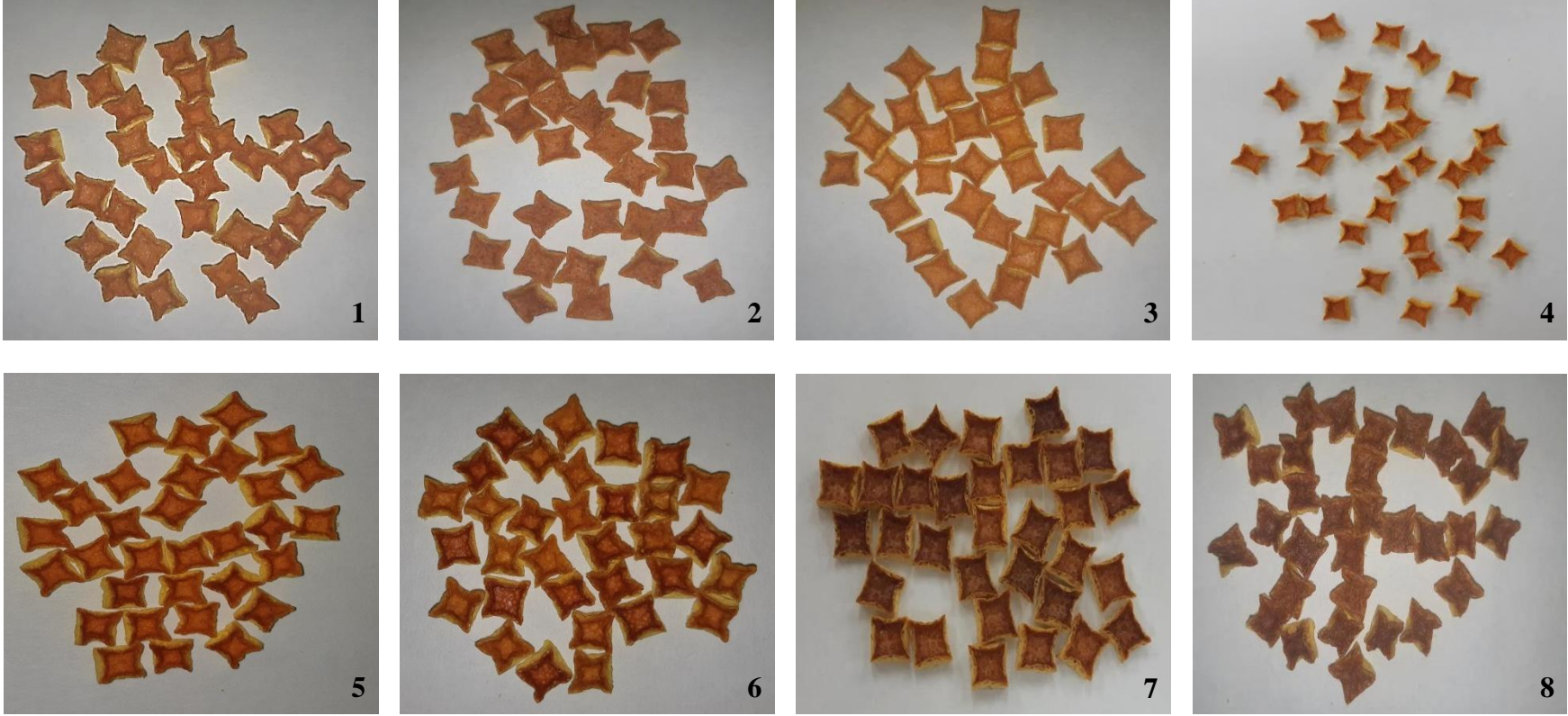
Tablo B. 15: 60°C+360 W kombinasyonu ile kurutulan portakal kabuğu örneğine ait kurutma verileri

Kurutma Zamanı (dakika)	Nem İçeriği (g su/g kuru madde)	Nem Oranı (MR)
0	2,8780	1,0000
5	1,7778	0,6177
10	1,0583	0,3677
15	0,6756	0,2348
20	0,3662	0,1272
25	0,2292	0,0796
30	0,1116	0,0388
45	0,0563	0,0196
60	0,0563	0,0196

EK C Resimler



Şekil C. 1: Kurutulmuş Limon Kabukları (1: 40°C, 2: 40°C+90 W, 3: 50°C+90 W, 4: 60°C+180 W, 5: 180 W, 6: 40°C+360 W, 50°C+360 W, 60°C+360 W)



Şekil C. 2: Kurutulmuş Portakal Kabukları (1 = 40°C, 2 = 60°C, 3 = 40°C+90 W, 4 = 40°C+180 W, 5 = 50°C+180 W, 6 = 60°C+90 W, 7 = 40°C+360 W, 8 = 50°C+360 W)

10. ÖZGEÇMİŞ

Adı Soyadı : Mahmut Burak UYSAL

Doğum Yeri ve Tarihi : Denizli 17.04.1993

Lisans Üniversite : Pamukkale Üniversitesi

Elektronik posta : gmburakuysal@gmail.com

İletişim Adresi : Fesleğen Mah. 986 Sok. No:12
Daire:5 Pamukkale/DENİZLİ

Konferans Listesi

- Uysal, M.B., Özkal, S.G., “Portakal Kabuğunun Sıcak Hava, Mikrodalga ve Sıcak Hava-Mikrodalga Kombinasyonu ile Kurutulması”, INTERNATIONAL CONGRESS on FOOD, NUTRITION and DIETETICS, GASTRONOMY RESEARCH, 2018 (Alanya, Turkey).
- Uysal, M.B., Tüfekçi, S., Zambak, Ö., Özkal, S.G., “Farklı Kurutma Sıcaklıklarının Limon Kabuğunun Kuruma Kinetiğine Etkisinin Belirlenmesi”, 2nd INTERNATIONAL CONGRESS on FOOD, NUTRITION and DIETETICS, GASTRONOMY RESEARCH, 2019 (Marmaris, Turkey).