T.C.
YILDIZ TEKNİK ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

MİKRODALGA TEKNİĞİ İLE KURUTULAN DUT YAPRAKLARININ KURUMA, RENK VE REHİDRATASYON KİNETİKLERİNİN MODELLENMESİ

BERAT YILMAZ

YÜKSEK LİSANS TEZİ
KİMYA MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI
KİMYA MÜHENDİSLİĞİ PROGRAMI

DANIŞMAN
PROF. DR. BELMA ÖZBEK

İSTANBUL, 2019

T.C.

YILDIZ TEKNİK ÜNİVERSİTESİ

FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

MİKRODALGA TEKNİĞİ İLE KURUTULAN DUT YAPRAKLARININ KURUMA, RENK VE REHİDRATASYON KİNETİKLERİNİN MODELLENMESİ

Berat YILMAZ tarafından hazırlanan tez çalışması 22.10.2019 tarihinde aşağıdaki jüri tarafından Yıldız Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Kimya Mühendisliği Anabilim Dalı'nda **YÜKSEK LİSANS TEZİ** olarak kabul edilmiştir.

Tez Danışmanı

Prof. Dr. Belma ÖZBEK

Yıldız Teknik Üniversitesi

Jüri Üyeleri

Prof. Dr. Belma ÖZBEK

Yıldız Teknik Üniversitesi _____

Prof. Dr. Dilek KAZAN

Marmara Üniversitesi _____

Doç. Dr. Emek MÖRÖYDOR DERUN

Yıldız Teknik Üniversitesi _____

ÖNSÖZ

Tez çalışmam sırasında kıymetli fikir ve önerileri ile beni yönlendiren, yardım eden ve her aşamada beni destekleyen, çalışmalarımın yönlendirilmesi ve sonuçlandırılmasında büyük emeği geçen, yanında çalışmaktan onur duyduğum Tez Danışmanım Sayın Prof. Dr. Belma ÖZBEK'e,

Hayatımın her aşamasında sevgisini, ilgisini ve desteğini esirgemeden, her anında yanımda olan eşime, kızlarıma, aileme ve tüm sevdiklerime,

Sonsuz teşekkürlerimi sunarım.

Ekim 2019

Berat YILMAZ

İÇİNDEKİLER

Sayfa

SİMGE LİSTESİ..... ix

KISALTMA LİSTESİ..... x

ŞEKİL LİSTESİ..... xi

ÇİZELGE LİSTESİ..... xiv

ÖZET..... xx

ABSTRACT..... xxii

BÖLÜM 1

GİRİŞ..... 1

1.1 Literatür Özeti..... 1

1.2 Tezin Amacı..... 2

1.3 Orijinal Katkı..... 2

BÖLÜM 2

GIDALARIN KURUTULMASI..... 3

2.1 Kurutma Yöntemleri..... 4

2.1.1 Doğal Kurutma 4

2.1.2 Yapay Kurutma..... 4

2.2 Kurutmanın Prensipleri ve Aşamaları..... 5

2.3 Kurutma Hızına Etki Eden Parametreler..... 5

2.3.1 Sıcaklık..... 6

2.3.2 Ortamın Nemi..... 6

2.3.3 Kurutulan Gıdaların Özellikleri 7

2.3.4 Kurutma Havasının Hızı..... 8

2.4 Kurutma Sırasında Meydana Gelen Değişimler 8

BÖLÜM 3

ENDRÜSTRİYEL KURUTUCULAR..... 13

3.1 Endüstriyel Kurutucuların Sınıflandırılması..... 13
3.1.1 Kabin Kurutucular..... 13
3.1.2 Tünel Kurutucular 14
3.1.3 Püskürtmeli Kurutucular..... 15
3.1.4 Döner Kurutucular..... 16
3.1.5 Mikrodalga Kurutucular..... 17
3.1.6 Dondurarak Kurutan Kurutucular..... 17
3.1.7 Flaş Kurutucular..... 17
3.1.8 Akışkan Yatak Kurutucular..... 17
BÖLÜM 4
MİKRODALGA ve GIDA ENDÜSTRİSİNDE KULLANIMI..... 18
4.1 Mikrodalganın Tarihçesi..... 19
4.2 Mikrodalga Kurutucuların İşleyiş Mekanizması..... 19
4.3 Mikrodalga Tekniği İle Kurutmaya Etki Eden Parametreler..... 20
4.3.1 Kurutulan Gıdanın Miktarı..... 20
4.3.2 Gıdanın Su İçeriği..... 20
4.3.3 Isı Transferi..... 20
4.3.4 Mikrodalga Çıkış Gücü..... 21
4.4 Mikrodalga Fırının Bileşenleri..... 21
4.5 Mikrodalga Tekniği ile Kurutmanın Avantajları ve Dezavantajları..... 22
4.6 Mikrodalga Cihaz Kullanımında Güvenlik Standardı..... 23
BÖLÜM 5
DUT YAPRAKLARI HAKKINDA GENEL BİLGİ..... 24
5.1 Dut Meyvesi..... 24
5.2 Türkiye'de Dut Üretimi..... 24
5.3 Dut Yaprağı Hakkında Genel Bilgi..... 25
BÖLÜM 6
GIDALARIN KURUTULMASINA İLİŞKİN LİTERATÜR ARAŞTIRMASI..... 26
BÖLÜM 7
MATERYAL VE YÖNTEM..... 36
7.1 Kullanılan Materyaller 36
7.2 Kullanılan Cihazlar..... 37
7.2.1 Mikrodalga Fırın..... 37
7.2.2 Su Banyosu..... 38
7.2.3 Renk Ölçüm Cihazı..... 39

7.3 Deneylerin Yapılışı..... 41
7.3.1 Kuruma Hızlarının Belirlenmesi..... 41
7.3.2 Renk Değişimlerinin İncelenmesi..... 42
7.3.3 Rehidratasyon Kapasitelerinin Belirlenmesi..... 42
7.4 Hesaplamalar..... 43
7.4.1 Kuruma Hızlarının Belirlenmesi İçin Yapılan Hesaplamalar..... 43
7.4.1.1 Nem İçeriğinin Hesaplanması..... 43
7.4.1.2 Kuruma hızının Hesaplanması..... 44
7.4.1.3 Nem Oranının Hesaplanması..... 44
7.4.1.4 Efektif Difüzivite Katsayısının Hesaplanması..... 44
7.4.2 Renk Değişiminin Hesaplanması..... 45
7.4.3 Rehidratasyon Kapasitesinin Hesaplanması..... 46
7.5 Modelleme Çalışmaları..... 46
7.5.1 Kuruma Kinetiğine Ait Modelleme Çalışmaları..... 46
7.5.2 Renk Değişim Kinetiğine Ait Modelleme Çalışmaları..... 48
7.5.3 Rehidratasyon Kinetiğine Ait Modelleme Çalışmaları..... 48
7.5.4 Aktivasyon Enerjisinin Hesaplanması..... 50
7.5.5 İstatistiksel Hesaplamalar..... 51

BÖLÜM 8

ARAŞTIRMA BULGULARI..... 52
8.1 Mikrodalga Çıkış Gücünün Dut Yapraklarının Kurutulması Üzerine Etkisi..... 52
8.1.1 Mikrodalga Çıkış Gücünün Dut Yapraklarının Kuruma Kinetiği Üzerindeki Etkisi..... 52
8.1.1.1 Nem içeriği değişimi..... 52
8.1.1.2 Kuruma hızı değişimi..... 53
8.1.1.3 Kuruma kinetiğine ait model çalışmaları..... 54
8.1.1.4 Efektif Difüzivite Katsayısının hesaplanması..... 57
8.1.2 Mikrodalga Çıkış Gücünün Dut Yapraklarının Renk Değişimi Üzerindeki Etkisi..... 58
8.1.3 Mikrodalga Çıkış Gücünün Dut Yapraklarının Rehidratasyon Kapasitesi Üzerindeki Etkisi..... 69
8.2 Sabit Mikrodalga Çıkış Gücünde Kurutulan Dut Yaprağı Numunesinin Ağırlığının Kuruma ÜzerindekiEtkisi..... 72
8.2.1 Dut Yapraklarının Ağırlığının Kuruma Kinetiği Üzerindeki Etkisi..... 72
8.2.1.1 Nem içeriği değişimi..... 72
8.2.1.2 Kuruma hızı değişimi..... 73
8.2.1.3 Kuruma kinetiğine ait model çalışmaları..... 74

8.2.1.4 Efektif Difüzivite Katsayısının hesaplanması..... 77
8.2.2 Dut Yaprağı Numunesinin Ağırlığının Renk Değişimi Üzerindeki Etkisi..... 79
8.2.3 Dut Yaprağı Numunesinin Ağırlığının Rehidratasyon Kapasitesi Üzerindeki Etkisi 90
8.2.4 Sıcaklığın Dut Yaprağı Numunesinin Rehidratasyon Kapasitesi Üzerindeki Etkisi..... 93
8.3 Dut Yapraklarına Ait Aktivasyon Enerjisinin Hesaplanması 96
8.3.1 Kuruma Kinetiğine Ait Aktivasyon Enerjisinin Hesaplanması..... 96
8.3.2 Renk Değişim Kinetiğine Ait Aktivasyon Enerjisinin Hesaplanması..... 96
8.3.3 Rehidratasyon Kinetiğine Ait Aktivasyon Enerjisinin Hesaplanması..... 97
8.4 Dut Yapraklarının Konvansiyonel Yöntem İle Kurutulması..... 97
8.4.1 Dut Yapraklarının Konvansiyel Yöntem Ile Kurutulmasının Kuruma Kinetiği Üzerindeki Etkisi..... 97
8.4.1.1 Nem içeriği değişimi..... 97
8.4.1.2 Konvansiyonel kuruma kinetiğine ait model çalışmaları..... 98
8.4.2 Dut Yapraklarının Konvansiyel Yöntem İle Kurutulmasının Renk Değişimi Üzerindeki Etkisi..... 99
8.5 Kuruma Süresine Karşılık Mikrodalga Çıkış Gücü/Numune Ağırlığı Değerlerinin Modellenmesi..... 108

BÖLÜM 9

SONUÇLAR VE ÖNERİLER..... 111

KAYNAKLAR..... 114

EK 1

Dut yaprağı numunesinin kurutulması sırasında mikrodalga çıkış gücünün kuruma kinetiği üzerindeki etkisine ait deneysel veriler..... 120

EK 2

Dut yaprağı numunesinin kurutulması sırasında mikrodalga çıkış gücünün renk değişimi üzerindeki etkisine ait deneysel veriler..... 123

EK 3

Dut yaprağı numunesinin kurutulması sırasında mikrodalga çıkış gücünün rehidratasyon kapasitesi üzerindeki etkisine ait deneysel veriler..... 125

EK 4

Sabit mikrodalga çıkış gücünde kurutulan dut yaprağı numunesinin ağırlığının kuruma kinetiği üzerindeki etkisine ait deneysel veriler..... 130

EK 5

Sabit mikrodalga çıkış gücünde kurutulan dut yaprağı numunesinin ağırlığının renk değişimi üzerindeki etkisine ait deneysel veriler…… 135

EK 6

Sabit mikrodalga çıkış gücünde kurutulan dut yaprağı numunesinin ağırlığının rehidratasyon kapasitesi üzerindeki etkisine ait deneysel veriler…… 137

EK 7

Sabit mikrodalga çıkış gücünde kurutulan dut yaprağı numunesinin rehidratasyon sıcaklığının rehidratasyon kapasitesi üzerindeki etkisine ait deneysel veriler…….. 142

EK 8

Dut yaprağı numunesinin konvansiyonel yöntem ile kurutulmasının kuruma kinetiği üzerindeki etkisine ait deneysel veriler…… 145

EK 9

Dut yaprağı numunesinin konvansiyonel yöntem ile kurutulmasının renk değişimi üzerindeki etkisine ait deneysel veriler…….. 146

ÖZGEÇMİŞ…… 147

SİMGE LİSTESİ

a_0	t=0 anındaki a renk değeri (birimsiz)
a_t	Herhangi bir t anındaki a renk değeri (birimsiz)
a_w	Su aktivitesi (birimsiz)
b_0	t=0 anındaki b renk değeri (birimsiz)
b_t	Herhangi bir t anındaki b renk değeri (birimsiz)
BI	Kahverengileşme İndeksi (birimsiz)
C	Herhangi bir t anındaki renk parametresi değeri
C_0	t=0 anındaki renk parametresi değeri
CV	Kroma degeri (birimsiz)
D_{eff}	Efektif Difüzivite Katsayısı (m^2/s)
E_a	Aktivasyon enerjisi (W/g)
HA	Renk Açısı (birimsiz)
k	Kinetik hız sabiti (dak^{-1})
k_0	Pre-eksponansiyel sabit (dak^{-1})
k_1	Peleg Model kinetik sabiti (dak.g kuru madde/g su)
k_2	Peleg Model karakteristik sabiti (g kuru madde/g su)
KM	Numunenin içerdiği kuru madde miktarı (g kuru madde/g numune)
L_0	t=0 anındaki L renk değeri (birimsiz)
L_t	Herhangi bir t anındaki L renk değeri (birimsiz)
m	Gözlem sayısı
M	Numunenin ağırlığı (g)
M_e	Denge anındaki nem içeriği (g su/g kuru madde)
M_0	t=0 anındaki nem içeriği (g su/g kuru madde)
M_t	t anındaki nem içeriği (g su/g kuru madde)
M_{t+dt}	t+dt anındaki nem içeriği (g su/g kuru madde)
MR	Nem oranı (birimsiz)
n	Page Model sabiti (birimsiz)
N_d	Toplam deney sayısı
p	Parametre sayısı
W	Mikrodalga çıkış gücü (W)
ΔE	Toplam Renk Değişimi (birimsiz)

KISALTMA LİSTESİ

kW	Kilo Watt
MHz	Mega Hertz
TFC	Toplam Flavonoid İçeriği
TPC	Toplam Fenolik İçeriği

ŞEKİL LİSTESİ

Sayfa

Şekil 2.1 Gıdaların kuruma hızına ait eğri [11]..... 6
Şekil 2.2 Su sorpsiyon izotermi [17]..... 7
Şekil 2.3 Gıdaların kurutulması sırasında askorbik asit oksidasyonu [35]..... 11
Şekil 3.1 Kabin kurutucu [39]..... 14
Şekil 3.2 Tünel tipi kurutucu [39]..... 15
Şekil 3.3 Püskürtmeli kurutucu sistemi [39]..... 16
Şekil 3.4 Döner kurutucu [39]..... 16
Şekil 4.1 Elektromanyetik dalga spektrumu [47]..... 18
Şekil 7.1 Taze ve kurutulmuş dut yaprakları..... 36
Şekil 7.2 Arçelik MD 594 Mikrodalga fırını..... 38
Şekil 7.3 Memmert marka su banyosu..... 38
Şekil 7.4 Konica Minolta CR-400 ve DP-400 cihazlarının genel görünümü [81]..... 40
Şekil 7.5 Hunter Lab renk skalası [82]..... 40
Şekil 8.1 Farklı mikrodalga çıkış güçlerinde kurutulan dut yaprağı numunelerine ait nem içeriği değerlerinin kuruma süresi ile değişimi (Numune ağırlığı = 20 g)..... 53
Şekil 8.2 Farklı mikrodalga çıkış güçlerinde kurutulan dut yaprağı numunelerine ait kuruma hızı değerlerinin nem içeriği değerleri ile değişimi (Numune ağırlığı = 20 g)..... 54
Şekil 8.3 Farklı mikrodalga çıkış güçlerinde kurutulan dut yaprağı numunelerine ait nem oranı değerlerinin kuruma süresi ile değişimi (Numune ağırlığı = 20 g)..... 56
Şekil 8.4 Farklı mikrodalga çıkış güçlerinde kurutulan dut yaprağı numunelerine ait ln(MR) değerlerinin kuruma süresi ile değişimi (Numune ağırlığı = 20 g)..... 58
Şekil 8.5 Farklı mikrodalga çıkış güçlerinde kurutulan dut yaprağı numunelerine ait L değerlerinin kuruma süresi ile değişimi (Numune ağırlığı = 20 g)..... 59

Şekil 8.6 Farklı mikrodalga çıkış güçlerinde kurutulan dut yaprağı numunelerine ait a değerlerinin kuruma süresi ile değişimi (Numune ağırlığı = 20 g)..... 61
Şekil 8.7 Farklı mikrodalga çıkış güçlerinde kurutulan dut yaprağı numunelerine ait b değerlerinin kuruma süresi ile değişimi (Numune ağırlığı = 20 g)..... 62
Şekil 8.8 Farklı mikrodalga çıkış güçlerinde kurutulan dut yaprağı numunelerine ait Toplam Renk Değişimi (ΔE) değerlerinin kuruma süresi ile değişimi (Numune ağırlığı = 20 g)..... 64
Şekil 8.9 Farklı mikrodalga çıkış güçlerinde kurutulan dut yaprağı numunelerine ait Kroma (CV) değerlerinin kuruma süresi ile değişimi (Numune ağırlığı = 20 g)..... 65
Şekil 8.10 Farklı mikrodalga çıkış güçlerinde kurutulan dut yaprağı numunelerine ait Renk Açısı (HA) değerlerinin kuruma süresi ile değişimi (Numune ağırlığı =20 g)..... 67
Şekil 8.11 Farklı mikrodalga çıkış güçlerinde kurutulan dut yaprağı numunelerine ait Kahverengileşme İndeksi (BI) değerlerinin kuruma süresi ile değişimi (Numune ağırlığı = 20 g)..... 68
Şekil 8.12 Farklı mikrodalga çıkış güçlerinde kurutulan dut yaprağı numunelerine ait elde edilen rehidratasyon kapasitesi değerlerinin rehidratasyon süresi ile değişimi (Numune ağırlığı = 20 g, Rehidratasyon sıcaklığı = 30 °C)..... 71
Şekil 8.13 Farklı ağırlıklarda kurutulan dut yaprağı numunelerinin nem içerik değerlerinin kuruma süresi ile değişimi (Mikrodalga çıkış gücü = 360 W).. 73
Şekil 8.14 Farklı ağırlıklarda kurutulan dut yaprağı numunelerine ait kuruma hızlarının nem içeriği ile değişimi (Mikrodalga çıkış gücü = 360 W)..... 74
Şekil 8.15 Farklı ağırlıklarda kurutulan dut yaprağı numunelerine ait nem oranı değerlerinin kuruma süresi ile değişimi (Mikrodalga çıkış gücü = 360 W).. 76
Şekil 8.16 Farklı ağırlıklarda kurutulan dut yaprağı numunelerine ait ln(MR) değerlerinin kuruma süresi ile değişimi (Mikrodalga çıkış gücü = 360 W)..... 78
Şekil 8.17 Farklı ağırlıklarda kurutulan dut yaprağı numunelerine ait L değerlerinin kuruma süresi ile değişimi (Mikrodalga çıkış gücü = 360 W)..... 80
Şekil 8.18 Farklı ağırlıklarda kurutulan dut yaprağı numunelerine ait a değerlerinin kuruma süresi ile değişimi (Mikrodalga çıkış gücü = 360 W)..... 81
Şekil 8.19 Farklı ağırlıklarda kurutulan dut yaprağı numunelerine ait b değerlerinin kuruma süresi ile değişimi (Mikrodalga çıkış gücü = 360 W)..... 83
Şekil 8.20 Farklı ağırlıklarda kurutulan dut yaprağı numunelerine ait Toplam Renk Değişimi (ΔE) değerlerinin kuruma süresi ile değişimi (Mikrodalga çıkış gücü = 360 W)..... 84
Şekil 8.21 Farklı ağırlıklarda kurutulan dut yaprağı numunelerine ait Kroma (CV) değerlerinin kuruma süresi ile değişimi (Mikrodalga çıkış gücü = 360 W)... 86
Şekil 8.22 Farklı ağırlıklarda kurutulan dut yaprağı numunelerine ait Renk Açısı (HA) değerlerinin kuruma süresi ile değişimi (Mikrodalga çıkış gücü = 360 W)..... 88
Şekil 8.23 Farklı ağırlıklarda kurutulan dut yaprağı numunelerine ait Kahverengileşme İndeksi (BI) değerlerinin kuruma süresi ile değişimi (Mikrodalga çıkış gücü = 360 W)..... 89

Şekil 8.24 Farklı ağırlıklarda kurutulan dut yaprağı numunelerine ait elde edilen rehidratasyon kapasitesi değerlerinin rehidratasyon süresi ile değişimi (Mikrodalga çıkış gücü= 360 W, rehidratasyon sıcaklığı = 30 °C)..... 92
Şekil 8.25 Dut yaprağı numunelerinin farklı sıcaklıklarda elde edilen rehidratasyon kapasitesi değerlerinin rehidratasyon süresi ile değişimi (Mikrodalga çıkış gücü = 360 W, Numune ağırlığı = 20 g)..... 95
Şekil 8.26 Konvansiyonel yöntem ile kurutulan dut yaprağı numunesinin nem içeriğinin kuruma süresi ile değişimi (Numune Ağırlığı = 20 g, Sıcaklık = 40 °C)..... 98
Şekil 8.27 Konvansiyonel yöntem ile kurutulan dut yaprağı numunesinin nem oranının kuruma süresi ile değişimi (Numune Ağırlığı = 20 g, Sıcaklık = 40 °C)..... 99
Şekil 8.28 Konvansiyonel yöntem ile kurutulan dut yaprağı numunesine ait L değerlerinin kuruma süresi ile değişimi (Numune Ağırlığı = 20 g, Sıcaklık = 40 °C)..... 100
Şekil 8.29 Konvansiyonel yöntem ile kurutulan dut yaprağı numunesine ait a değerlerinin kuruma süresi ile değişimi (Numune Ağırlığı = 20 g, Sıcaklık = 40 °C)..... 101
Şekil 8.30 Konvansiyonel yöntem ile kurutulan dut yaprağı numunesine ait b değerlerinin kuruma süresi ile değişimi (Numune Ağırlığı = 20 g, Sıcaklık = 40 °C)..... 102
Şekil 8.31 Konvansiyonel yöntem ile kurutulan dut yaprağı numunesine ait Toplam Renk Değişimi (ΔE) değerlerinin kuruma süresi ile değişimi (Numune Ağırlığı = 20 g, Sıcaklık = 40 °C)..... 104
Şekil 8.32 Konvansiyonel yöntem ile kurutulan dut yaprağı numunesine ait Kroma (CV) değerlerinin kuruma süresi ile değişimi (Numune Ağırlığı = 20 g, Sıcaklık = 40 °C)..... 105
Şekil 8.33 Konvansiyonel yöntem ile kurutulan dut yaprağı numunesine ait Renk Açısı (HA) değerlerinin kuruma süresi ile değişimi (Numune Ağırlığı = 20 g, Sıcaklık = 40 °C)..... 106
Şekil 8.34 Konvansiyonel yöntem ile kurutulan dut yaprağı numunesine ait Kahverengileşme İndeksi (BI) değerlerinin kuruma süresi ile değişimi (Numune Ağırlığı = 20 g, Sıcaklık = 40 °C)..... 107
Şekil 8.35 Mikrodalga yöntemi ile kurutulan dut yaprağı numunesine ait mikrodalga çıkış gücü/numune ağırlığı değerlerinin kuruma süresi ile değişimi..... 109

ÇİZELGE LİSTESİ

Sayfa

Çizelge 6.1 Gıdaların kurutulması çalışmalarına dair literatür taraması..... 33
Çizelge 7.1 Arçelik MD 594 Mikrodalga Fırın teknik özellikleri..... 37
Çizelge 7.2 Konica Minolta CR-400 ve DP-400 cihazlarının teknik özellikleri [82].... 39
Çizelge 7.3 Hunter Lab renk skalasında kullanılan renk indislerinin anlamı [83]..... 41
Çizelge 8.1 Farklı mikrodalga çıkış güçlerinde kurutulan dut yaprağı numunelerine ait kuruma kinetiğinin modellenmesi için kullanılan matematiksel modeller ve hesaplanan istatistiksel veriler (Numune ağırlığı = 20 g)..... 55
Çizelge 8.2 Farklı mikrodalga çıkış güçlerinde kurutulan dut yaprağı numunelerine ait kuruma süresine karşılık elde edilen nem oranı değerlerine uyan Page Model denklemi kullanılarak hesaplanan model sabitleri ve istatistiksel veriler (Numune ağırlığı = 20 g)..... 56
Çizelge 8.3 Farklı mikrodalga çıkış güçlerinde kurutulan dut yaprağı numunelerine ait hesaplanan Efektif Difüzivite Katsayısı değerleri ve istatistiksel veriler (Numune ağırlığı = 20 g)..... 57
Çizelge 8.4 Farklı mikrodalga çıkış güçlerinde kurutulan dut yaprağı numunelerine ait kuruma süresine karşılık elde edilen L değerlerine uyan Sıfırıncı Dereceden Kinetik Model denklemi kullanılarak hesaplanan model sabitleri ve istatistiksel veriler (Numune ağırlığı = 20 g)..... 60
Çizelge 8.5 Farklı mikrodalga çıkış güçlerinde kurutulan dut yaprağı numunelerine ait kuruma süresine karşılık elde edilen a değerlerine uyan Sıfırıncı Dereceden Kinetik Model denklemi kullanılarak hesaplanan model sabitleri ve istatistiksel veriler (Numune ağırlığı = 20 g)..... 61
Çizelge 8.6 Farklı mikrodalga çıkış güçlerinde kurutulan dut yaprağı numunelerine ait kuruma süresine karşılık elde edilen b değerlerine uyan Sıfırıncı Dereceden Kinetik Model denklemi kullanılarak hesaplanan model sabitleri ve istatistiksel veriler (Numune ağırlığı = 20 g)..... 63

Çizelge 8.7 Farklı mikrodalga çıkış güçlerinde kurutulan dut yaprağı numunelerine ait kuruma süresine karşılık elde edilen Toplam Renk Değişimi (ΔE) değerlerine uyan Sıfırıncı Dereceden Kinetik Model

denklemi kullanılarak hesaplanan model sabitleri ve istatistiksel veriler (Numune ağırlığı = 20 g)..... 64
Çizelge 8.8 Farklı mikrodalga çıkış güçlerinde kurutulan dut yaprağı numunelerine ait kuruma süresine karşılık elde edilen Kroma (CV) değerlerine uyan Sıfırıncı Dereceden Kinetik Model denklemi kullanılarak hesaplanan model sabitleri ve istatistiksel veriler (Numune ağırlığı = 20 g)..... 66
Çizelge 8.9 Farklı mikrodalga çıkış güçlerinde kurutulan dut yaprağı numunelerine kuruma süresine karşılık ait elde edilen Renk Açısı (HA) değerlerine uyan Sıfırıncı Dereceden Kinetik Model denklemi kullanılarak hesaplanan model sabitleri ve istatistiksel veriler (Numune ağırlığı = 20 g) 67
Çizelge 8.10 Farklı mikrodalga çıkış güçlerinde kurutulan dut yaprağı numunelerine ait kuruma süresine karşılık elde edilen Kahverengileşme İndeksi (BI) değerlerine uyan Sıfırıncı Dereceden Kinetik Model denklemi kullanılarak hesaplanan model sabitleri ve istatistiksel veriler (Numune ağırlığı = 20 g) 69
Çizelge 8.11 Farklı mikrodalga çıkış güçlerinde kurutulan dut yaprağı numunelerine ait rehidratasyon kinetiğinin modellenmesi için kullanılan matematiksel modeller ve hesaplanan istatistiksel veriler (Numune ağırlığı = 20 g) 70
Çizelge 8.12 Farklı mikrodalga çıkış güçlerinde kurutulan dut yaprağı numunelerine ait rehidratasyon süresine karşılık elde edilen rehidratasyon kapasitesi değerlerine uyan Peleg Model denklemi kullanılarak hesaplanan model sabitleri ve istatistiksel veriler (Numune ağırlığı = 20 g, Rehidratasyon sıcaklığı = 30 °C)..... 71
Çizelge 8.13 Farklı numune ağırlıklarında kurutulan dut yaprağı numunelerinin kuruma kinetiğinin modellenmesi için kullanılan matematiksel modeller ve hesaplanan istatistiksel veriler (Mikrodalga çıkış gücü = 360 W)..... 75
Çizelge 8.14 Farklı ağırlıklarda kurutulan dut yaprağı numunelerine ait kuruma süresine karşılık elde edilen nem oranı değerlerine uyan Page Model denklemi kullanılarak hesaplanan model sabitleri ve istatistiksel veriler (Mikrodalga çıkış gücü = 360 W)..... 77
Çizelge 8.15 Farklı ağırlıklarda kurutulan dut yaprağı numunelerine ait hesaplanan Efektif Difüzivite Katsayısı değerleri ve istatistiksel veriler (Mikrodalga çıkış gücü = 360 W)..... 78
Çizelge 8.16 Farklı ağırlıklarda kurutulan dut yaprağı numunelerine ait kuruma süresine karşılık elde edilen L değerlerine uyan Sıfırıncı Dereceden Kinetik Model denklemi kullanılarak hesaplanan model sabitleri ve istatistiksel veriler (Mikrodalga çıkış gücü = 360 W)..... 80
Çizelge 8.17 Farklı ağırlıklarda kurutulan dut yaprağı numunelerine ait kuruma süresine karşılık elde edilen a değerlerine uyan Sıfırıncı Dereceden Kinetik Model denklemi kullanılarak hesaplanan model sabitleri ve istatistiksel veriler (Mikrodalga çıkış gücü = 360 W)..... 82
Çizelge 8.18 Farklı ağırlıklarda kurutulan dut yaprağı numunelerine ait kuruma süresine karşılık elde edilen b değerlerine uyan Sıfırıncı Dereceden

Kinetik Model denklemi kullanılarak hesaplanan model sabitleri ve istatistiksel veriler (Mikrodalga çıkış gücü = 360 W)…… 83
Çizelge 8.19 Farklı ağırlıklarda kurutulan dut yaprağı numunelerine ait kuruma süresine karşılık elde edilen Toplam Renk Değişimi (ΔE) değerlerine uyan Sıfırıncı Dereceden Kinetik Model denklemi kullanılarak hesaplanan model sabitleri ve istatistiksel veriler (Mikrodalga çıkış gücü = 360 W)…… 85
Çizelge 8.20 Farklı ağırlıklarda kurutulan dut yaprağı numunelerine ait kuruma süresine karşılık elde edilen Kroma (CV) değerlerine uyan Sıfırıncı Dereceden Kinetik Model denklemi kullanılarak hesaplanan model sabitleri ve istatistiksel veriler (Mikrodalga çıkış gücü = 360 W)…… 86
Çizelge 8.21 Farklı ağırlıklarda kurutulan dut yaprağı numunelerine ait kuruma süresine karşılık elde edilen Renk Açısı (HA) değerlerine uyan Sıfırıncı Dereceden Kinetik Model denklemi kullanılarak hesaplanan model sabitleri ve istatistiksel veriler (Mikrodalga çıkış gücü = 360 W)..... 88
Çizelge 8.22 Farklı ağırlıklarda kurutulan dut yaprağı numunelerine ait kuruma süresine karşılık elde edilen Kahverengileşme İndeksi (BI) değerlerine uyan Sıfırıncı Dereceden Kinetik Model denklemi kullanılarak hesaplanan model sabitleri ve istatistiksel veriler (Mikrodalga çıkış gücü = 360 W)..... 90
Çizelge 8.23 Farklı numune ağırlıklarında kurutulan dut yaprağı numunelerine ait rehidratasyon kinetiğinin modellenmesi için kullanılan matematiksel modeller ve hesaplanan istatistiksel veriler (Mikrodalga çıkış gücü = 360 W)…… 91
Çizelge 8.24 Farklı ağırlıklarda kurutulan dut yaprağı numunelerine ait rehidratasyon süresine karşılık elde edilen rehidratasyon kapasitesi değerlerine uyan Peleg Model denklemi kullanılarak hesaplanan model sabitleri ve istatistiksel veriler (Mikrodalga çıkış gücü = 360 W, Rehidratasyon sıcaklığı = 30 °C)..... 93
Çizelge 8.25 Dut yaprağı numunelerinin farklı sıcaklıklardaki rehidratasyon kinetiğinin modellenmesi için kullanılan matematiksel modeller ve hesaplanan istatistiksel veriler (Mikrodalga çıkış gücü = 360 W, Numune ağırlığı = 20 g)…… 94
Çizelge 8.26 Dut yaprağı numunelerinin farklı sıcaklıklarda rehidratasyon süresine karşılık elde edilen rehidratasyon kapasitesi değerlerine uyan Peleg Model denklemi kullanılarak hesaplanan model sabitleri ve istatistiksel veriler (Mikrodalga çıkış gücü = 360 W, Numune ağırlığı = 20 g)…… 95
Çizelge 8.27 Mikrodalga tekniği ile kurutulan dut yaprağı numunelerinin renk indisi parametrelerine göre hesaplanan aktivasyon enerjisi değerleri…… 96
Çizelge 8.28 Konvansiyonel yöntem ile kurutulan dut yaprağı numunesinin kuruma süresine karşılık elde edilen deneysel verilere uyan Page Model denklemi kullanılarak hesaplanan model sabitleri ve istatistiksel veriler (Numune ağırlığı = 20 g, Sıcaklık = 40 °C) 98
Çizelge 8.29 Konvansiyonel yöntem ile kurutulan dut yaprağı numunesine ait kuruma süresine karşılık elde edilen L değerlerine uyan Sıfırıncı

Dereceden Kinetik Model denklemi kullanılarak hesaplanan model sabitleri ve istatistiksel veriler (Numune ağırlığı = 20 g, Sıcaklık = 40 °C)..... 101
Çizelge 8.30 Konvansiyonel yöntem ile kurutulan dut yaprağı numunesine ait kuruma süresine karşılık elde edilen a değerlerine uyan Sıfırıncı Dereceden Kinetik Model denklemi kullanılarak hesaplanan model sabitleri ve istatistiksel veriler (Numune ağırlığı = 20 g, Sıcaklık = 40 °C)..... 102
Çizelge 8.31 Konvansiyonel yöntem ile kurutulan dut yaprağı numunesine ait kuruma süresine karşılık elde edilen b değerlerine uyan Sıfırıncı Dereceden Kinetik Model denklemi kullanılarak hesaplanan model sabitleri ve istatistiksel veriler (Numune ağırlığı = 20 g, Sıcaklık = 40 °C)..... 103
Çizelge 8.32 Konvansiyonel yöntem ile kurutulan dut yaprağı numunesine ait elde edilen Toplam Renk Değişimi (ΔE) değerlerine uyan Sıfırıncı Dereceden Kinetik Model denklemi kullanılarak hesaplanan model sabitleri ve istatistiksel veriler (Numune ağırlığı = 20 g, Sıcaklık = 40 °C) 103
Çizelge 8.33 Konvansiyonel yöntem ile kurutulan dut yaprağı numunesine ait kuruma süresine karşılık elde edilen Kroma (CV) değerlerine uyan Sıfırıncı Dereceden Kinetik Model denklemi kullanılarak hesaplanan model sabitleri ve istatistiksel veriler (Numune ağırlığı = 20 g, Sıcaklık = 40 °C) 105
Çizelge 8.34 Konvansiyonel yöntem ile kurutulan dut yaprağı numunesine ait kuruma süresine karşılık elde edilen Renk Açısı (HA) değerlerine uyan Sıfırıncı Dereceden Kinetik Model denklemi kullanılarak hesaplanan model sabitleri ve istatistiksel veriler (Numune ağırlığı = 20 g, Sıcaklık = 40 °C)..... 106
Çizelge 8.35 Konvansiyonel yöntem ile kurutulan dut yaprağı numunesine ait kuruma süresine karşılık elde edilen Kahverengileşme İndeksi (BI) değerlerine uyan Sıfırıncı Dereceden Kinetik Model denklemi kullanılarak hesaplanan model sabitleri ve istatistiksel veriler (Numune ağırlığı = 20 g, Sıcaklık = 40 °C) 108
Çizelge 8.36 Kuruma süresine karşılık mikrodalga çıkış gücü/numune ağırlığı değerleri..... 109
Çizelge 8.37 Kuruma sürelerine karşılık mikrodalga çıkış gücü/numune ağırlığı (P/m) değerlerine uyan Power Model denklemi kullanılarak hesaplanan model sabitleri ve istatistiksel veriler..... 110
Çizelge E1.1 180 W mikrodalga çıkış gücünde 20 g dut yaprağı numunesinin kurutulmasına ait deneysel veriler..... 120
Çizelge E1.2 360 W mikrodalga çıkış gücünde 20 g dut yaprağı numunesinin kurutulmasına ait deneysel veriler..... 121
Çizelge E1.3 540 W mikrodalga çıkış gücünde 20 g dut yaprağı numunesinin kurutulmasına ait deneysel veriler..... 121
Çizelge E1.4 720 W mikrodalga çıkış gücünde 20 g dut yaprağı numunesinin kurutulmasına ait deneysel veriler..... 122
Çizelge E1.5 900 W mikrodalga çıkış gücünde 20 g dut yaprağı numunesinin

kurutulmasına ait deneysel veriler 122
Çizelge E2.1 180 W mikrodalga çıkış gücünde kurutulan 20 g dut yaprağı numunesinin renk değişimine ait deneysel veriler 123
Çizelge E2.2 360 W mikrodalga çıkış gücünde kurutulan 20 g dut yaprağı numunesinin renk değişimine ait deneysel veriler..... 123
Çizelge E2.3 540 W mikrodalga çıkış gücünde kurutulan 20 g dut yaprağı numunesinin renk değişimine ait deneysel veriler..... 124
Çizelge E2.4 720 W mikrodalga çıkış gücünde kurutulan 20 g dut yaprağı numunesinin renk değişimine ait deneysel veriler..... 124
Çizelge E2.5 900 W mikrodalga çıkış gücünde kurutulan 20 g dut yaprağı numunesinin renk değişimine ait deneysel veriler..... 124
Çizelge E3.1 180 W mikrodalga çıkış gücünde kurutulan 20 g dut yaprağı numunesinin rehidratasyon kapasitesine ait deneysel veriler..... 125
Çizelge E3.2 360 W mikrodalga çıkış gücünde kurutulan 20 g dut yaprağı numunesinin rehidratasyon kapasitesine ait deneysel veriler 126
Çizelge E3.3 540 W mikrodalga çıkış gücünde kurutulan 20 g dut yaprağı numunesinin rehidratasyon kapasitesine ait deneysel veriler 127
Çizelge E3.4 720 W mikrodalga çıkış gücünde kurutulan 20 g dut yaprağı numunesinin rehidratasyon kapasitesine ait deneysel veriler 128
Çizelge E3.5 900 W mikrodalga çıkış gücünde kurutulan 20 g dut yaprağı numunesinin rehidratasyon kapasitesine ait deneysel veriler 129
Çizelge E4.1 360 W sabit mikrodalga çıkış gücünde 20 g dut yaprağı numunesinin kurutulmasına ait deneysel veriler..... 130
Çizelge E4.2 360 W sabit mikrodalga çıkış gücünde 40 g dut yaprağı numunesinin kurutulmasına ait deneysel veriler..... 131
Çizelge E4.3 360 W sabit mikrodalga çıkış gücünde 60 g dut yaprağı numunesinin kurutulmasına ait deneysel veriler 132
Çizelge E4.4 360 W sabit mikrodalga çıkış gücünde 80 g dut yaprağı numunesinin kurutulmasına ait deneysel veriler..... 133
Çizelge E4.5 360 W sabit mikrodalga çıkış gücünde 100 g dut yaprağı numunesinin kurutulmasına ait deneysel veriler 134
Çizelge E5.1 360 W sabit mikrodalga çıkış gücünde kurutulan 20 g dut yaprağı numunesinin renk değişimine ait deneysel veriler 135
Çizelge E5.2 360 W sabit mikrodalga çıkış gücünde kurutulan 40 g dut yaprağı numunesinin renk değişimine ait deneysel veriler..... 135
Çizelge E5.3 360 W sabit mikrodalga çıkış gücünde kurutulan 60 g dut yaprağı numunesinin renk değişimine ait deneysel veriler..... 136
Çizelge E5.4 360 W sabit mikrodalga çıkış gücünde kurutulan 80 g dut yaprağı numunesinin renk değişimine ait deneysel veriler..... 136
Çizelge E5.5 360 W sabit mikrodalga çıkış gücünde kurutulan 100 g dut yaprağı numunesinin renk değişimine ait deneysel veriler..... 136
Çizelge E6.1 360 W sabit mikrodalga çıkış gücünde kurutulan 20 g dut yaprağı numunesinin rehidratasyon kapasitesine ait deneysel veriler..... 137
Çizelge E6.2 360 W sabit mikrodalga çıkış gücünde kurutulan 40 g dut yaprağı numunesinin rehidratasyon kapasitesine ait deneysel veriler 138
Çizelge E6.3 360 W sabit mikrodalga çıkış gücünde kurutulan 60 g dut yaprağı numunesinin rehidratasyon kapasitesine ait deneysel veriler..... 139

Çizelge E6.4 360 W sabit mikrodalga çıkış gücünde kurutulan 80 g dut yaprağı numunesinin rehidratasyon kapasitesine ait deneysel veriler…… 140
Çizelge E6.5 360 W sabit mikrodalga çıkış gücünde kurutulan 100 g dut yaprağı numunesinin rehidratasyon kapasitesine ait deneysel veriler…… 141
Çizelge E7.1 45 °C rehidratasyon sıcaklığında sabit mikrodalga gücünde kurutulan 20 g dut yaprağı numunesinin rehidratasyon kapasitesine ait deneysel veriler (Mikrodalga çıkış gücü = 360 W)…… 142
Çizelge E7.2 55 °C rehidratasyon sıcaklığında sabit mikrodalga gücünde kurutulan 20 g dut yaprağı numunesinin rehidratasyon kapasitesine ait deneysel veriler (Mikrodalga çıkış gücü = 360 W)…… 143
Çizelge E7.3 70 °C rehidratasyon sıcaklığında sabit mikrodalga gücünde kurutulan 20 g dut yaprağı numunesinin rehidratasyon kapasitesine ait deneysel veriler (Mikrodalga çıkış gücü = 360 W)…… 144
Çizelge E8.1 Konvansiyonel yöntem ile kurutulan 20 g dut yaprağı numunesinin nem içeriğine ve nem oranına ait deneysel veriler (Sıcaklık = 40 °C)…… 145
Çizelge E9.1 Konvansiyonel yöntemi ile kurutulan 20 g dut yaprağı numunesinin renk değişimine ait deneysel veriler (Sıcaklık = 40 °C)…… 146

ÖZET

MİKRODALGA TEKNİĞİ İLE KURUTULAN DUT YAPRAKLARININ KURUMA, RENK VE REHİDRATASYON KİNETİKLERİNİN MODELLENMESİ

Berat YILMAZ

Kimya Mühendisliği Bölümü

Yüksek Lisans Tezi

Tez Danışmanı: Prof. Dr. Belma ÖZBEK

Kurutma prosesi, gıdaların raf ömrünü uzatmak için kullanılan bilinen en eski yöntemlerden biridir. Gerek açık havadan kaynaklanan kirliliklerin, böcek, kuş vb. canlıların etkilerinden gerekse sanayileşme ve makineleşmeyle başlayan seri üretim yöntemlerinin daha verimli, hızlı, kârlı ve kapalı ortamda olmasından dolayı güneşte kurutma yerini, fırın kurutucular, püskürtmeli kurutucular, vakum kurutucular, mikrodalga kurutucular gibi kurutuculara bırakmıştır. Mevcut kurutucular içerisinde mikrodalga kurutucular; daha az kurutma süresi, daha yüksek verim ve rehidratasyon gibi özellikleri nedeniyle daha çok tercih edilmektedir. Bu nedenle bu çalışmada, tıbbi ürünlerde katkı maddesi, gıda takviyesi ve çay olarak kullanılan dut yapraklarının mikrodalga yöntemi ile kurutularak; kuruma, renk değişim ve rehidratasyon kinetiklerinin incelenmesi amaçlanmıştır.

Mikrodalga çıkış gücünün etkisini incelemek için 20 g ağırlığındaki dut yaprağı numuneleri farklı mikrodalga çıkış güçlerinde (180, 360, 540, 720 ve 900 W) kurutulmuştur. Ayrıca, numune ağırlığının etkisini incelemek için dut yaprağı numuneleri farklı miktarlarda (20, 40, 60, 80 ve 100 g) 360 W sabit mikrodalga çıkış gücünde kurutulmuştur. Mikrodalga çıkış gücünün artması ve numune miktarının azalması ile kuruma süresinin azaldığı tespit edilmiştir. Ayrıca, dut yaprakları konvansiyonel kurutma yöntemi ile 40 °C'de kurutulmuştur ve elde edilen veriler mikrodalga yöntemi ile elde edilen veriler ile karşılaştırılmıştır. Konvansiyonel kurutma için gereken sürenin 20 g numune için 90 dakika olduğu, bu sürenin en düşük mikrodalga çıkış gücünde

gerçekleştirilen kurutma için gereken sürenin 7.8 katı olduğu bulunmuştur. 180 W mikrodalga çıkış gücünde kurutma için gereken süre 11.5 dakika olarak bulunmuştur.

Yapılan matematiksel modelleme çalışmalarında; kurutma kinetiği için Page Model, Henderson ve Pabis Model, Lewis Model ve Logaritmik Model denklemleri; renk değişim kinetiği için Sıfırıncı Dereceden Kinetik Model ve Birinci Dereceden Kinetik Model denklemleri; rehidratasyon kinetiği için Peleg Model, Weibull Model, Birinci Dereceden Rehidratasyon Model ve Eksponansiyel Assosiasyon Model denklemleri kullanılmıştır. Uygulanan tüm modeller arasında yüksek R^2 ve düşük standart sapma (δ) değerlerine sahip olan Page Model denkleminin kuruma kinetiğine; Sıfırıncı Dereceden Kinetik Model denkleminin renk değişim kinetiğine ve Peleg Model denkleminin rehidratasyon kinetiğine uygunluk gösterdiği bulunmuştur.

Mikrodalga yöntemi ile kurutulan numunelere ait hesaplanan Efektif Difüzivite Katsayısı değerlerinin 0.44 x 10^{-10} m^2/s değeri ile 5.34 x 10^{-10} m^2/s değeri arasında değiştiği bulunmuştur. Ayrıca, elde edilen veriler kullanılarak yapılan hesaplamalar sonucunda kurutma kinetiğine ait aktivasyon enerjisi değeri 15.43 W/g, renk değişim kinetiğine ait aktivasyon enerjisi değeri 11.11-12.07 W/g, 30 ^oC sıcaklıkta gerçekleştirilen rehidratasyon kinetiğine ait aktivasyon enerjisi değeri 4.59 W/g, farklı sıcaklıklarda gerçekleştirilen dut yapraklarının rehidratasyon kinetiğine ait aktivasyon enerjisi değeri 18.2 kJ/mol olarak bulunmuştur. Son olarak, kuruma süresine karşılık mikrodalga çıkış gücü/numune ağırlığı değerlerinin değişimi incelenmiş ve yapılan modelleme çalışmaları sonucunda değerlerin Power Model denklemi ile uyumlu olduğu sonucuna varılmıştır.

Sonuç olarak; gerçekleştirilen çalışmalar sonucunda elde edilen kuruma süresi, renk değişim parametreleri ve rehidratasyon kapasitesi değerleri değerlendirildiğinde, dut yapraklarının mikrodalga tekniği ile kurutulmasının uygun olduğu sonucuna varılmıştır. Ancak, elde edilen verilerin bu çalışmada kullanılan ev-tipi mikrodalga fırının özellikleri ile sınırlı olduğu dikkate alınmalıdır.

Anahtar Kelimeler: Dut yaprağı, mikrodalga tekniği ile kurutma, kurutma kinetiği, renk değişim kinetiği, rehidratasyon kinetiği

ABSTRACT

MODELLING STUDIES ON DRYING, COLOUR CHANGE AND REHYDRATION KINETICS OF MICROWAVE-DRIED MULBERRY LEAVES

Berat YILMAZ

Department of Chemical Engineering

MSc. Thesis

Adviser: Prof.Dr. Belma ÖZBEK

The drying process is one of the oldest methods used to extend the shelf life of foods. Due to the reasons such as contaminatants in the open air caused by insects, birds and etc. and industrialization and mechanization of batch production being more efficient, fast, profitable and having a closed system, sun drying has been replaced by various dryers such as oven dryers, spray dryers, vacuum dryers, microwave dryers and etc. Microwave drying, which is one of the drying technologies, is preferred as an alternative drying method due to its lower drying time, higher efficiency and etc. Therefore, in the present study, it was aimed to investigate drying, colour change and rehydration kinetics of microwave-dried mulberry leaves as they are usually used in the food supplements, medicinal products and herbal tea.

In order to investigate the effect of microwave output power, 20 g mulberry leaves were dried at various microwave output powers (180, 360, 540, 720 and 900 W). On the other hand, to investigate the effect of sample amount, mulberry leaves were dried at various amounts (20, 40, 60, 80 and 100 g) at a constant microwave output power of 360 W. It was determined that drying time decreased as the microwave output power increased and sample amount decreased. Additionally, the mulberry leaves were dried at the temperature of 40 °C by the conventional drying method and the data were compared with the data obtained by the microwave method. The results showed that the required drying time for conventional drying was 90 minutes for 20 g of mulberry leaves, which was 7.8 times higher than the drying time required for drying at the lowest microwave

output power. The drying time for 180 W microwave output power was found as 11.5 minutes.

In the meantime, Page Model, Henderson & Pabis Model, Lewis Model and Logarithmic Model equations for modelling of drying kinetic data; Zero Order Kinetic Model and First Order Kinetic Model equations for modelling of colour change kinetic data; Peleg Model, Weibull Model, First Order Rehydration Model and Exponential Association Model equations for modelling of rehydration kinetic data were applied. Among the applied models, Page Model equation was found the best equation fitted to drying kinetic data; Zero Order Kinetic Model equation was found the best equation fitted to colour change kinetic data; and, Peleg Model was found the best equation fitted to rehydration kinetic data, in terms of the higher R2 and lower standard deviation (δ) values obtained.

On the other hand, Effective Moisture Diffusivity coefficients were calculated for mulberry leaves dried under microwave treatment. It was found that the values were varied between 0.44 x 10^{-10} m^2/s to 5.34 x 10^{-10} m^2/s. The activation energy values were also calculated by using the experimental data obtained. The values were found as 15.43 W/g, 11.11-12.07 W/g, 4.59 W/g and 18.20 kJ/mole for drying, colour change, rehydration kinetic performed at 30°C and rehydration kinetics at different rehydration temperature values, respectively. Finally, the relationship of the data of microwave output power/sample amount values depending on drying time was examined; and it was found that the data was in good agreement with Power Model equation regarding modelling studies performed.

As a result; it was concluded that microwave treatment used for drying process of mulberry leaves was found as suitable technique in terms of drying time, colour change parameters and rehydration capacity properties. However, it should be noted that the results obtained are limited to the characteristics of the domestic microwave oven used in the present study.

Keywords: Mulberry leaves, microwave drying, drying kinetic, colour change kinetic, rehydration kinetic

BÖLÜM 1

GİRİŞ

1.1 Literatür Özeti

Gıda kurutma, gıdaların uzun süre saklanması amacıyla yüzyıllardır uygulanan, gıda sektöründe oldukça geniş kullanım alanı bulan, gıdanın içeriğindeki suyun uzaklaştırılmasına yönelik işlemdir. Gıda kurutma, mikroorganizmalar tarafından gerçekleştirilen çürümenin engellemesi, kurutulan gıdaların uzun süre saklanabilmesi ve besin değerlerinin büyük ölçüde korunması gibi avantajları nedeniyle günümüzde de yaygın olarak kullanılan önemli bir saklama tekniğidir.

Gıdaların kurutularak saklanması çok eski dönemlere dayanmaktadır. Güneşte kurutma, bilinen en eski ve maliyet yönünden elverişli bir yöntem olmasına karşın; havadan bulaşan kirleticiler, böceklenme sorunları gibi sebeplerden ve kurutma süresinin çok uzun olması nedenlerinden dolayı tercih edilmemektedir. Yaşanan dezavantajlar nedeni ile çözüm için endüstriyel kurutma sistemleri geliştirilmiştir. Bilinen en eski yapay ortamda endüstriyel kurutma işlemi, 1975 yılında Fransa'da fırın kullanılarak gerçekleştirilmiştir. Zamanla gelişen teknolojiler mevcut sıcak hava fırınlarından daha hızlı kurutma sağlayacak püskürtmeli kurutucular, vakum kurutucular, mikrodalga kurutucular gibi kurutucuların ortaya çıkmasını sağlamıştır. Bu teknolojilerden biri olan mikrodalga ile kurutma yöntemi daha az proses süresi, daha yüksek verim ve rehidratasyonu özelliği nedeniyle alternatif bir kurutma yöntemi olarak kullanılmaya başlanmıştır.

1.2 Tezin Amacı

Bu çalışmada, mikrodalga tekniği kullanılarak medikal etkileri olan dut yapraklarının kuruma, renk değişim ve rehidratasyon kinetiklerinin incelenmesi ve modellenmesi hedeflenmiştir.

1.3 Orijinal Katkı

Ülkemizde nerdeyse her bölgede yetişebilmekte olan dut meyvesi ve dut yapraklarının sağlık açısından çok önemli faydaları bulunmaktadır. Dut yapraklarının kaynatılarak elde edilen çayı kalp, karaciğer, bronşit, soğuk algınlığı ve egzama gibi birçok hastalığın tedavisinde kullanılmaktadır.

Çok sayıda faydası bulunan dut yaprağı ne yazık ki çoğunlukla ipek böceği yetiştiriciliğinde kullanılmaktadır. Bu çalışma ile dut yapraklarının mikrodalga tekniği ile kurutulması, renk değişim parametreleri ve rehidratasyon kapasiteleri incelenmiştir. Sonuç olarak, mikrodalga yöntemi ile kurutulan dut yaprakları gıda sanayinde gıda takviyesi, medikal ürünlerde katkı maddesi ve çay olarak kullanılabilecek ve böylece hem bilime hem de ekonomiye katkı sağlanacaktır.

BÖLÜM 2

GIDALARIN KURUTULMASI

Gıda kurutma genel olarak gıdanın yapısında bulunan suyun uzaklaştırılması olarak tanımlanır. Gıdaların kurutulması, raf ömrünün artarak daha uzun süre saklanabilmesine, hacimce olan küçülme sayesinde taşımanın kolaylaşmasına, daha az ambalaj malzemesi kullanmasına, paketleme ve ulaşım maliyetlerinin azalmasına olanak sağlar. Aynı zamanda, su oranının %10'nun altına düştüğü durumlarda gıdanın içinde bulunan mikroorganizmalar aktif değillerdir. Bu nedenle, gıdanın kurutulması sayesinde mikroorganizmaların gıdalarda neden olduğu çürüme gibi istenmeyen özellikler ortadan kalkar, mikrobiyal güvenlilik sağlanır ve biyokimyasal reaksiyon hızlarında azalma görülür [1].

Antik çağdan beri pek çok gıdanın kurutulduğuna dair bilgiler mevcuttur. Milattan öncesine ait yerleşim yerlerinde kurutulmuş buğday ve arpa gibi besinler bulunmuştur. Fenikeli ve Akdenizli balıkçıların avlarını güneşte kuruttukları; Çinlilerin eski zamanlardan beri çay yapraklarını kuruttukları bilinmektedir. 16. yüzyılda denizciler uzun deniz seyahatleri sırasında gıdalarını kurutarak saklamışlardır. Cristoph Colomb'un keşifler öncesi kurutulmuş gıdaları tercih ettiği eski metinlerde yazılıdır [2, 3].

17. yüzyılda savaşlarda özellikle gıdaların uzun süre kullanılmasına gereksinim duyulduğundan, gıdaların kurutulması sanayide yerini almıştır. Fransızlar ilk fırın kurutucunun üretimini gerçekleştirmişler ve bu sayede sebze ve meyvelerin endüstri boyutunda kurutulmasının ilk adımını atmışlardır [4]. Savaş dönemlerinde; erzakın cephelere taşınması sırasında daha hafif olması ve daha uzun süre saklanabilmesi gibi avantajlarından dolayı kurutulmuş gıdalar tercih edilmiş ve gıdaların kurutulması yaygın

olarak kullanılmaya başlamıştır. 20. Yüzyıldan itibaren endüstriyel boyutta lahana, ıspanak, şalgam, kereviz, patates, tatlı mısır, çorba karışımları ve havuç kurutulmaya başlanmıştır. Aynı yüzyılda, meyvelerin kurutulmasında önemli bir dönüm noktası yaşanmış ve güneşte kurutmanın yerini alacak olan sprey kurutucular geliştirilmiştir. Bu tür kurutucular genelde süt ürünleri ve yumurtaların kurutulmasında kullanılmıştır [5]. Sprey kurutucuların geliştirilmesinden sonra, 1960'lı yıllarda yaygın olarak kullanılan tünel kurutucular geliştirilmiştir [4].

Mikrodalgaların ısı kaynağı olarak kullanımı II. Dünya Savaşı'ndan hemen sonra fark edilmiş ve sanayide patates cipsi son kurutmasında yararlanılmış olan ilk ev tipi mikrodalga fırın Raytheon Lisansı ile kullanıma sunulmuştur. Gıda sanayisinde mikrodalga yöntemi; kurutma, haşlama, pişirme, pastörizasyon, sterilizasyon ve buz çözme gibi amaçlarla uygulanmaktadır [6].

2.1 Kurutma Yöntemleri

2.1.1 Doğal Kurutma

Gıdanın yapısındaki su oranının azaltılması için güneş enerjisi kullanılan en basit ve en temel yönteme doğal kurutma adı verilir. Doğal kurutma yönteminde gıdaların kurutulması için geniş alanlara ihtiyaç duyulmaktadır. Bu doğal kurutmanın açık alanda olmasından dolayı tozlanma, kirlenme, böceklenme, kuşlar ve diğer canlılar tarafından zarar görme gibi dezavantajları bulunmaktadır. Ayrıca, kurutma işleminin çok yavaş olmasından dolayı kurutma süresi çok uzundur ve her gıdanın her mevsim güneşte kurutulma imkanı yoktur. Bu olumsuzluklar dikkate alındığında, daha hijyenik ve daha hızlı olacak endüstriyel boyutta farklı kurutma yöntemlerinin geliştirilmesi gerekliliği ortaya çıkmıştır [7].

2.1.2 Yapay Kurutma

Kurutma işleminin kapalı, özel olarak koşullandırılmış ve kontrol edilebilir alanlarda yapılmasına yapay kurutma denir. Yapay kurutma yöntemlerinde, kurutulmuş gıdalardaki başlıca ölçüt, gıdaların rehidratasyonu sonucunda ilk durumlarına çok yakın

bir hal almaları ya da ilk durum ile rehidratasyondan sonrasındaki durum arasındaki farkın, fark edilemeyecek kadar az olmasıdır [8].

2.2 Kurutmanın Prensipleri ve Aşamaları

Kurutma, suyun malzemenin yapısından uzaklaştırılması olarak tanımlansa da gerçekte malzeme ve çevresi arasında hem kütle hem de ısı transferinin eş zamanlı olarak gerçekleştiği bir prosestir [9]. Kütle ve ısı transferi gıdanın kurutulması sırasında şöyle gerçekleşir [10];

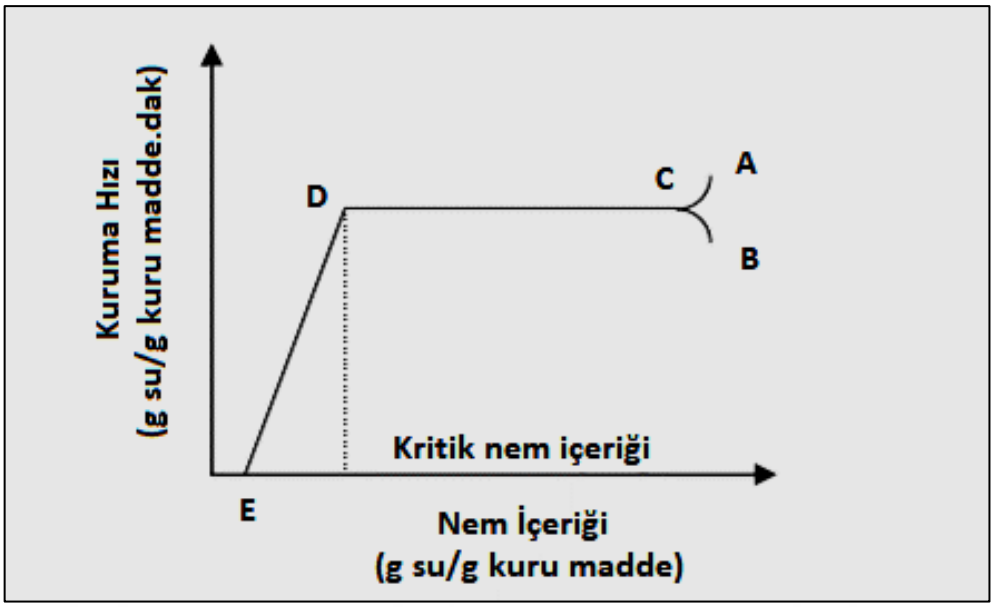
- Birinci aşamada; çevresindeki sıcak hava ile gıda temas eder ve ısınmaya başlar.
- İkinci aşamada; sonrasında yüzeydeki nem tamamıyla uzaklaştırıldıktan sonra gıdanın iç kısmında bulunan nem difüzyon yolu ile yüzeye taşınır.
- Üçüncü aşamada; nemin yüzeyden buharlaşması sağlanır.

Gıdaların farklı koşullarda kurutulmaları sırasında farklı kuruma eğrileri elde edilmesine karşın genel olarak kuruma sürecinde sabit hız periyodu ve azalan hız periyodu olmak üzere 2 farklı kuruma periyodu gözlemlenir (Şekil 2.1) [11]. Sabit hız periyodu, kurumanın yüksek hızda gerçekleştiği ve gıdanın içindeki nemin büyük kısmının uzaklaştığı; azalan hız periyodu ise, nem içeriğinin azalmasından dolayı kuruma hızının yavaşladığı ve daha az suyun buharlaştığı uzun süre alan periyod olarak tanımlanır.

Gıdaların kurutulması sırasında elde edilen Şekil 2.1'de [11] gösterilen tipik kuruma eğrisinde, CD arasındaki kısım sabit hız periyodunun, DE arasındaki kısım ise azalan hızda periyodunun olduğu aralıklardır. AC arasındaki periyod gıdanın kuruma işlemine başlarken sıcak olması durumunda gerçekleşir. BC arası ise, gıdanın kuruma işlemine başlandığında soğuk olması durumunda elde edilen eğridir. C noktasında sistem artık dengeye gelir ve kuruma işlemi kararlı halde devam eder [12, 13].

2.3 Kurutma Hızına Etki Eden Parametreler

Gıdaların kurutulması sırasında, kuruma hızı pek çok parametreden etkilenmektedir. Kuruma hızına etki eden faktörler; ortam sıcaklığı, ortamın nemi, kurutulan gıdanın özellikleri ve kurutma havasının hızı olarak sıralanabilir [14].



Şekil 2.1 Gıdaların kuruma hızına ait eğri [11]

2.3.1 Sıcaklık

Kurutma işlemi sırasında sıcaklık yükseldikçe difüzyon hızı artar, bu artışa bağlı olarak kuruma hızı artar ve kuruma süresi kısalır. Gıdaların kurutulması sırasında yüksek sıcaklık uygulamanın avantajları aşağıda sıralanmıştır [15]:

- Yüksek sıcaklıklarda havanın nem tutma kapasitesi yüksek olduğundan, buhar basıncının yüksek olması sağlanır ve kuruma işlemi daha hızlı gerçekleşir.
- Isı kayıpları en aza indirilmiş olur.
- Gıdanın ulaşabileceği denge nem içeriği yükselir.

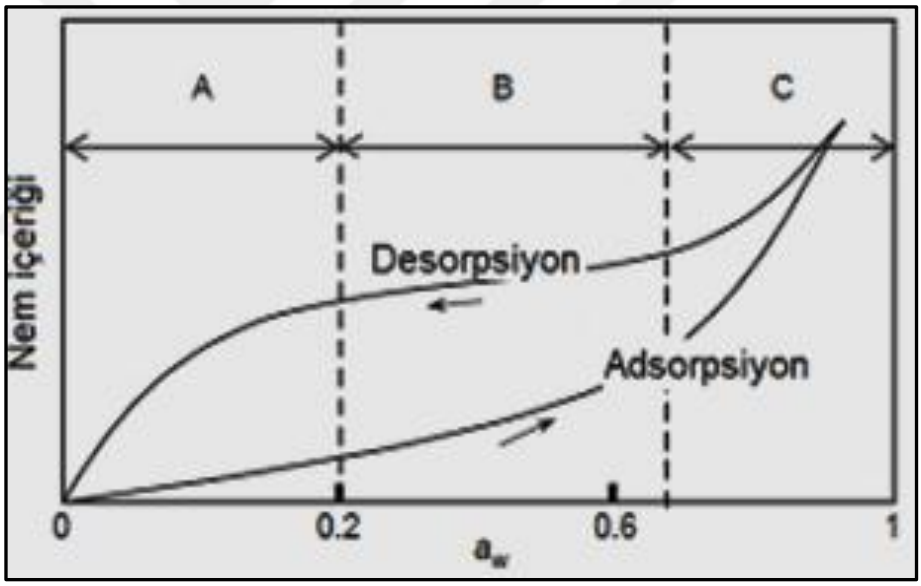
Ancak, yukarıda sıralanan avantajlara karşın kurutmanın yüksek sıcaklıklarda gerçekleştirilmesinin dezavantajları da bulunmaktadır. İnce tabakalı gıdalarda yanma ve yanmaya bağlı olarak besin kaybı, karşılaşılan dezavantajlardan bazılarıdır [15].

2.3.2 Ortamın Nemi

Hava ortamında kurutma sırasında, kurutulan gıdanın nem içeriği ortamda bulunan su buharı miktarına göre değişim göstermektedir. Ortamın nem miktarının artması ya da azalması durumunda gıdadaki nem değişimi farklı karakteristiklere sahip olmaktadır. Havanın nem içeriği ne kadar az olursa kuruma o kadar hızlı gerçekleşir. Kuru hava daha çok nem tutma kapasitesine sahiptir [16].

Ortam havasının nem miktarının sabit sıcaklıkta değiştirilmesi ile maddenin içerdiği nem miktarındaki değişimi gösteren eğriler sorbsiyon izotermleri olarak adlandırılırlar (Şekil 2.2) [17]. Ortamın neminin arttırılması ile maddenin içerdiği nem miktarındaki değişim adsorbsiyon (maddenin nem çekmesi), yine sabit sıcaklıkta ortamın neminin azaltılması ile maddenin içerdiği nem miktarındaki değişim desorbsiyon (maddenin nem kaybetmesi) olarak tanımlanmaktadır.

Şekil 2.2'de, A bölgesindeki su, maddenin yüzeyinde tek bir molekül katmanı şeklinde sıkı sıkıya tutunmuş durumdadır. A bölgesindeki suyun uzaklaştırılması oldukça zordur. B bölgesindeki su, maddeye daha gevşek şekilde bağlıdır. C bölgesindeki su ise, kapiler ve gözeneklerde yoğuşmuş şekilde var olan serbest sudur. Bu bölgeler arasında kesin bir sınır olmadığı gibi, her bölgeye ait nem değerleri gıdalarda farklılık göstermektedir [17].



Şekil 2.2 Su sorpsiyon izotermi [17]

2.3.3 Kurutulan Gıdaların Özellikleri

Gıdaların kurutulması sırasında kurutulan gıdaya ait fiziksel ve kimyasal özellikler, kurutma prosesini etkileyen önemli faktörlerdendir. Kurutulan gıdanın içindeki ısı transferi, gıdanın ısıl iletkenliğine bağlıdır, dolayısı ile kuruma hızına etki etmektedir. Tuz, şeker vb. çözünmüş maddeleri yüksek oranda içeren gıdalarda suyun buhar basıncı daha düşük olduğundan kurutma daha zor ya da daha uzun süreli olacaktır.

Benzer şekilde, ortamda yağ bulunması da kuruma hızını olumsuz olarak etkileyen bir faktördür. Yağ damlacıkları su moleküllerinin etrafını çevrelediğinden suyun buharlaşarak uzaklaşması zorlaşacaktır [17], [18].

Diğer taraftan gıdaların içerdiği suyun gıdaya bağlanma şekli, suyun uzaklaştırılmasına etki ettiği için kuruma hızına etki eden diğer bir faktördür. Meyve ve sebzelerde su hem hücre içinde hem de hücreler arasında bulunur. Ön işlem olarak haşlama yapılan gıdalarda, geçirgenlik çok hızlı olduğundan bu ürünler daha hızlı kururlar [17].

Gıdanın kurumasını etkileyen diğer bir parametre de kurutulacak gıdanın birim yüzey alanıdır. Gıdanın yüzey alanı ısı ve kütle transfer hızını etkiler. Daha geniş yüzey alanına sahip gıdalar, daha geniş bir yüzeyde ısı transferi sağladığı için daha hızlı kurumaktadır. Dolayısı ile yüzey alanını arttırmak için, gıda küçük parçalara ya da ince dilimlere bölünmelidir [18].

2.3.4 Kurutma Havasının Hızı

Gıdaların kurutulmasını etkileyen parametrelerden biri de kurutma havasının hızıdır. Özellikle düşük hava hızlarında gıdanın yüzeyinden absorplanan nem, kurutma havasının kısa zamanda doygun hale gelmesine neden olur ve hava debisi düşük olduğundan doygun halde olmayan kurutma havası ile yer değiştirmesi zaman alır ve böylece gıdanın kurutulması uzun sürede gerçekleşir. Ancak, yüksek kurutma havası hızlarında, doygun havanın, hava dolaşımı sayesinde doygun halde olmayan kurutma havası ile yer değiştirmesi daha çabuk olacaktır [19].

2.4 Kurutma Sırasında Meydana Gelen Değişimler

Kurutma sırasında meydana gelen kimyasal, biyokimyasal ve fiziksel değişimler ile biyolojik bir malzemenin kurutma sonrası kalitesi belirlenebilmektedir. Kurutma sırasında, oluşan kimyasal ve fiziksel değişimler gıdalarda; kalite kaybına, besin değerinin düşmesine ve tüketiciler tarafından kötü olarak değerlendirilmesine neden olmaktadır [19], [20]. Gıdaların hepsinde bozunma olmasıyla birlikte bozunma miktarı; gıdanın tipine, içeriğine, depolanması sırasındaki ortama ve kurutma işlemi şartlarına göre değişmektedir [11], [19]. Gıdaların kurutulması sırasında meydana gelen değişimler aşağıda özetlenmiştir [11].

a) Fiziksel Değişimler

a.1) Rehidratasyon ve Büzülme

Gıdanın kurutulurken kaybettiği suyu geri kazanması için belirli bir sıcaklıktaki suyun içinde tutulması işlemi rehidratasyon olarak tanımlanmaktadır. Gıdaların kurutulmaları sırasında yapılarında ve dokularında pek çok değişim olduğundan dolayı, rehidratasyon sonucunda geri kazandığı su miktarı ile kaybetmiş olduğu su miktarı farklıdır. Gıdanın geri kazandığı su miktarı "Rehidratasyon Kapasitesi" olarak adlandırılır. Rehidratasyon kapasitesi; gıdanın nem içeriğine, hücresel ve dokusal bozunma miktarına, kurutma ortamının cinsine ve sıcaklığına bağlı olarak değişmektedir [20], [21].

Büzülme, kurutulan gıdanın yüzeyinin daralmasına ve sert bir hal alarak su geçişinin kısıtlanmasını sağlayan bir faktördür. Sebze ve meyveler gibi lifli yapıların kurutulması sırasında, kurutmanın ilk aşamalarında büzülmeler meydana gelir. Kurutma işlemi birçok gıdada yüksek sıcaklıklarda gerçekleştirildiği için, gıdadan uzaklaşan su miktarı artacağından büzülme miktarı da artacaktır [23], [24].

Gıdanın nem oranı yüksek bir hava ile kurutulması ya da düşük sıcaklıkta hava ile kurutulması ile büzülmenin etkisi azaltılmaktadır. Ayrıca; literatürde, gıdaların mikrodalga ile kurutulduklarında diğer yöntemlere kıyasla daha az büzüşme gösterdikleri belirtilmiştir [25].

a.2) Dokusal Değişimler

Kurutma sonucunda gıdalarda oluşan dokusal değişimler; selüloz kristalizasyonu, pektinin bozunması ve nişastanın jelatinleşmesi gibi kimyasal değişimler sonucu meydana gelmektedir. Dokusal değişimler, gıdanın nem içeriğine, gıdanın boyutlarına, gıdanın besin içeriğine, ortamın pH'ına, kurutma ortamı ve sıcaklığına bağlıdır. Dokudaki değişimler, sıcaklık ve kurutma hızı arttıkça artmaktadır [26].

b) Kimyasal Değişimler

b.1) Esmerleşme Reaksiyonları

Gıdanın besin değerlerinin, tadının, renginin ve görünümünün değişmesine neden olan işlenmesi sırasında ve saklama aşamasında meydana gelen değişimler; esmerleşme reaksiyonları olarak tanımlanır. Esmerleşme reaksiyonlarının oluşması; kurutma sırasında gıdanın kalitesinin azalmasına neden olduğu, rengini, kokusunu ve tadını

olumsuz yönde etkilediği için genelde istenmeyen bir özelliktir [27]. Kuruma hızına, nem içeriğine, kurutma süresine, sıcaklığa ve gıdanın bileşimine bağlı olan esmerleşme reaksiyonları; enzimlerin efektif olmadığı durumlarda gerçekleşir. Enzimatik olmayan esmerleşme reaksiyonları "Maillard reaksiyonları" ve "Karamelizasyon reaksiyonları" olmak üzere ikiye ayrılır [28], [29].

Maillard Reaksiyonları: Maillard reaksiyonlarında, glikoz ve glisin içeren gıdalar yüksek sıcaklarda işlem gördüğünde kahverengi bir renge sahip melanoidlere dönüşmektedir. Bu reaksiyonlar gıdanın rengini, dokusunu, kokusunu ve tadını etkilemektedir [30], [31], [32].

Karamelizasyon Reaksiyonları: Karamelizasyon reaksiyonları, aminoasit veya proteinin olmadığı anhidrit ortamlarda gıdanın yüksek sıcaklıklarda işlem görmesi sonucunda meydana gelmektedir. Gıdanın yapısında bulunan şeker, gıdanın kurutulması sırasında erime noktasının üzerine çıkarak karamelize olur [28].

b.2) Renk Değişimleri

Gıdanın rengi, içerdiği pigment olarak tanımlanan maddelerden kaynaklanır ve ürünün tüketici tarafından kabul edilebilirliği, işlenmesi ve görünümü üzerinde önemli rol oynayan bir kalite parametresidir. Gıdaların kurutulması sırasında renk değişimi gıdanın içeriğindeki pigmentlerin bozunması (özellikle karoten ve klorofil) ve kahverengileşme reaksiyonlardan meydana gelmektedir. Renk değişimi karoten pigmentlerinin bozunarak okside olması sonucunda gerçekleşir. Uzun kurutma zamanları ve yüksek sıcaklıklar gıdanın renginin daha çok değişmesine neden olur. Gıdanın renk değişimini engellemek için gıdanın türüne bağlı olarak sülfürleme ya da askorbik asit ile ön işleme tabi tutulur [33], [34].

b.3) Lipid Oksidasyonu

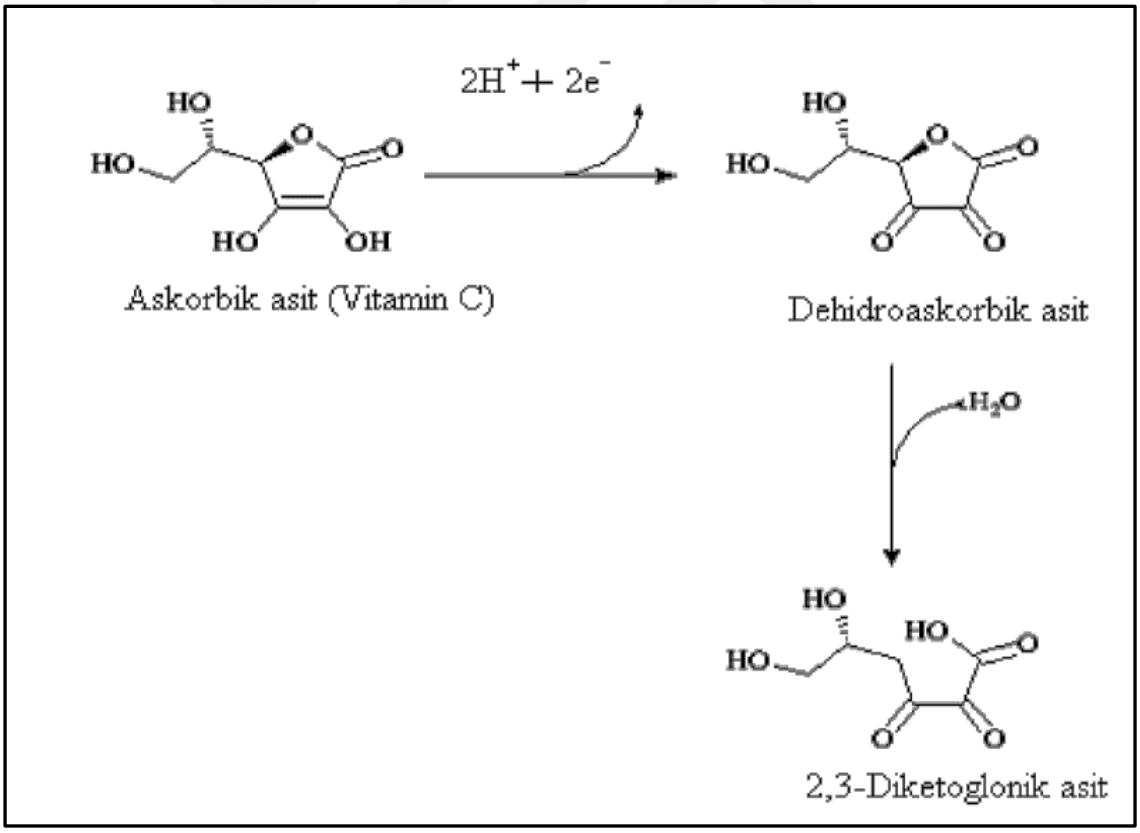
Oksijenli ortamda serbest radikallerin katalizörlüğünü yapan metallerin varlığında meydana gelen Lipid oksidasyonu, gıdada acılaşma ve arzu edilmeyen tat değişimlerinden sorumludur. Kurutulmuş gıdalarda bayatlama, kötü koku oluşumu, yağda çözünebilen vitaminlerin kaybına neden olmaktadır. Oksidasyon hızını etkileyen temel faktörler; kurutulan gıdanın nem içeriği, kurutma ortamında bulunan oksijen miktarı, sıcaklık, metal iyonlarının ve antioksidanların varlığı ve protein içeriği olarak

sıralanabilir. Lipid oksidasyonunun engellenmesi için gıdaların kurutulması ve depolanması sırasında ortamdaki oksijen miktarının düşürülmesi gerekmektedir [28].

c) Biyokimyasal Değişimler

c.1) Vitamin Kayıpları

Gıdaların kurutulmasıyla özellikle gıdaların yapılarında bulunan yağda çözünebilen vitaminlerin (A, D, E ve K) ve suda çözünebilen vitaminlerin (B ve C) kurutma işlemi sırasında meydana gelen oksidasyon ürünleri ile reaksiyonları sonucunda vitamin miktarında azalma görülmektedir. Örneğin; gıdaların kurutulması sırasında askorbik asidin bozunması ile meydana gelen kimyasal değişimler Şekil 2.3'te gösterilmiştir [35]. Vitamin kayıplarının azaltılabilmesi için gıdaların kuruma süresi kısa tutulmalı ve depolanmaları sırasındaki sıcaklık, nem miktarı ve oksijen düzeyi düşük değerlerde tutulmalıdır [35], [36].



Şekil 2.3 Gıdaların kurutulması sırasında meydana gelen askorbik asit oksidasyonu [35]

c.2) Protein Kayıpları

Proteinler, kurutma sırasında uygulanan kurutma yönteminden olduğu kadar, bu esnada meydana gelen fiziksel ve kimyasal değişimlerden de etkilenir. Gıdalarda bulunan su içeriğinin azaltılması ile proteinlerin stabiliteleri artmaktadır. Dolayısı ile gıdaların kurutulması sırasında, proteinlerin biyolojik değeri ve sindirim özelliği kaybolmamaktadır [36].

c.3) Mikroorganizma İnaktivasyonu

Depolama sırasında kurutulmamış ürünlerde yüksek oranda mikroorganizmaların varlığı ürünlerin raf ömrünü sınırlamaktadır. Mikroorganizmaların mikrobiyal büyümelerine bağlı olarak oluşan fiziksel ve kimyasal süreçler gıdanın kalitesini bozabilmektedir. Kurutma işlemi sonrasında gıdada mikrobiyal hayatın sürdürülmesi için gerekli su bulunmadığından mikroorganizmaların aktiviteleri sonlanmaktadır [19].

BÖLÜM 3

ENDÜSTRİYEL KURUTMA SİSTEMLERİ

3.1 Endüstriyel Kurutucuların Sınıflandırılması

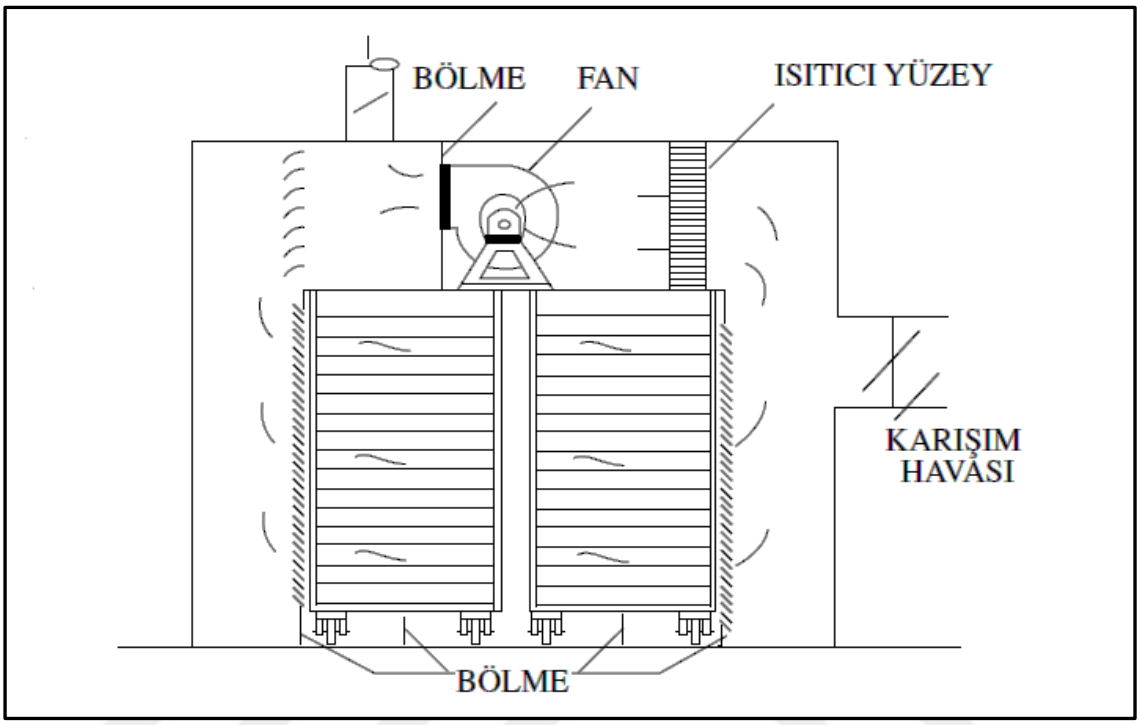
Gıda endüstrisinde kurutucuların kullanımı yaygın olmakla birlikte, oldukça fazla sayıda kurutucu tipi bulunmaktadır. Endüstride yaklaşık olarak 200'e yakın kurutucu kullanılmasına rağmen, gıda endüstrisinde yaklaşık 20 kadarı kurutma için elverişlidir [26]. Kurutucular ısı transferi tipine göre ve operasyon cinsine göre (kesikli, sürekli) sınıflandırılabilmektedir. Gıda endüstrisinde farklı ihtiyaçlara göre kullanılan kurutucu çeşitleri aşağıda sıralanmıştır [38]:

- Kabin kurutucular
- Tünel kurutucular
- Püskürtmeli kurutucular
- Döner kurutucular
- Mikrodalga kurutucular
- Dondurarak kurutan kurutucular
- Flaş kurutucular
- Akışkan yataklı kurutucular

3.1.1 Kabin Kurutucular

Kabin kurutucular, hassas malzemelerin düşük sıcaklıklarda kurutulması için tasarlanmıştır. Isıtılan tavanlı sistemler, zorlanmış taşınımlı ve özel olarak tasarlanmış bölmeli sistemler gibi birçok modeli bulunmaktadır [39], [40]. Kabin kurutucularda

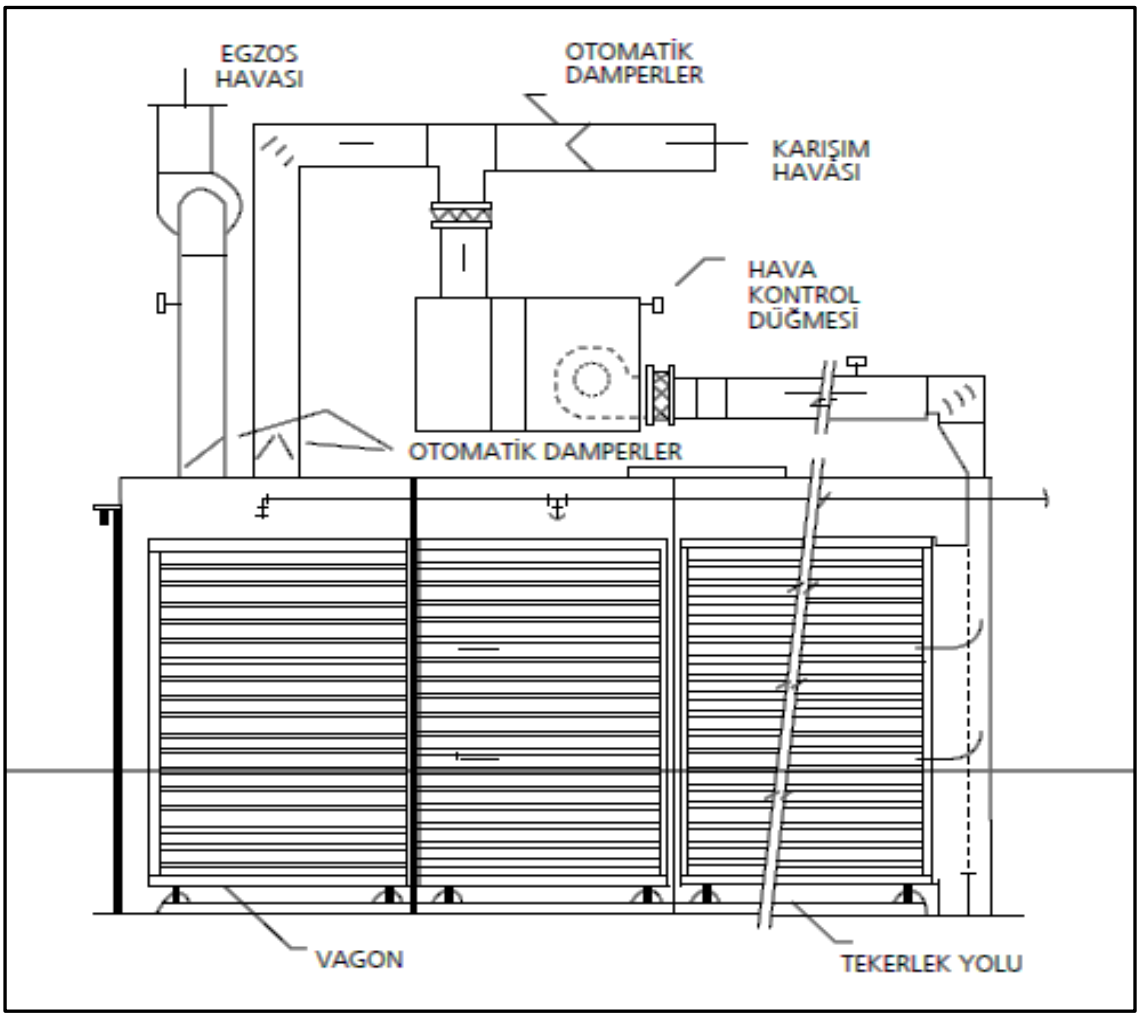
kurutma işlemi, kurutulacak maddenin kurutma havası ile temas yüzeyini arttırmak için tepsilere yerleştirilerek yapılır. Sabit yatırımı az ve çalıştırılması kolay olan kabin kurutucuların bir örneği Şekil 3.1'de verilmiştir [39].



Şekil 3.1 Kabin kurutucu [39]

3.1.2 Tünel Kurutucular

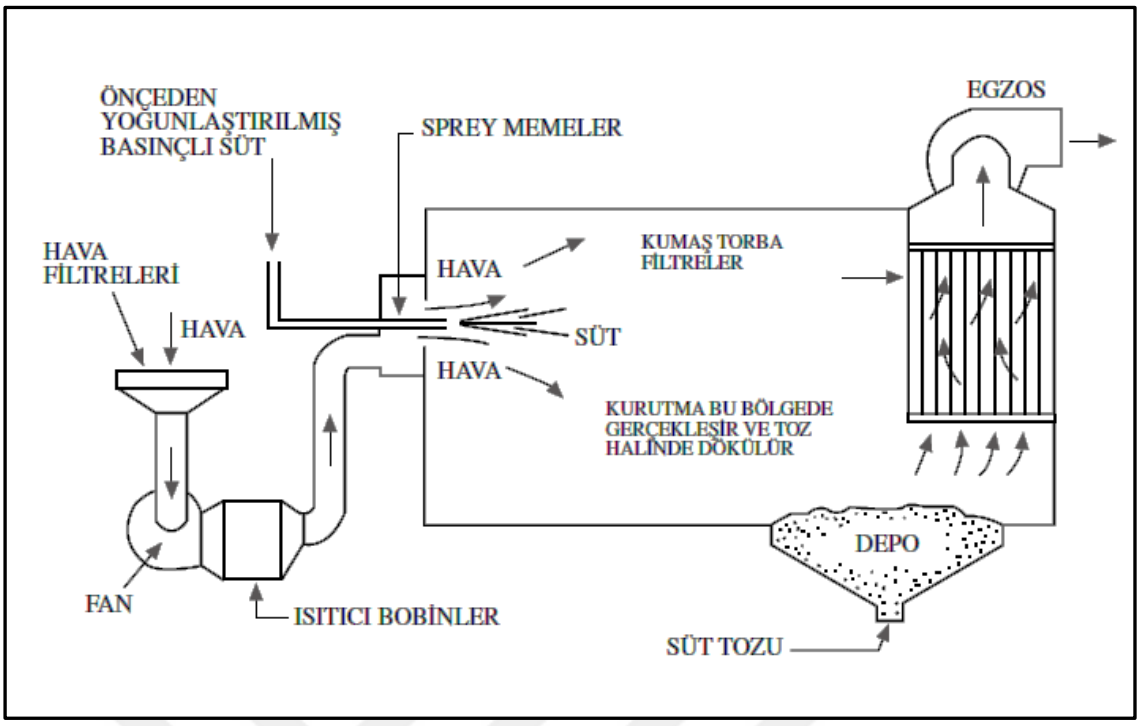
Tünel kurutucular, sürekli veya yarı-sürekli çalışan yeniden tasarlanmış bölmeli kurutuculardır. Bu tip kurutucular, kurutulacak maddenin miktarı fazla olması, genel özelliklerinin homojen ve su miktarının homojen olması durumunda kullanılırlar [39], [40]. Isıtılmış hava kurutucunun içerisinde fanlar yardımıyla dolaştırılır. Kurutulacak maddeler, tünel içerisinde sürekli veya periyodik olarak tepsiler, arabalar veya bölmeler içerisinde hareket ettirilir. Hava; tepsi yüzeyi boyunca, dikey olarak yatak boyunca veya herhangi bir doğrultuda akmaktadır (Şekil 3.2) [39].



Şekil 3.2 Tünel tipi kurutucu [39]

3.1.3 Püskürtmeli Kurutucular

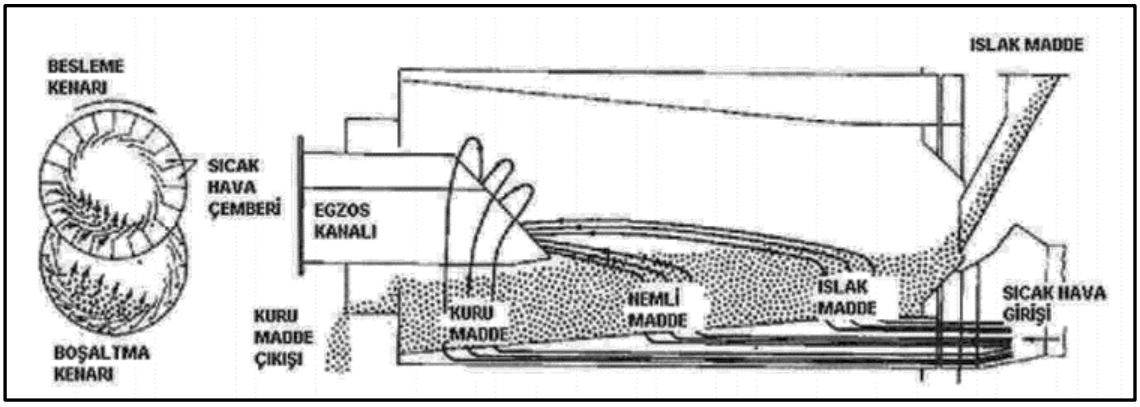
Püskürterek kurutma, sıvı veya çamur kıvamında olan maddelerin kurutulmasında kullanılan gelişmiş yöntemlerden biridir. Püskürtmeli kurutucular; gıda sanayinde süt, peynir altı suyu, laktoz, yumurta vb. ürünlerin kurtulması; süt tozu, kahve, dondurma karışımları, bebek mamaları vb. üretiminde kullanılır. Püskürtmeli kurutucularda sıvı haldeki maddeler sisteme püskürtülür ve damlacıklar halinde sıcak hava akımı ile temas eder, bu temas sonrasında kuruyan madde toz haline gelir. Bu tip kurutmada temel ilke, kurutulacak olan maddenin atomize edilmesi ile çok geniş bir yüzey kazandırılması ve böylece sıcak hava içinde hızlı bir kurumanın sağlanmasıdır [41]. En önemli avantajları kurutma süresinin kısa olması ve son sıcaklık değerlerinin düşük olmasıdır. Bundan dolayı, sıcaklığa duyarlı ürünler püskürtmeli kurutucularda kurutulabilir. Şekil 3.3'te süt tozu üretiminde kullanılan bir püskürtmeli kurutucu verilmiştir [39].



Şekil 3.3 Püskürtmeli kurutucu sistemi [39]

3.1.4 Döner Kurutucular

Döner kurutucularda, gıda maddesi bir silindir içerinde kurutulur. Kurutulacak madde, silindir içerisinde ilerlerken gönderilen sıcak hava ve ısıtılan silindir duvarlarından iletim yolu ile ısıtma gerçekleştirilir. Kurutucuların bazılarında silindir dönerken bazılarında ise sabit silindir olup dönen paletler yardımıyla kurutulacak olan madde silindir boyunca taşınır (Şekil 3.4) [39]. Kurutma tamamlanınca, kuruyan madde yüzeyden sıyrılarak alınır.



Şekil 3.4 Döner kurutucu [39]

3.1.5 Mikrodalga Kurutucular

Mikrodalga; 0.3-300 GHz frekans aralığındaki elektromanyetik dalgalar olarak tanımlanır. Belirli bir nem içeriğine sahip olan gıda maddesi mikrodalga enerjisine maruz kaldığında, hızlı bir şekilde değişen elektrik alanıyla beraber su gibi dipol molekülleri sıraya sokma eğilimi gösterir. Sonuçta, moleküller arasındaki sürtünmeyle ısı açığa çıkar ve bu ısı komşu moleküllere iletilir. Mikrodalga kullanılarak ısıtılan madde içerisinde bulunan serbest nem hızla buharlaşır; taşınımla kurutma ile karşılaştırıldığı zaman uzaklaştırılan nem oranı daha yüksektir [42], [43].

3.1.6 Dondurarak Kurutan Kurutucular

Dondurarak kurutan kurutuculardа, donmuş halde bulunan su süblimleşme yolu ile doğrudan buhar haline geçer. Dondurarak kurutma yöntemi aşılar, bakteri ve virüs kültürleri gibi eczacılık ürünleri, sebzeler ve meyveler, meyve suları, kahve ve çay esansları, deniz ürünleri, et ve süt gibi gıda ürünleri için kullanılır. Bu yöntemin en önemli avantajı, kurutma işlemi sırasında, ürünün yüksek sıcaklıklara maruz kalmamasıdır. Bu özelliğinden dolayı ısıya duyarlı maddeler için uygun olan bu yöntemin pahalı ve yavaş olması ise dezavantajlarıdır [39], [44], [45].

3.1.7 Flaş Kurutucular

Flaş kurutucular; pigment (boya maddesi), sentetik reçine, alçıtaşı, kil ve tahta kurutulması uygulamalarında kullanılmaktadır. Bu tip kurutuculardа, uniform şekilde bölünmüş katı parçacıklar, sıcak gaz akımı içerisine yayılarak hızlı ve düzgün bir şekilde kurutulabilir [39].

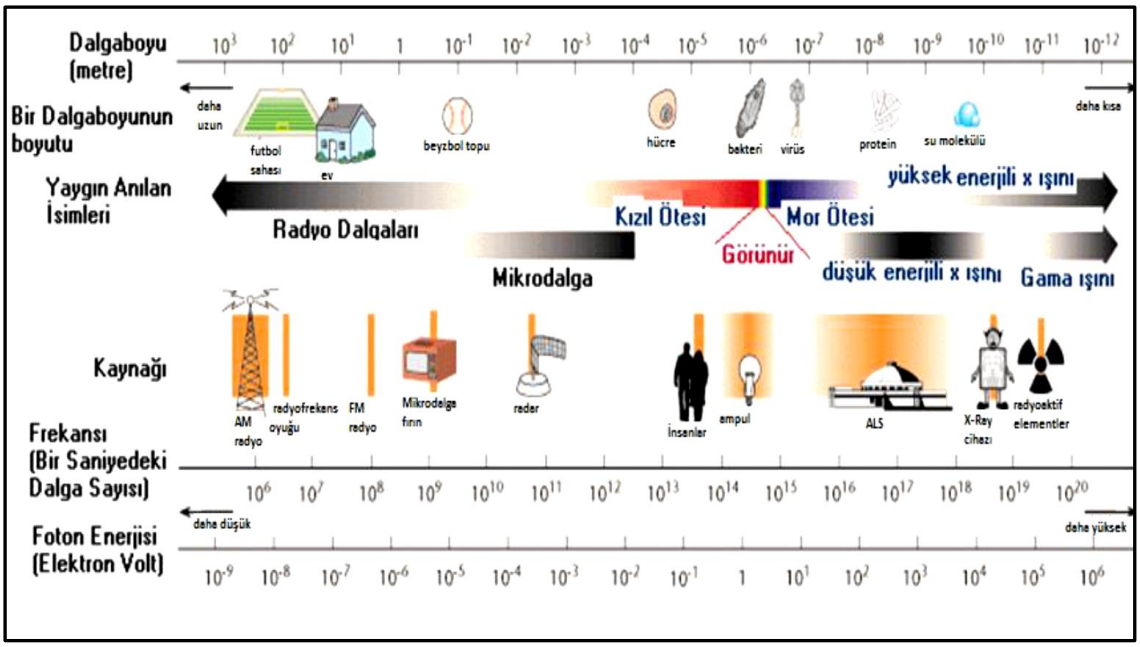
3.1.8 Akışkan Yataklı Kurutucular

Akışkan yataklı kurutuculardа, kurutulmak istenen katı maddeler aşağıdan yukarıya doğru ilerleyen sıcak hava akımı içerisinde, asılı bir biçimde tutulurlar. Sıcak hava ile kurutulması istenen gıda maddesine olan ısı transferi taşınım ile gerçekleşir. Bu tip kurutucular, hassas malzemelerin yüksek sıcaklık farklarından etkilenmeden kurutulmasını sağlar [39], [46].

BÖLÜM 4

MİKRODALGA ve GIDA ENDÜSTRİSİNDE KULLANIMI

Mikrodalga enerjisi, dalga boyu 1 mm-1 m ve 0.3-300 GHz frekans aralığındaki iyonize olmamış elektromanyetik dalgalar olarak tanımlanır (Şekil 4.1) [47]. Mikrodalga teknolojisi, dielektrik ısıtma uygulamaları ve onu takiben düşük radyo frekans dalgalarının bulunmasının ardından ortaya çıkmıştır. İlk çalışmalar 2. Dünya Savaşı zamanında başlamış, ticari ve evsel kullanımlı mikrodalga fırınlar üretilmiştir. 1960'lı yıllarda bilimsel ve endüstriyel uygulamalarda kullanılması ile birlikte mikrodalga güç kaynakları aranan bir pazar halini almıştır [42], [48].



Şekil 4.1 Elektromanyetik dalga spektrumu [47]

4.1 Mikrodalganın Tarihçesi

Mikrodalga uygulamaları özellikle askeri ekipmanların üretimi ve dizaynı üzerine çabaların yoğun olduğu 2. Dünya Savaşı sırasında başlamış ve sonrasında gelişmiştir. İngiltere'de Sir John Randall ve Dr. H. A. Boot tarafından mikrodalga enerjisini üreten ilk elektrik tüpleri 1940 yılında icat edilmiştir [42], [49].

Elektrik tüplerinin icatından sonra Raytheon Şirketi adına radar parçaları üreten Amerikalı bir mühendis, mikrodalga teknolojisinin gıda sektöründe kullanılabileceğini tesadüf ile mikrodalga laboratuvarına giderken yanında götürdüğü çikolatayı laboratuvardaki bir aygıtın yanına bıraktığında kendiliğinden eridiğini gördüğünde keşfetmiştir [50]. Raytheon tarafından ilk mikrodalga fırın sanayi mutfakları için tasarlanmış olup pişirdiklerini yakmaması için sürekli dik tutulması gereken 340 kg ağırlığında bir fırındır. Ev tipi mikrodalga fırın ise ilk olarak 1952 yılında üretilmiştir [42].

İlk mikrodalga uygulamaları gıda sanayisinde yapılmış olmasına karşın, günümüzde mikrodalga yaygın bir kullanım alanına sahip olmakta ve diğer ısısal işlemlerin yerini alacak potansiyel göstermektedir. Örneğin; gıda, kâğıt, inşaat malzemeleri, metalürji sanayi, çevre ile ilgili radyoaktif atık ve hastane artıklarının zararsız hale getirilmesinde kullanım ve uygulama alanı bulmuştur [41]. Mikrodalga teknolojisi gıdaları işlemede kullanılan en bilinen yöntemlerden biri olmuştur.

4.2 Mikrodalga Kurutucuların İşleyiş Mekanizması

Bir materyalin mikrodalga ile ısıtılması, uygulanan elektrik alan şiddetinin bir sonucu olarak iyonik bileşenlerin hareketi ya da moleküllerin polarizasyon-depolarizasyon mekanizması ile gerçekleşmektedir. Hacimsel ısıtma, mikrodalga ile ısıtmanın en önemli özelliğidir. Mikrodalganın materyalin içine penetrasyonu ile sağlanan kısa başlangıç süresi ve iç ısınma, randımanı arttırmakta ve proses süresini kısaltmaktadır. Bu özellikler mikrodalgayı ilgi çekici bir ısı enerjisi kaynağı yapmaktadır [51].

4.3 Mikrodalga Tekniği İle Kurutmaya Etki Eden Parametreler

4.3.1 Kurutulan Gıdanın Miktarı

Genel olarak kurutulan gıdanın miktarı arttıkça, uzaklaştırılması gereken suyun miktarı ve buna bağlı olarak uzaklaştırmak için gereken enerji miktarı da arttığından kurutma süresi uzamaktadır [43], [52].

4.3.2 Gıdanın Su İçeriği

Su genellikle mikrodalga enerjinin absorblanmasında önemli bir etkendir. Yüksek su içeriği, gıdanın yüksek dielektrik kayıp faktörüne sahip olmasını ve dolayısıyla da daha iyi ısınmasını sağlar. Ancak, düşük su içeren gıdalar da mikrodalga ortamında işlenebilmektedirler. Bu işlem spesifik ısıdaki azalma sayesinde olmaktadır. Mikrodalga ısıtma sırasında materyalin kurumasıyla daha nemli bölgelerin mikrodalga enerjiyi absorblamaları daha kolay olmaktadır. Bu olay, özellikle kurutma işleminde önemli bir avantajdır. Genel olarak, gıdanın nem içeriği yüksek ise dielektrik sabiti yüksek olur. Dielektrik kayıp faktörü, nem içeriği %20-30 oluncaya kadar artış gösterir ve bazı durumlarda bu nem içeriğinden sonra azalma olabilir. Karışımın dielektrik sabiti, karışımı oluşturan bileşenlerin dielektrik sabitleri arasında yer almaktadır [52].

4.3.3 Isı Transferi

Kurutma prosesinin en önemli ve en etkili faktörüdür. Kurutma prosesindeki ısı transferi birçok parametreye bağlıdır. Bu parametreler aşağıda sıralanmıştır [53]:

- Isıtma ortamı ile sıvı yüzeyi arasındaki ısı transferi,
- Ürünün katı tabakalarından ürün içinde bulunan sıvıya gerçekleşen ısı transferi,
- Isıtma ortamından yaklaşık olarak kurumuş olan ürüne olan ısı transferi,
- Ürün içinde bulunan sıvının (gıdalar için çoğunlukla su) ısıl iletkenlik katsayısı ve gizli ısı kapasitesi,
- Nemli ürünün veya yaklaşık olarak kurumuş ürünün ısıl iletkenlik katsayısı,
- Kurutulacak ürünün sıcaklığa bağlı sıvılaştırılabilme özelliği.

4.3.4 Mikrodalga Çıkış Gücü

Mikrodalganın çıkış gücü arttıkça aktarılan enerji ve buna bağlı olarak ısı transferi arttığı için işlem süresi kısalmaktadır [52].

4.4 Mikrodalga Fırının Bileşenleri

Mikrodalga fırının ana bileşenleri aşağıda sıralanmıştır [54]:

- Güç Ünitesi
- Magnetron
- Dalga Kılavuzu
- Aplikatör
- Karıştırıcı fan

Güç Ünitesi: Şebekeden gelen elektriğin magnetronların ihtiyaç duyduğu yüksek voltaja farklı şekilde dönüştüren bir cihazdır [55].

Magnetron: Mikrodalga fırının magnetronu, pozitif ve negatif kutupların sürekli olarak hızlı bir şekilde yön değiştirdiği elektromanyetik bir alan oluşturur. Malzemeye iletilen elektromanyetik enerji dipolar moleküller, tuzların pozitif ve negatif iyonları ile etkileşime girer. Magnetron, 60 Hz'lik elektriksel gerilimi 2450 MHz frekansa çeviren bir cihazdır [56].

Dalga Kılavuzu: Elektromanyetik dalgalar aplikatore koaksiyel kablo gibi iletim hatları veya dalga kılavuzları ile iletilirler. Yüksek frekanslarda koaksiyel kabloya nazaran dalga kılavuzlarında daha düşük kayıp olduğundan, mikrodalga uygulamalarında tercih edilirler. Temel olarak dalga kılavuzları içi boş iletken, dikdörtgen veya silindir şeklindeki yapılardır [54].

Aplikatör: Aplikatör malzemeye mikrodalgaların uygulandığı bölümdür. Kontrol sistemi ise sistemdeki bazı parametreleri ölçerek ve otomatik ayarlamalar yaparak mikrodalga kurutma sisteminin performansını geliştiren birimdir [54].

Karıştırıcı Fan: Karıştırıcı fan, mikrodalga enerjisini, fırının içine dağıtmak için kullanılan bir fandır. Daha eşit bir dağılım sağlamak için dalgaları dağıtırlar [54].

4.5 Mikrodalga Tekniği ile Kurutmanın Avantajları ve Dezavantajları

Yaygın olarak kullanılan güneşte kurutma; kontaminasyon problemleri, düşük ısı ve kütle transferi sağlaması, uzun süreli kurutma zamanları, kurutulmuş gıdanın kalitesinin düşük olması ve yüksek enerji sarfiyatı nedeniyle endüstriyel boyutta tercih edilmeyen kurutma sistemlerdir. Bu açıdan, mikrodalga ile kurutma alternatif kurutma yöntemi olarak gelişmiş ve yaygınlaşmıştır [57], [58].

Mikrodalga ile kurutmanın avantajları aşağıda sıralanmıştır [43], [59], [60];

1. Mikrodalga ile kurutmanın en önemli özelliği ısı üretiminin moleküler düzeyde başlaması ve bu sayede hem zamandan hem de enerjiden çok büyük oranda tasarruf sağlamasıdır.
2. Mikrodalga ile kurutma kapalı bir kabinin içinde gerçekleştirildiğinden güneşte kurutmaya göre daha temiz ve steril son ürün eldesini sağlar.
3. Mikrodalga fırınlar, geleneksel sistemlere göre daha az yer kaplar, kullanımı ve bakımı kolaydır.
4. Isıtma çevrimi hızlı olduğundan gıda maddelerinin depolamasında çok fazla depo alanı gerekmez.
5. Gıdaların kurutulması sırasında meydana gelen büzüşmeler daha azdır.
6. Mikrodalga kurutma yöntemi, istenen sonuca ulaşılabilmesi için diğer ısı transfer kaynaklarıyla kombine olarak kullanılabilir.
7. Mikrodalga kurutmada, gıdayı çevreleyen hava ve fırın ısınmadığından ısıtma daha etkindir, zaman ve enerji kaybı olmamaktadır.
8. Mikrodalga enerjisinin ısıya dönüşüm verimi oldukça yüksektir. Geleneksel kurutucularda %7-14 arası değişen ısı verimi mikrodalga fırınlarda %40'a kadar çıkmaktadır.
9. Mikrodalga fırınlar içten ısıtma sağladığı için, sıcaklık dağılımı daha uniform gerçekleşebilir ve bu sayede yüzeyin aşırı ısınması engellenir.

Mikrodalga ile gıdaların kurutulmasının dezavantajları aşağıda sıralanmıştır [43], [59], [60];

1. Sabit yatırım masrafları yüksektir; magnetronlar geleneksel ısıtma elemanlarına göre pahalıdır, bu yüzden sanayide kullanımı yavaş gelişmektedir.
2. Mikrodalgaların absorblanması elektromanyetik özelliklere bağlı olduğundan, çok bileşenli gıdalarda sıcaklık profili büyük oranda farklı olabilir. Ürün karakteristikleri, şekil ve boyuta bağlı olarak düzensiz pişme meydana gelebilir.
3. Keskin köse ve ince tabakalı gıdalarda, aşırı pişme ortaya çıkar ve geniş parçalı gıda maddelerinin merkezinde pişme tam gerçekleşmeyebilir.
4. İnsan sağlığı açısından radyasyon sızıntısının önlenmesi gerektiğinden tamamen kapalı bir sistem olması zorunludur.
5. Mikrodalga fırınlar, geleneksel fırınlara göre farklı emniyet tedbirleri gerektirir.
6. Kullanılan kapların, ambalaj malzemelerinin mikrodalga ortamında bozunmadan kullanımına uygun olması gerekmektedir.

4.6 Mikrodalga Cihaz Kullanımında Güvenlik Standardı

Mikrodalga cihaz ile çalışan bir kişinin maruz kalabileceği veya vücudu tarafından emilebilecek maksimum miktar 0.4 (W/kg) değeridir. Mikrodalga cihazından çevreye olabilecek sızıntı miktarı ise sızıntının olduğu noktadan 5 cm uzakta maksimum 5 (mW/cm^2) olarak yasal olarak sınırlandırılmıştır [6], [53].

BÖLÜM 5

DUT YAPRAKLARI HAKKINDA GENEL BİLGİ

5.1 Dut Meyvesi

Dut, dutgiller (*Moraceae*) familyasından Morus cinsini oluşturan ağaç türlerine verilen addır. Vatanı Çin ve Uzakdoğu'dur. Orta Avrupa, Akdeniz, İran ve Anadolu'da sıcak ılıman iklimlerde yetişmektedir. Ülkemizde meyvesinden yararlanılan ve yaygın olarak yetiştirilen dut türleri *Morus alba* (beyaz dut), *Morus nigra* (karadut) ve *Morus rubra* (kırmızı veya mor dut) olmakla birlikte daha onlarca türü bulunmaktadır [61].

5.2 Türkiye'de Dut Üretimi

Dut iklim ve toprak koşulları bakımından çok seçici olmadığından ülkemizin hemen hemen her ilinde rahatlıkla yetiştirilebilmektedir. 2018 Türkiye İstatistik Kurumu (TÜİK) verilerine göre dut üretiminin en yoğun olduğu iller; Malatya, Diyarbakır, Elazığ, Erzurum, Erzincan'dır. Malatya ili 8075 tonluk üretim ve % 12.11'lik üretim payı ile ülkemiz dut üretiminde ilk sırada yer alır. Malatya ilini, 5605 ton'luk üretim ve % 8.41'lik üretim payı ile Diyarbakır, 5248 ton'luk üretim ve % 7.87'lik üretim payı ile Elazığ ili izlemektedir [62].

Türkiye'de üretilen dutun çeşit olarak oransal dağılımına bakıldığında beyaz dutun % 97, karadut ve kırmızı dutun ise % 3'lük paya sahip olduğu görülür. Üretilen dut meyvelerinin % 70'i pekmez üretiminde, % 10'u köme üretiminde, % 3'ü pestil üretiminde, % 4 kuru dut ve % 5'i de sofralık olarak ve kalan % 8'lik oranı ise diğer üretim kollarında değerlendirilmektedir [61].

5.3 Dut Yaprağı Hakkında Genel Bilgi

Taze bir beyaz dut (*Morus alba*) yaprağı yaklaşık % 71.13-76.68 aralığında su içermektedir ve enerji değeri 69-86 kcal/100 g olarak hesaplanmıştır. Bunula birlikte % 4.72 - % 9.96 ham protein, % 4.26-5.32 toplam mineral, %0.64-1.51 ham yağ ve %8.01-13.42 karbonhidrat içeriği bulunmaktadır. Vitamin açısından ise 160-280mg/100g Vitamin C ve 10-14.7 mg/100g β-karoten içermektedir. Demir, çinko ve kalsiyum mineralleri ise sırasıyla 4.70-10.36 mg/100g, 0.22-1.12 mg/100g ve 380-786 mg/100g olarak hesaplanmıştır [64]. Birçok alanda kullanılan dut yaprakları, özellikle İpekböceği yetiştiriciliğinde önemli rol oynamaktadır. Çünkü ipek böcekleri sadece dut yaprağı ile beslenmektedirler [61].

Dut yaprağının özellikle baş ağrısı, boğaz ağrısı, öksürük semptomlarını azalttığı, kalp, karaciğer ve egzama hastalıklarına iyi geldiği ve aynı zamanda akciğeri koruma, ürenin atılmasında yardımcı rol oynama ve kan basıncını düşürücü etki oluşturma gibi faydaları olduğu bulunmuştur. Öte yandan yüksek oranda protein içerdiğinden hayvan besiciliğinde mükemmel bir besin kaynağıdır. Bune ek olarak dut yaprağının yaklaşık 3mg/g yaprak olarak içerdiği 1-deoxynojirimycin maddesi kanın şeker dengesinde önemli bir rol oynamaktadır [63].

BÖLÜM 6

GIDALARIN KURUTULMASINA İLİŞKİN LİTERATÜR ARAŞTIRMASI

Gıdaların kurutularak saklanabilmesi, en başından bu yana gıda teknolojilerinin en önemli konularından biri olmuştur. Bu nedenle, yapılmış birçok çalışma mevcuttur. Fakat literatürde; şu ana kadar dut yapraklarının mikrodalga yöntemi ile kurutulmasına ilişkin yapılmış bir çalışmaya rastlanılamamıştır. Bu bölümde; konvansiyonel kurutucular veya mikrodalga tekniği ile gıdaların kurutulmasına ilişkin literatürde varolan çalışmalara yer verilmiştir ve Çizelge 6.1'de ise özetlenmiştir.

Altay vd. (2019) [65] tarafından yapılan çalışmada; mor fesleğen yaprakları güneşte, dondurarak, konvektif ve mikrodalga fırın ile kurutularak, farklı kurutma yöntemlerinin kurutma süresi, hızı ve kinetiği üzerine etkileri incelenmiştir. Ayrıca, kurutucuların enerji verimliliği hesaplanmıştır. Uygulanan tüm kurutma yöntemleri için azalan hızda kuruma periyodu gözlemlenmiştir. Nispeten mikrodalga kurutma yönteminde örneklerde daha yüksek kurutma oranları elde edilmiştir. Deneysel nem oranı verileri, 11 adet ince tabaka kurutma model denklemleri (Lewis, Page, Modified Page I, Henderson and Pabis, Modified Henderson and Pabis, Logarithmic, Midilli, Modified Midilli, Two-Term, Two-Term Exponential, Wang ve Singh) kullanılarak modellenmiştir. Mor fesleğen yapraklarının en yüksek R^2 ve en düşük RMSE değeri ile kurutma davranışını açıklamada en uygun model olarak; dondurarak kurutma için Henderson ve Pabis Modeli, güneş ile kurutma için Logaritmik Model, konvektif ve mikrodalga ile kurutma için ise Page Model denklemi bulunmuştur. Kurutulmuş mor fesleğen yapraklarının Efektif Difüzite Katsayısı değerleri (D_{eff}) Fick Difüzyon Modeli ile 1.62×10^{-9} - 7.09×10^{-8} m^2/s aralığında hesaplanmıştır. Mikrodalga ile kurutmanın enerji verimi diğer yöntemlere göre daha yüksek bulunmuştur.

Jebri vd. (2019) [66] tarafından yapılan çalışmada; ada çayı yapraklarının kurutma kinetiği ve biyokimyasal kalitesi incelenmiştir. Kurutma ve anti oksidanların ekstraksiyon çalışmaları yapılmıştır ve bu kapsamda ilk olarak desorpsiyon izotermlerinin belirlenmesi için dinamik buhar sorpsiyonu tekniği uygulanmıştır. Sıcak hava ve mikrodalga yöntemi olmak üzere iki farklı kurutma yöntemi uygulanmıştır ve birbiri ile karşılaştırılmıştır. Sıcak hava ile kurutmada 4 farklı sıcaklık (50, 60, 70 ve 80°C) ve 3 farklı hava hızı (0.5, 1 ve 1.42 m/s), mikrodalga ile kurutmada ise 4 farklı mikrodalga çıkış gücü (18, 368, 518 ve 618 W) kullanılmıştır. Bu parametrelerin ada çayı yapraklarının polifenol, flavanoid ve antioksidan kapasiteleri üzerine etkisi incelenmiştir. Ayrıca, kuruma kinetikleri incelenmiş ve Page model denklemi ile modelleme yapılmıştır. Sıcak hava ile kurutma yöntemine göre mikrodalga ile kurutma yönteminde daha üstün ürün kalitesi elde edilmiştir. Efektif Difüzivite Katsayısı değerleri, mikrodalga ile kurutma yönteminde 1.77 x 10^{-10} - 8.37 x 10^{-10} m^2/s aralığında, sıcak hava ile kurutma yönteminde ise 2.92 x 10^{-12} - 2.96 x 10^{-11} m^2/s aralığında hesaplanmıştır. Enerji aktivasyonu ise sıcak hava ile kurutmada 1054.85 J/mol, mikrodalga ile kurutmada ise 4.85 W/g olarak bulunmuştur.

Ali Elhussein ve Sahin (2018) [67] tarafından yapılan çalışmada; zeytin yaprakları mikrodalga kurutma, fırın kurutma ve vakumlu kurutma yöntemleri ile farklı sıcaklık değerlerinde kurutulmuştur. Kurutma davranışını ve süresini belirlemek için kullanılan 14 model denkleminin uygunluğu korelasyon katsayısı, stardart sapma ve ortalama karekök sapma değerlerine göre değerlendirilmiştir. Ayrıca, efektif difüzyon katsayısı ve aktivasyon enerjisi değerleri hesaplanmıştır. Kurutma yöntemlerinin, zeytin yapraklarının toplam fenolik, flavonoid ve oleuropein içerikleri ve serbest radikal temizleme aktivitesi üzerindeki etkileri incelenmiştir. Mikrodalga yönteminin, daha kaliteli bir ürün eldesi ile en düşük aktivasyon enerjisine sahip en hızlı kurutma yöntemi olduğu kanıtlanmıştır.

Demirhan vd. (2018) [68] tarafından yapılan çalışmada; çay yapraklarının mikrodalga ile kurutulması sonrasında kütle transferi parametreleri incelenmiştir. Mikrodalga çıkış gücünün ve numune miktarının nem oranı, kuruma zamanı ve Efektif Difüzivite Katsayısının üzerine etkisini belirlemek için çay yaprakları ev tipi mikrodalgada kurutulmuştur. Deneysel çalışmalarda 180-900 W aralığında 5 farklı mikrodalga çıkış gücü ve 20-100 g aralığında 5 farklı numune miktarı kullanılmıştır. Kuruma kinetiğinin

modellenmesi için kuruma verileri bazı ampirik ve yarı ampirik modeller kullanılmıştır. Uygulanan modeller içerisinden, Page model tüm kuruma şartları için diğer modellere göre daha iyi bir uyum göstermiştir. Efektif Difüzivite Katsayısı değerleri farklı mikrodalga çıkış güçleri ve numune ağırlıkları için hesaplanmıştır. Ayrıca, aktivasyon enerjisi Arrhenuis eşitliğinin temel alındığı üstel bir ifade kullanılarak hesaplanmıştır.

Hihat vd. (2017) [69] tarafından yapılan çalışmada; kişniş yapraklarının kurutulmasında iki tipte uygulanan fırın ve mikrodalga yöntemlerinin ürünün antioksidan özelliklerine üzerine etkisi incelenmiştir. Kuruma hızları için, sonuçlar sabit tartıma fırın ile kurutmaya (120 °C/290 saniye) göre mikrodalga yönteminde (900 W/70 saniye) daha hızlı ulaşıldığını göstermiştir. Antioksidan açısından ise sonuçlar en yüksek toplam polifenol, flavanoid içeriklerinin fırın ile kurutmaya göre mikrodalga ile kurutma yönteminde elde edildiğini göstermiştir.

Lule ve Koyuncu (2017) [70] tarafından yapılan çalışmada; ısırgan otunun kurutulmasında konveksiyonel ve mikrodalga ile kurutma karakteristikleri, enerji gereksinimleri ve renk değişimleri incelenmiştir. Taze ısırgan otu yaprakları konvansiyonel yöntemde üç farklı sıcaklıkta (50, 60 ve 70 °C) mikrodalga yönteminde ise 3 farklı mikrodalga çıkış gücünde (90, 160 ve 350 W) kurutulmuştur. Konveksiyonel yöntemde 0.30 m/s sabit hava akış hızı kullanılmıştır. Bu ürün için, yapılan ön çalışmalarda 50 °C'den daha düşük sıcaklık ve 0.30 m/s'den daha yüksek hava akış hızı kullanıldığında kuruma süresi ve enerji gereksiniminin büyük oranda arttığı anlaşılmıştır. Konveksiyonel kurutma deneyleri sırasında ürünün ağırlıkları kurutmanın 5-10. dakikaları arasında dakikada bir otomatik olarak ölçülmüştür. Mikrodalga ile kurutmada ise ürünlerin ağırlıkları kurutmanın 15-60. dakikaları arasında el ile dakikada bir ölçülmüştür. Kurutulan ürünlerin toplam renk değişimlerinin belirlenmesi için Hunter L, a ve b skalası kullanılmıştır. Elde edilen sonuçlar konveksiyonel kurutmada farklı sıcaklıkların, mikrodalga ile kurutmada ise farklı mikrodalga güç seviyelerinin toplam kuruma süresi, toplam enerji sarfiyatı ve ısırgan otu yapraklarının renk değişimi üzerinde etkisinin olduğunu göstermiştir. Konveksiyonel (70 °C) ve mikrodalga ile kurutmada (60 W) minimum enerji gereksinimleri sırasıyla 6.95 kW/kg ve 23.63 kW/kg olarak hesaplanmıştır. Toplam Renk Değişim değerleri incelendğinde, ürün kalitesinin konveksiyonel kurutmada 70°C'de; mikrodalga ile kurutmada ise 350 W mikrodalga çıkış

gücünde en iyi elde edildiği bulunmuştur. Bu çalışmada, enerji sarfiyatının azaltılması ve rengin özelliklerinin korunması için konveksiyonel kurutmanın daha avantajlı olduğu tespit edilmiştir.

Bualuang vd. (2017) [71] tarafından yapılan çalışmada; çimlenmiş mısır tohumları 100, 300, 450, 600 ve 700 W mikrodalga çıkış gücünde kurutulmuştur. Mikrodalga çıkış gücünün kuruma hızı, Efektif Difüzivite Katsayısı, β-Karoten içeriği, Toplam Flavonoid İçeriği (TFC), Toplam Fenolik İçeriği (TPC) ve Antioksidan kapasitesi üzerindeki etkisi incelenmiştir. Mısır tohumları 48 saat süreyle distile suda bekletilip, daha sonra 72 saat daha nemli bez üzerinde tohumların çimlenmesi sağlanmıştır. Mikrodalga çıkış gücü arttırıldıkça kuruma süresi azalmış, Efektif Difüzivite Katsayısı değerlerinin 1.50×10^{-6} ile 1.81×10^{-6} m^2/s değerleri arasında değiştiği bulunmuştur. Kuruma işlemi, azalan hız periyodunda gerçekleşmiştir ve sabit hız periyodu gözlenmemiştir. Mısır tohumları 300 W mikrodalga çıkış gücünde kurutulduğunda TFC ve TPC değerleri en yüksek değerlerine ulaşmıştır.

Correa vd. (2017) [72] tarafından yapılan çalışmada; ozmotik dehidrasyon işlemine tabii tutulmuş balkabağı dilimleri mikrodalga, konvektif ve mikrodalga-konvektif kurutma yöntemleri kullanılarak kurutulmuştur. Numunelerin renk değişimi, su aktivitesi, büzüşme oranı ve rehidratasyon kapasitesi değerleri incelenmiştir. Mikrodalga çıkış gücü 780 W, hava sıcaklığı 30-60 °C ve hava hızı 2.22 ile 4.44 m/s seçilerek, numunelerin son nem içeriği değeri 0.08 g su/g kuru madde ulaşana kadar kurutma işlemi gerçekleştirilmiştir. Kuruma kinetiğine en iyi uyan model denkleminin Fick's ve Page Model denklemlerinin olduğu saptanmıştır. Kuruma süresinin azalması ile birlikte renk özeliklerinin daha iyi korunduğu ve bu durumun mikrodalga kurutma yöntemiyle sağlandığı bulunmuştur. Diğer yandan, konvektif kurutma yöntemi ile beraber su aktivitesinin arttığı ve büzüşmenin azaldığı gözlemlenmiştir.

Darvishi vd. (2016) [73] tarafından yapılan çalışmada; dereotununun sıcak hava ile kurutulmasında kütle transfer paremetreleri ve kuruma kinetiği modellemeleri incelenmiştir. Bu kapsamda, dere otunun kurutulmasında Efektif Difüzivite Katsayısı, Aktivasyon Enerjisi ve Kuruma Kinetiği incelenmiştir. Efektif Difüzivite Katsayısı değerleri; sıcaklık ve maddenin nem içeriğine bağlı olarak değişim göstermiştir. Efektif Difüzivite Katsayısı değerlerinin 4.02×10^{-9} - 9.65×10^{-10} m^2/s değerlerinin arasında

değiştiği bulunmuştur. Aktivasyon enerjisi ise nem içeriğine bağlı olarak belirgin bir fark göstermiş ve Difüzyon Modeli için 16.84 kJ/mol olarak hesaplanmıştır. Toplam 6 model denklemi (Henderson-Pabis Model, Newton Model, Wang-Singh Model, Page Model, Logaritmik Model ve Midilli Model) uygulanmış olup, dereotunun kuruma kinetiği için en uygun model olarak Logaritmik Model bulunmuştur.

Alibas ve Kacar (2016) [74] tarafından yapılan çalışmada; başlangıç nem içeriği 2.92 g su/g kuru madde olan 25 g sarı kantaron yaprakları mikrodalga ile kurutma yöntemi kullanılarak 90, 160, 350, 500, 650, 850 ve 1000 W mikrodalga çıkış güçlerinde nem kurutulmuştur. Kuruma süreleri farklı mikrodalga çıkış güçlerinde 2-36 dakika aralıklarında bulunmuştur. Yapılan modelleme çalışması sonucu kuruma kinetiği Page Model denklemine uygunluk göstermiştir. Artan mikrodalga çıkış güçleri ile birlikte Efektif Difizüvite Katsayısı değerleri 2.70 x 10^{-9} - 1.54 x 10^{-10} m^2/s aralığında elde edilmiştir. Enerji tüketimi 650 - 1000 W mikrodalga çıkış güçlerinde sabit kalırken, 90 - 500 W mikrodalga çıkış güçleri ile yapılan çalışmalarda belirgin bir şekilde artış göstermiştir. 850 W mikrodalga çıkış gücünde 150 saniye süresince yapılan kurutma için 0.06 kW ile en düşük enerji tüketimi elde edilmiştir.

Abano (2016) [75] tarafından yapılan çalışmada; ilk olarak 50 mm uzunluğunda 20 mm eninde kesilmiş ve 105 °C sıcaklıkta 24 h etüvde kurutulup ilk nem içeriği 4.65 g su/g kuru madde hesaplanmıştır. 100 g mango dilimleri 300, 450, 600 W mikrodalga gücünde kurutulmuş ve daha sonra 70 °C sıcaklıkta sıcak hava kabin kurutucuya konulmuştur. Yapılan deneyler sonucu Midilli Modelinin kurutma karakteristiklerine uyduğu bulunmuş ve 300 W optimum değer olarak hesaplanmıştır.

Günhan vd. (2014) [76] tarafından yapılan çalışmada; enginar yaprakları konvansiyonel kurutma yöntemi ile kurutulmuş, ve kuruma kinetiği incelenmiştir. Enginar yaprakları, çeşitli sıcaklıklarda (40, 50, 60 ve 70 °C) ve hava hızlarında (0.6, 0.9 ve 1.2 m/s) kurutulmuştur. Enginar yapraklarının 40, 50, 60 ve 70 °C sıcaklıklarda % 10 nem içeriğine ulaşmaları 0.6 m/s sabit hava hızında sırasıyla yaklaşık olarak 4.08, 2.29, 1.32 ve 0.98 saat sürerken, 0.9 m/s sabit hava hızında yaklaşık olarak 3.83, 1.60, 0.96 ve 0.75 saat sürmüştür. 40, 50, 60 ve 70 °C sıcaklıklarda kurutmada kullanılan hava hızı 1.2 m/s iken kuruma süreleri sırasıyla 3.5, 1.54, 1.04 ve 0.71 saat olarak bulunmuştur. Literatürde yer

alan çeşitli kuruma model denklemleri karşılaştırıldığında; enginar yapraklarının kuruma kinetik verilerinin en iyi Midilli Model denkelmine uyduğu belirlenmiştir.

Alibas ve Köksal (2014) [77] tarafından yapılan çalışmada; başlangıç nem içeriği 5.02 g su/g kuru madde olan ebegümeci yaprakları 3 farklı kurutma yöntemi (mikrodalga, konvansiyonel ve vakum) ile kurutulmuş olup renk değişimi ve askorbik asit miktarları karşılaştırılmıştır. Uygulanan kurutma yöntemlerinde, 75 g ebegümeci yaprağı numunesi nem içeriği 0.10 g su/g kuru madde değerine kadar kurutulmuştur. Mikrodalga ile kurutma yönteminde 6.67, 8.67, 10, 11.33 W/g değerlerinde, konvansiyonel yöntemde 50, 75, 100 ve 125 °C sıcaklık değerlerinde, vakum yönteminde ise 3, 7 kPa basınç ve 50 ve 75 °C sıcaklık değerlerinde kurutma işlemleri gerçekleştirilmiştir. Kuruma süreleri, mikrodalga ile kurutma yönteminde 6-10 dakika, konvansiyonel yöntemde 26-150 dakika, vakum yönteminde ise 38-130 dakika olarak elde edilmiştir. Efektif Difizüvite Katsayı değerleri, mikrodalga tekniği ile kurutmada 2.04×10^{-10} - 3.64×10^{-12} m^2/s aralığında, konvansiyonel yöntemde 1.70×10^{-11} - 1.10×10^{-10} m^2/s aralığında, vakum yönteminde ise 1.86×10^{-11} - 5.95×10^{-10} m^2/s aralığında değiştiği bulunmuştur. Askorbik asit içeriği ve renk parametreleri değerleri karşılaştırıldığında en iyi sonuç 10 W/g değerinde 6.5 dakika boyunca süren mikrodalga tekniği ile kurutmada elde edilmiştir.

Alibaş (2014) [78] tarafından yapılan çalışmada; 50 gram ağırlığındaki kereviz yaprakları, 90, 160, 350, 500, 650, 750, 850 ve 1000 W mikrodalga gücünde kurutulmuştur. Kurutma işlemine nem oranı % 8.952'e düşene kadar devam edilmiştir. Mikrodalga gücü arttırıldıkça kuruma süresinin azaldığı görülmüştür. Seçilen kuruma kinetiği model denklemleri arasında en uygun olan model denkleminin Weibull Model denklemi olduğu saptanmıştır.

Sarımeşeli (2011) [79] tarafından yapılan çalışmada; kişniş yapraklarının 180 ve 360 W çıkış gücünde mikrodalga tekniği ile kurutulması ve mikrodalga çıkş gücünün, ürünün renk parametreleri üzerindeki değişimi ve rehidratasyon özelliği üzerine olan etkisi incelenmiştir. Kurutulan kişniş yapraklarının renk parametrelerinin mikrodalga çıkış gücünden bağımsız olduğu ve en yüksek rehidratasyon kapasitesinin 180 W mikrodalga çıkış gücünde elde edildiği saptanmıştır.

Demirhan ve Özbek (2011) [80] tarafından yapılan çalışmada; kereviz yapraklarının mikrodalga ile kurutulması, farklı mikrodalga çıkış gücü ve kurutulan madde miktarının

kereviz yapraklarının renk değişim kinetiği üzerindeki etkisi araştırılmıştır. Kereviz yaprağı numunesine ait renk parametreleri Hunter Lab sistemi kullanılarak hesaplanmıştır. Bu değerler; Toplam Renk Değişimi (ΔE), Kroma (CV), Renk Açısı (HA) ve Kahverengileşme İndeksi (BI) değerlerini hesaplamada kullanılmıştır. Mikrodalga yöntemi ile kurutma, renk paremetreleri olan L, a ve b değerlerini değiştirmiştir. Renk değişim kinetiği incelendiğinde L, a, b ve Kroma değelerinin Birinci Dereceden Kinetik Model denklemine, Toplam Renk Değişimi (ΔE) ve Renk Açısı (HA) ve Kahverengileşme İndeksi (BI) değerlerinin ise Sıfırıncı Dereceden Kinetik Model denklemine uygunluk gösterdiği görülmüştür.

Demirhan ve Özbek (2009) [81] tarafından yapılan çalışmada; fesleğen yaprakları mikrodalga yöntemi ile kurutularak renk değişim kinetiği incelenmiştir. Fesleğen yaprağı numunesine ait renk parametreleri Hunter Lab sistemi kullanılarak belirlenmiştir. Bu değerler ayrıca Toplam Renk Değişimi (ΔE), Kroma (CV), Renk Açısı (HA) ve Kahverengileşme İndeksini (BI) hesaplamalarında kullanılmıştır. Mikrodalga yöntemi ile kurutma, renk paremetreleri olan L, a ve b değerlerini değiştirmiştir. Renk değişim kinetiği incelendiğinde a, b, Kroma (CV) ve Kahverengileşme İndeksi (BI) değelerinin Birinci Dereceden Kinetik Model denklemine, L, Toplam Renk Değişimi (ΔE) ve Renk Açısı (HA) değerlerinin ise Sıfırıncı Dereceden Kinetik Model denklemine uygunluk gösterdiği görülmüştür.

Çizelge 6.1 Gıdaların kurutulması çalışmalarına dair literatür taraması

Kaynak	Kurutulan Gıda	Kurutma Yöntemi	Efektif Difüzivite Katsayısı (m^2/s)	Kuruma Kinetiği Modeli	Renk Kinetiği Modeli
Altay vd. (2019) [65]	Mor fesleğen yaprağı	Güneşte, Mikrodalga, Dondurarak Konvektif	1.62×10^{-9} - 7.09×10^{-8}	Güneşte kurutma: Logaritmik Model, Dondurarak kurutma: Henderson ve Pabis Model, konvektif ve mikrodalga ile kurutma: Page Model	-
Jebri vd. (2019) [66]	Ada çayı yaprağı	Sıcak Hava, Mikrodalga	Mikrodalga: 1.77×10^{-10}- 8.37×10^{-10} Sıcak Hava: 2.92×10^{-12}- 2.96×10^{-11}	Page Model	-
Ali Elhussein ve Sahin (2018) [67]	Zeytin yaprağı	Mikrodalga, fırın, vakum	10^{-9} - 10^{-12}	Page Model	-
Demirhan vd. (2018) [68]	Çay yaprağı	Mikrodalga	0.25×10^{-10}- 1.18×10^{-10}	Page Model	-
Hihat vd. (2017) [69]	Kişniş yaprağı	Fırın Mikrodalga	-	-	-
Lule ve Koyuncu (2017) [70]	Isırgan otu yaprağı	Mikrodalga Konvansiyonel	-	-	-
Bualuang vd. (2017) [71]	Mısır tohumu	Mikrodalga	1.50×10^{-6} - 1.81×10^{-6}	Logaritmik Model	-

Çizelge 6.1 Gıdaların kurutulması çalışmalarına dair literatür taraması *(devam)*

Kaynak	Kurutulan Gıda	Kurutma Yöntemi	Efektif Difüzivite Katsayısı (m^2/s)	Kuruma Kinetiği Modeli	Renk Kinetiği Modeli
Correa vd. (2017) [72]	Balkabağı dilimleri	Mikrodalga, Konvektif, Mikrodalga-Konvektif	-	Page Model	-
Darvishi vd. (2016) [73]	Dereotu	Sıcak Hava,	4.02×10^{-9} - 9.65×10^{-10}	Logaritmik Model	-
Alibaş ve Kacar (2016) [74]	Sarı kantaron yaprağı	Mikrodalga	2.70×10^{-9} - 1.54×10^{-10}	Page Model	-
Abano (2016) [75]	Mango dilimleri	Mikrodalga Sıcak hava	-	Midilli Modeli	-
Günhan vd. (2014) [76]	Enginar yaprağı	Konvensiyonel	-	Midilli Modeli	-
Alibaş ve Köksal (2014) [77]	Ebegümeci yaprağı	Mikrodalga, Konvansiyonel Vakum	Mikrodalga: 2.04×10^{-10} - 3.64×10^{-12} Konvansiyonel: 1.70×10^{-11} - 1.10×10^{-10} Vakum: 1.86×10^{-11} - 5.95×10^{-10}	Page Model	-
Alibaş (2014) [78]	Kereviz yaprağı	Mikrodalga	-	Weibull Model	-
Sarımeşeli (2011) [79]	Kişniş yaprağı	Mikrodalga	-	Lewis Model	-

Çizelge 6.1 Gıdaların kurutulması çalışmalarına dair literatür taraması *(devam)*

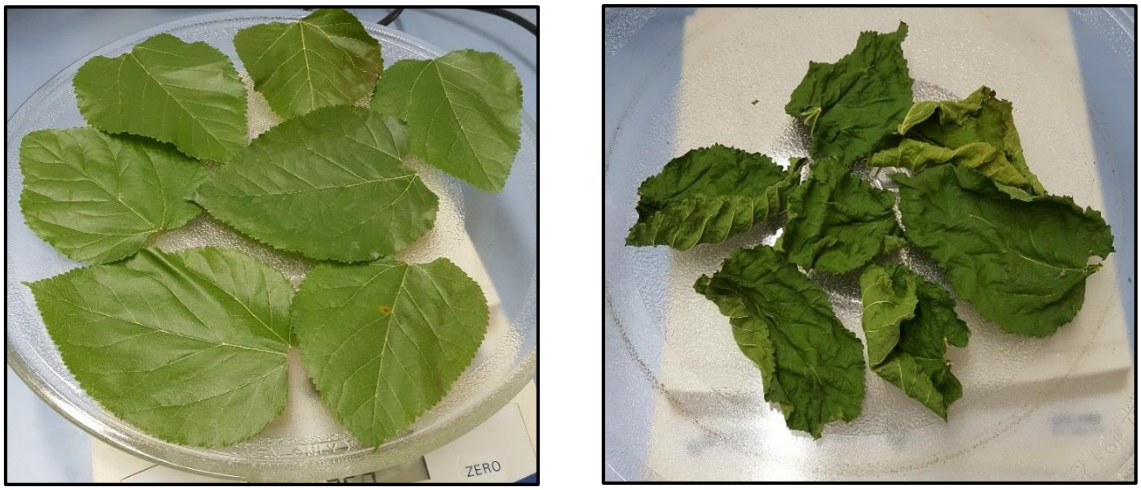
Kaynak	Kurutulan Gıda	Kurutma Yöntemi	Efektif Difüzivite Katsayısı (m^2/s)	Kuruma Kinetiği Modeli	Renk Kinetiği Modeli
Demirhan ve Özbek (2011) [80]	Kereviz yaprağı	Mikrodalga	-	-	L,a,b ve Kroma: Birinci Dereceden Kinetik Model; Toplam Renk Değişimi, Renk Açısı ve Kahverengi-leşme İndeksi: Sıfırıncı Dereceden Kinetik Model
Demirhan ve Özbek (2009) [81]	Fesleğen yaprağı	Mikrodalga	-	-	a,b, Kroma ve Kahverengi-leşme İndeksi: Birinci Dereceden Kinetik Model; L, Toplam Renk Değişimi ve Renk Açısı: Sıfırıncı Dereceden Kinetik Model

BÖLÜM 7

MATERYAL ve YÖNTEM

7.1 Kullanılan Materyaller

Mikrodalga tekniği ile kurutulacak olan dut yaprakları Durusu bölgesinden, İstanbul ilinden temin edilmiştir. Numuneler, deneylere başlamadan önce 1 gün süre ile buzdolabında bekletilerek nem içeriklerinin dengeye gelmesi sağlanmıştır. Numunelerin başlangıç nem içeriklerinin hesaplanması için 5 gramlık numuneler 75 °C sıcaklıktaki fırında 24 saat süre ile kurutulmuştur ve elde edilen nem içeriği değerlerinin ortalaması alınmıştır. Çalışmada kullanılan taze dut yaprağı numunesinin ortalama toplam nem değeri M_0 = 2.37 g su/g kuru madde olarak bulunmuştur. Taze dut yaprakları Şekil 7.1'de sunulmuştur.



Şekil 7.1 Taze ve kurutulmuş dut yaprakları

7.2 Kullanılan Cihazlar

7.2.1 Mikrodalga Fırın

Dut yapraklarının mikrodalga tekniği ile kurutulması çalışmaları, Arçelik firması tarafından üretilen MD 594 ürün koduna sahip mikrodalga fırın ile gerçekleştirilmiştir. Deneylerde kullanılan mikrodalga fırına ait teknik özellikler Çizelge 7.1'de, mikrodalga fırının görüntüsü ise Şekil 7.2'de verilmiştir.

Çizelge 7.1 Arçelik MD 594 mikrodalga fırının teknik özellikleri

Özellikler	**Değerler**
Dış genişlik	512 mm
Dış derinlik	420 mm
Dış yükseklik	307 mm
Fırın hacmi	28 L
Net ağırlık	16 kg
Programlama/Saat	Dijital
Mikrodalga frekansı	2450 MHz
Besleme gerilimi	230 V AC/50 Hz
Mikrodalga çıkış gücü	1800 Watt
Izgara gücü	1250 Watt



Şekil 7.2 Arçelik MD 594 mikrodalga fırını

7.2.2 Su Banyosu

Mikrodalga tekniği ile kurutulan dut yapraklarının rehidratasyon çalışmaları için Memmert marka su banyosu kullanılmıştır (Şekil 7.3).



Şekil 7.3 Memmert marka su banyosu

7.2.3 Renk Ölçüm Cihazı

Mikrodalga tekniği ile kurutulan dut yapraklarının renk değişimlerinin gözlemlenebilmesi için Konica Minolta tarafından üretilmiş olan CR-400 (renk okuma cihazı) ve DP-400 (veri işlemcisi) üniteleri kullanılmıştır (Şekil 7.4) ve cihaza ait teknik özellikler Çizelge 7.2'de verilmiştir.

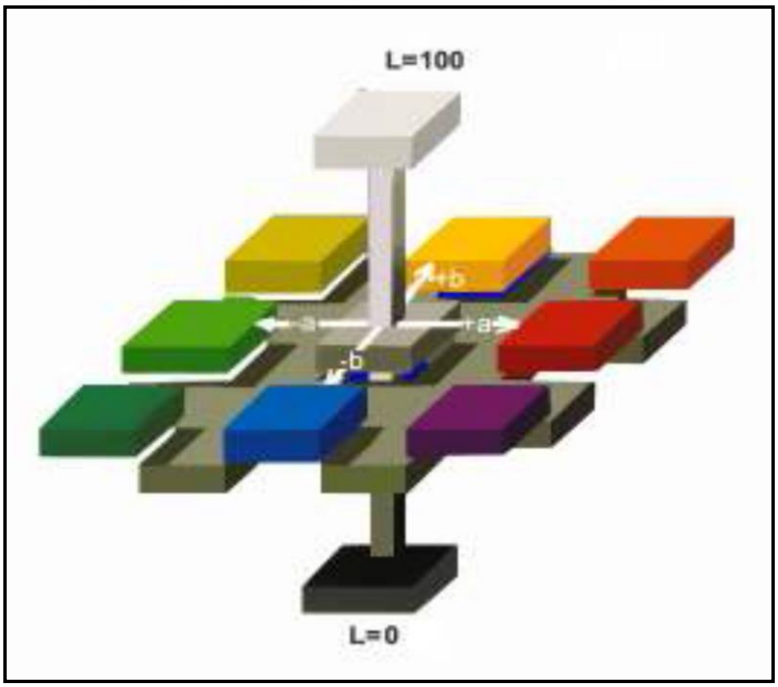
Çizelge 7.2 Konica Minolta CR-400 ve DP-400 cihazlarının teknik özellikleri [82]

Özellikler	**Değerler**
Işık kaynağı	Pulsen Xenon lamba
Ölçüm süresi	1 saniye
Minimum ölçüm aralığı	3 saniye
Net ağırlık	550 g
Boyutları	102*217*63 mm
Operasyon koşulları	5-40 °C oda sıcaklığı, % 80 relatif nem
Saklama koşulları	0-45 °C oda sıcaklığı, % 80 relatif nem
Standart aksesuarlar	Beyaz kalibrasyon tabağı CR-A43
Pil performansı	~800 ölçüm
Renk skalası	L, a, b renk ölçüm skalası

Deneyde kullanılan renk ölçüm cihazında ölçümler "Hunter Lab Renk Skalası (L, a, b)" metodu ile yapılmıştır. Hunter Lab Renk Skalası R.S Hunter tarafından 1948 yılında fotoelektrik bir renk ölçme cihazı ile direkt olarak okunabilen düzenli bir renk skalası olarak tasarlanmıştır. Çalışmalar sırasında kullanılan renk skalası Şekil 7.5'te; L, a ve b indislerinin renk skalasındaki anlamlarını gösteren açıklama ise Çizelge 7.4'te verilmiştir.



Şekil 7.4 Konica Minolta CR-400 ve DP-400 cihazlarının genel görünümü [82]



Şekil 7.5 Hunter Lab renk skalası [82]

Çizelge 7.3 Hunter Lab renk skalasında kullanılan renk indislerinin anlamı [83]

Renk İndisi	Anlamı
L	L değeri gıdanın renginin beyazlık parlaklık matlık indeksine göre ölçümü sonucu elde edilen bir değerdir ve 0 ile 100 arasında değişmektedir. Gıdaların ilk renklerine olan yakınlığı, tazeliğin göstergesi olan parlaklıklarının ne kadar değişip değişmediği bu indekse göre belirlenir.
a	a değeri gıdanın renginin kırmızı ile yeşil renk skalası içinde nerede bulunduğunu gösterir. Gıdalarda L değerinden sonra gelen önemli bir parametredir.
b	b değeri, gıdanın renginin mavi ile sarı renk skalası içinde nerede olduğunu gösterir.

7.3 Deneylerin Yapılışı

7.3.1 Kuruma Hızlarının Belirlenmesi

Mikrodalga tekniği ile kurutma yönteminin dut yapraklarının kuruması üzerindeki etkisini incelemek için yapılan deneylerin ilk bölümünde; 20 g sabit ağırlıktaki dut yapraklarının farklı mikrodalga güçlerinde (180, 360, 540, 720 ve 900 W) 0.1 g su/g kuru madde nem içeriğine kadar kurutulması sırasında, belirli zaman aralıklarında tartımlar alınarak, numunelerin kuruma kinetikleri incelenmiştir.

Mikrodalga tekniği ile kurutma yönteminin dut yapraklarının kuruması üzerindeki etkisini incelemek için yapılan deneylerin ikinci bölümünde ise; farklı ağırlıklardaki dut yapraklarının (20, 40, 60, 80 ve 100 g) 360 W sabit mikrodalga çıkış gücünde 0.1 g su/g kuru madde nem içeriğine kadar kurutulması sırasında, belirli zaman aralıklarında tartımlar alınarak, numunelerin kuruma kinetikleri incelenmiştir. Tartım sürelerinin 10 saniyeyi geçmemesine dikkat edilmiştir. Deneyler üçer kez tekrarlanmış olup elde edilen değerlerin ortalaması alınmıştır.

7.3.2 Renk Değişimlerinin İncelenmesi

Mikrodalga tekniği ile kurutma yönteminin dut yapraklarının renk değişimi üzerindeki etkisini incelemek için yapılan deneylerin ilk bölümünde; 20 g sabit ağırlıktaki dut yapraklarının farklı mikrodalga güçlerinde (180, 360, 540, 720 ve 900 W) 0.1 g su/g kuru madde nem içeriğine kadar kurutulması sırasında, belirli zaman aralıklarında numuneler alınarak, alınan numunelerin renk değişim değerleri, renk ölçüm cihazı ile incelenmiştir.

Mikrodalga tekniği ile kurutma yönteminin dut yapraklarının renk değişimi üzerindeki etkisini incelemek için yapılan deneylerin ikinci bölümünde ise; farklı ağırlıklardaki dut yapraklarının (20, 40, 60, 80 ve 100 g) 360 W sabit mikrodalga çıkış gücünde 0.1 g su/g kuru madde nem içeriğine kadar kurutulması sırasında, belirli zaman aralıklarında numuneler alınarak, alınan numunelerin renk değişim değerleri, renk ölçüm cihazı ile incelenmiştir.

Renk ölçümleri yapılmadan önce Konica Minolta renk ölçüm cihazı, beyaz standart kalibrasyon plakası ile kalibre edilmiştir. Mikrodalga tekniği ile kurutulan dut yaprağı numunesinin renk değişim değerlerini belirlemek için numunenin 5 farklı noktasında renk ölçümü yapılmış ve elde edilen değerlerin ortalaması alınmıştır. Ayrıca, renk ölçüm deneyleri üçer kez tekrarlanmış olup elde edilen değerlerin ortalaması alınmıştır.

7.3.3 Rehidratasyon Kapasitelerinin Belirlenmesi

Mikrodalga tekniği ile kurutma yönteminin dut yapraklarının rehidratasyon kapasitesi üzerindeki etkisini incelemek için yapılan deneylerin birinci bölümünde; 20 g sabit ağırlıktaki dut yapraklarının farklı mikrodalga güçlerinde (180, 360, 540, 720 ve 900 W) 0.1 g su/g kuru madde nem içeriğine kadar kurutulması sonucunda elde edilen kurutulmuş ürünler, bir gün süre ile desikatörde bekletilip soğutulmuştur. Daha sonra bu numuneler, 30 °C sıcaklık değerlerinde su banyosunda rehidratasyon işlemine tabi tutulmuştur. Kurutulmuş numuneler tarafından absorplanan su miktarları belirli zaman aralıklarında numunelerin tartımları alınarak hesaplanmıştır. Rehidratasyon deneyleri üçer kez tekrarlanmış ve elde edilen değerlerin ortalaması alınmıştır.

Mikrodalga tekniği ile kurutma yönteminin dut yapraklarının rehidratasyon kapasitesi üzerindeki etkisini incelemek için yapılan deneylerin ikinci bölümünde ise; farklı ağırlıklardaki dut yapraklarının (20, 40, 60, 80 ve 100 g) 360 W sabit mikrodalga çıkış

gücünde 0.1 g su/g kuru madde nem içeriğine kadar kurutulması sonucunda elde edilen kurutulmuş ürünler, bir gün süre ile desikatörde bekletilip soğutulmuştur. Daha sonra bu numuneler, 30 °C sıcaklık değerlerinde su banyosunda rehidratasyon işlemine tabi tutulmuştur. Kurutulmuş numuneler tarafından absorplanan su miktarları belirli zaman aralıklarında numunelerin tartımları alınarak hesaplanmıştır. Rehidratasyon deneyleri üçer kez tekrarlanmış ve elde edilen değerlerin ortalaması alınmıştır.

Mikrodalga tekniği ile kurutma yönteminin dut yapraklarının rehidratasyon kapasitesi üzerindeki etkisini incelemek için yapılan deneylerin son bölümünde ise; 20 g sabit ağırlıktaki dut yapraklarının 360 W sabit mikrodalga çıkış gücünde 0.1 g su/g kuru madde nem içeriğine kadar kurutulması sonucunda elde edilen kurutulmuş ürünler, bir gün süre ile desikatörde bekletilip soğutulmuştur. Daha sonra bu numuneler, sırası ile 30, 45, 55 ve 70 °C sıcaklık değerlerinde su banyosunda rehidratasyon işlemine tabi tutulmuştur. Kurutulmuş numuneler tarafından absorplanan su miktarları belirli zaman aralıklarında numunelerin tartımları alınarak hesaplanmıştır. Rehidratasyon deneyleri üçer kez tekrarlanmış ve elde edilen değerlerin ortalaması alınmıştır.

7.4 Hesaplamalar

7.4.1 Kuruma Hızının Belirlenmesi İçin Yapılan Hesaplamalar

7.4.1.1 Nem içeriğinin hesaplanması

Kurutulan numunelerin nem içerik değerleri, Denklem (7.1) kullanılarak hesaplanmıştır [58]:

$$M_t = \frac{m - KM}{KM} \tag{7.1}$$

Denklem (7.1)'de;

M_t : Herhangi bir t anındaki nem içeriği (g su/g kuru madde)

m : Numunenin ağırlığı (g)

KM : Numunenin içerdiği kuru madde miktarı (g)

olarak tanımlanmıştır.

Gıdaların kuruma sonrası içerebilecekleri minimum nem içeriği değerinin 0.1 g su/g kuru madde olduğu kabul edilmiştir.

7.4.1.2 Kuruma hızının hesaplanması

Kuruma hızı, nem içeriğine karşılık kuruma süresi eğrilerinin türevlerinin alınması ile bulunmuştur (Denklem (7.2)) [58]. Kuruma hızının birimi; g su/g kuru madde.dak'dır.

$$\text{Kuruma Hızı} = \frac{M_{t+dt} - M_t}{dt} \tag{7.2}$$

Denklem (7.2)'de;

M_{t+dt} : t+dt anındaki numunenin nem içeriği (g su/g kuru madde)

t : Kuruma süresi (dakika)

olarak tanımlanmıştır.

7.4.1.3 Nem oranının hesaplanması

Numunelerin nem oranı Denklem (7.3) kullanılarak hesaplanmıştır:

$$MR = \frac{M_t - M_e}{M_0 - M_e} \tag{7.3}$$

Denklem 7.3'de;

MR : Nem oranı (birimsiz)

M_t : Herhangi bir zamandaki nem içeriği (g su/g kuru madde)

M_e : Denge anındaki nem içerigi (g su/g kuru madde)

M_0 : Başlangıçtaki nem içeriği (g su/g kuru madde)

olarak tanımlanmıştır.

7.4.1.4 Efektif Difüzivite Katsayısının Hesaplanması

Gıdaların kurutulması sırasında meydana gelen kütle transferinin en önemli ölçütü olan Efektif Difüzivite Katsayısı; yaprak çapının, yaprağın inceliğinden daha büyük olması

nedeniyle dilim (kesit) kabulü yapılan dut yaprakları için Denklem (7.4) ve Denklem (7.5)'te sırası ile verilmiştir [19], [84].

$$MR = \frac{8}{\pi^2} \exp\left(-\frac{D_{eff}.\pi^2}{4L^2}\right).t \quad (7.4)$$

Denklem (7.4)'de;

D_{eff} : Efektif Difüzivite Katsayısı (m^2/s)

L : Dilim kalınlığı (kesit kabulü yapılan dut numunelerinin merkezden yüzeye olan uzaklığı (L=0.021 cm)

t : Kuruma süresi (saniye)

olarak tanımlanmıştır.

Efektif Difüzivite Katsayısı değerleri, Denklem (7.5)'de verilen lineer denklem kullanarak hesaplanmıştır.

$$\ln(MR) = \ln(\frac{8}{\pi^2}) - \left(\frac{D_{eff}.\pi^2}{4L^2}\right).t \quad (7.5)$$

7.4.2 Renk Değişiminin Hesaplanması

Mikrodalga tekniği kullanılarak dut yapraklarının kurutulması sırasında meydana gelen renk değişim değerlerinin belirlenmesi için renk ölçüm cihazı ile belirlenen L, a, b değerleri kullanılarak Denklem (7.6)'da verilen Toplam Renk Değişimi (ΔE) değeri, Denklem (7.7)'de verilen Kroma (CV) değeri, Denklem (7.8)'de verilen Renk Açısı (HA) değeri ve Denklem (7.9)'da verilen Kahverengileşme İndeksi (BI) değeri hesaplanmıştır [81].

$$\Delta E = \sqrt{(L_0 - L_t)^2 + (a_0 - a_t)^2 + (b_0 - b_t)^2} \quad (7.6)$$

$$\text{Kroma (CV)} = ({a_t}^2 - {b_t}^2)^{0.5} \quad (7.7)$$

$$\text{Renk Açısı} = \tan^{-1}\left(\frac{b_t}{a_t}\right) \quad (7.8)$$

$$\text{Kahverengileşme İndeksi (BI)} = \frac{\left[100\,\frac{(a_t + 1.75L_t)}{(5.45L_t + a - 3.012b_t} - 0.31\right]}{0.17} \quad (7.9)$$

Denklem (7.6)-(7.9)'da;

L_0 : t= 0 anındaki L renk değeri (birimsiz)

L_t : Herhangi bir t anındaki L renk değeri (birimsiz)

a_0 : t= 0 anındaki a renk değeri (birimsiz)

a_t : Herhangi bir t anındaki a renk değeri (birimsiz)

b_0 : t= 0 anındaki b renk değeri (birimsiz)

b_t : Herhangi bir t anındaki b renk değeri (birimsiz)

olarak tanımlanmıştır.

7.4.3 Rehidratasyon Kapasitesinin Hesaplanması

Dut yaprağı numunelerinin mikrodalga tekniği ile kurutulması sonucunda elde edilen son ürünlerin rehidratasyon kapasitesinin belirlenmesi sırasında nem içeriğinin belirlenmesi için kullanılan Denklem (7.1) kullanılmıştır.

7.5 Modelleme Çalışmaları

7.5.1 Kuruma Kinetiğine Ait Modelleme Çalışmaları

Page Model:

Gıdaların kuruma kinetiklerinin açıklanması amacı ile en fazla kullanılan model denklemlerinden biri olan Page Model, Denklem (7.10)'da verilmiştir [85].

$$MR = \exp(-k.t^n) \quad (7.10)$$

Denklem (7.10)'da;

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

n : Page Modeline ait bir katsayı

t : Kuruma süresi (dak)

olarak tanımlanmıştır.

Henderson ve Pabis Model:

Henderson ve Pabis Model, Denklem (7.11)'de sunulmuştur [85].

$$\mathrm{MR} = \mathrm{A}.\exp(-\mathrm{k}.\mathrm{t}) \tag{7.11}$$

Denklem (7.11)'de;

A : Katsayı (birimsiz)

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

t : Kuruma süresi (dak)

olarak tanımlanmıştır.

Lewis Model:

Lewis Model, Denklem (7.12)'de sunulmuştur [85].

$$\mathrm{MR} = \exp(-\mathrm{k}.\mathrm{t}) \tag{7.12}$$

Denklem (7.12)'de;

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

t : Kuruma süresi (dak)

olarak tanımlanmıştır.

Logaritmik Model:

Logaritmik Model, Denklem (7.13)'te sunulmuştur [85].

$$\mathrm{MR} = \mathrm{A}.\exp(-\mathrm{k}.\mathrm{t}) + \mathrm{B} \tag{7.13}$$

Denklem (7.13)'te;

A : Katsayı (birimsiz)

B : Katsayı (birimsiz)

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

t: Kuruma süresi (dak)

olarak tanımlanmıştır.

7.5.2 Renk Değişim Kinetiğine Ait Yapılan Modelleme Çalışmaları

Sıfırıncı Dereceden Kinetik Model:

Sıfırıncı dereceden kinetik model Denklem (7.14)'te verilmiştir [86].

$$C = C_0 \pm k.t \quad (7.14)$$

Denklem (7.14)'de;

C : Herhangi bir t anındaki renk parametresi değeri

C_0 : t=0 anındaki renk parametresi değeri

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

t : Kuruma süresi (dak)

olarak tanımlanmıştır.

Birinci Dereceden Kinetik Model:

Birinci Dereceden Kinetik Model, Denklem (7.15)'te verilmiştir [86].

$$C = C_0 \exp(\pm kt) \quad (7.15)$$

Denklem 7.15'te;

C : Herhangi bir t anındaki renk parametresi değeri

C_0 : t=0 anındaki renk parametresi değeri

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

t : Kuruma süresi (dak)

olarak tanımlanmıştır.

7.5.3 Rehidratasyon Kinetiğine Ait Modelleme Çalışmaları

Peleg Model:

Peleg Model, Denklem (7.16)'da verilmiştir [87].

$$M_t = M_0 + \frac{t}{k_1 + k_2 t} \quad (7.16)$$

Denklem (7.16)'da;

M_t : Herhangi bir t anındaki nem içeriği değeri (g su/g kuru madde)

M_0 : t=0 anındaki nem içeriği değeri (g su/g kuru madde)

k_1 : Peleg Modeline ait kinetik sabit (dak.g kuru madde/g su)

k_2 : Peleg Modeline ait karakteristik sabit (g kuru madde/g su)

t : Rehidratasyon süresi (dak)

olarak tanımlanmıştır.

Weibull Model:

Weibull Model, Denklem (7.17)'de verilmiştir [87].

$$M_t = M_e + (M_0 - M_e) \exp\left[-\left(\frac{t}{\beta}\right)^{\alpha}\right] \quad (7.17)$$

Denklem (7.17)'de;

M_t : Herhangi bir t anındaki nem içeriği değeri (g su/g kuru madde)

M_0 : t=0 anındaki nem içeriği değeri (g su/g kuru madde)

β : Weibull Model hız parametresi (dak)

α : Weibull Model şekil parametresi

t : Rehidratasyon süresi (dak)

olarak tanımlanmıştır.

Birinci Dereceden Rehidratasyon Kinetik Modeli:

Birinci Dereceden Rehidratasyon Modeli, Denklem (7.18)'de verilmiştir [87].

$$M_t = M_e + (M_0 - M_e) \exp(-\ k_{R1} t) \quad (7.18)$$

Denklem (7.18)'de;

M_t : Herhangi bir t anındaki nem içeriği değeri (g su/g kuru madde)

M_0 : t=0 anındaki nem içeriği değeri (g su/g kuru madde)

k_{R1} : Rehidratasyon kinetik sabiti (dak^{-1})

t : Rehidratasyon süresi (dak)

olarak tanımlanmıştır.

Eksponansiyel Assosiasyon Modeli:

Eksponansiyel Assosiasyon Modeli, Denklem (7.19)'da verilmiştir [87].

$$M_t = M_e[1 - \exp(-k_{R2}t)] \quad (7.19)$$

M_t : Herhangi bir t anındaki nem içeriği değeri (g su/g kuru madde)

M_0 : t=0 anındaki nem içeriği değeri (g su/g kuru madde)

k_{R2}: Kinetik sabiti (dak^{-1})

t : Rehidratasyon süresi (dak)

olarak tanımlanmıştır.

7.5.4 Aktivasyon Enerjisinin Hesaplanması

Mikrodalga tekniği ile kurutma işlemine ait Aktivasyon Enerjisi değerleri; Dadali [19] tarafından Arrhenius denklemi temel alınarak türetilen eksponansiyel denklem kullanılarak hesaplanmıştır (Denklem 7.20).

$$k = k_0 \exp\left(\frac{E_a . m}{P}\right) \quad (7.20)$$

Denklem (7.20)'de;

k : Kinetik sabit (kuruma ve renk değişimi kinetiği için dak^{-1}, rehidratasyon kinetiği için ise dak/g kuru madde.g su olarak kullanılmıştır.)

k_0 : Eksponansiyel sabit

m : Numune ağırlığı (g)

E_a : Aktivasyon enerjisi (W/g)

P : Mikrodalga çıkış gücü (W)

olarak tanımlanmıştır.

7.5.5 İstatistiksel Hesaplamalar

İstatistiksel verilerin hesaplanması için Curve Expert 1.4 programı kullanılmıştır. Bu program ile deneysel ve teorik değerler arasındaki sapma, en küçük kareler metodu kullanılarak bulunmuştur. İstatistiksel değerler; Denklem (7.21)-(7.22)'de verilmiştir.

$$SSR = \sum_{m=1}^{N_d} (C_m^{obs} - C_m^{cal})^2 \tag{7.21}$$

$$\delta^2 \approx s^2 = \frac{(SSR)_{min}}{(m-p)} \tag{7.22}$$

Denklem (7.18) ve (7.19)'da;

m : gözlem sayısı

N_d : toplam deney sayısı

p : parametre sayısı ve

δ: standart sapma olarak tanımlanmıştır.

BÖLÜM 8

ARAŞTIRMA BULGULARI

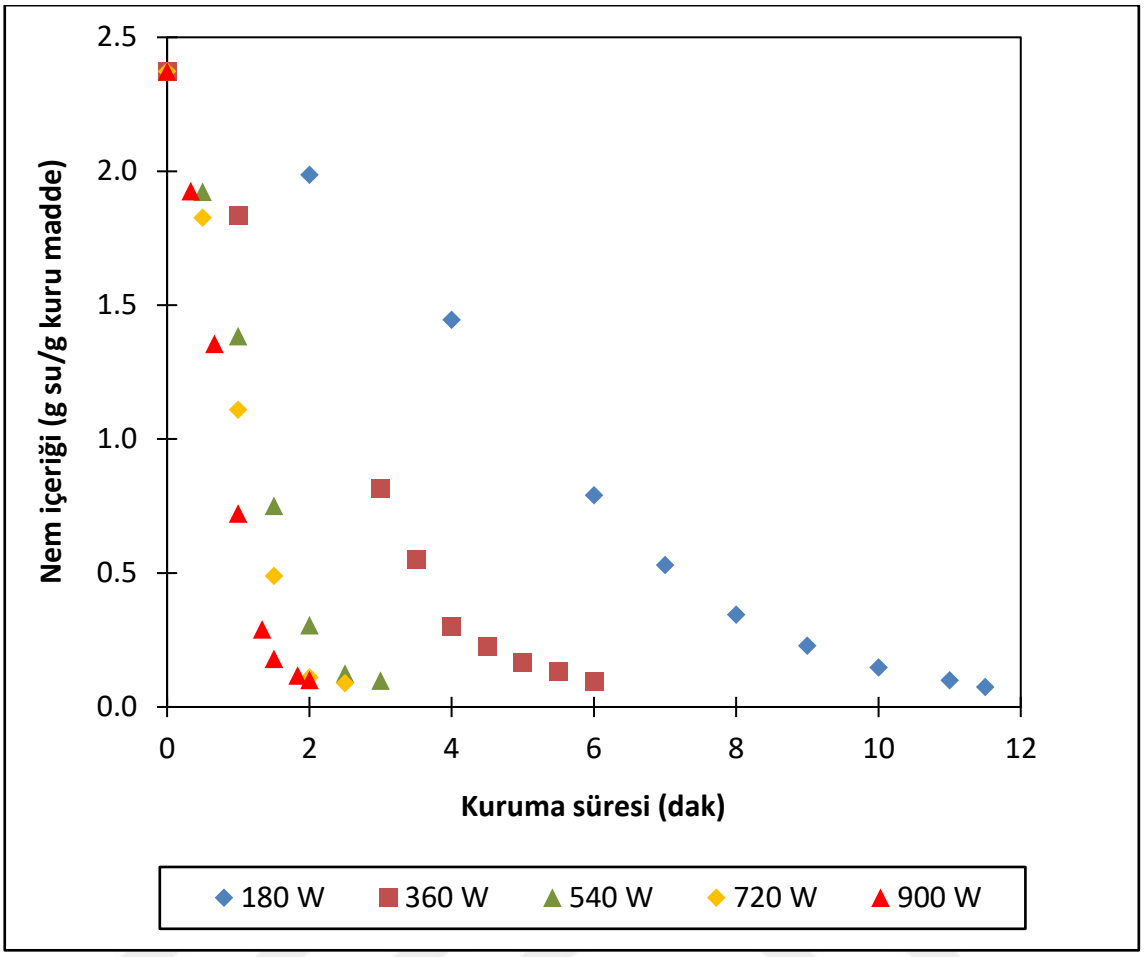
8.1 Mikrodalga Çıkış Gücünün Dut Yapraklarının Kurutulması Üzerindeki Etkisi

8.1.1 Mikrodalga Çıkış Gücünün Dut Yapraklarının Kuruma Kinetiği Üzerindeki Etkisi

8.1.1.1 Nem içeriği değişimi

Mikrodalga çıkış gücünün dut yaprağı numunesinin nem içeriği üzerindeki etkisini incelemek için; 180, 360, 540, 720 ve 900 W mikrodalga çıkış güçlerinde 20 g ağırlığındaki dut yaprağı numunesi kurutulmuştur. Çalışmada kullanılan taze dut yaprağı numunesinin ortalama toplam nem değeri M_0 = 2.37 g su/g kuru madde olarak bulunmuştur.

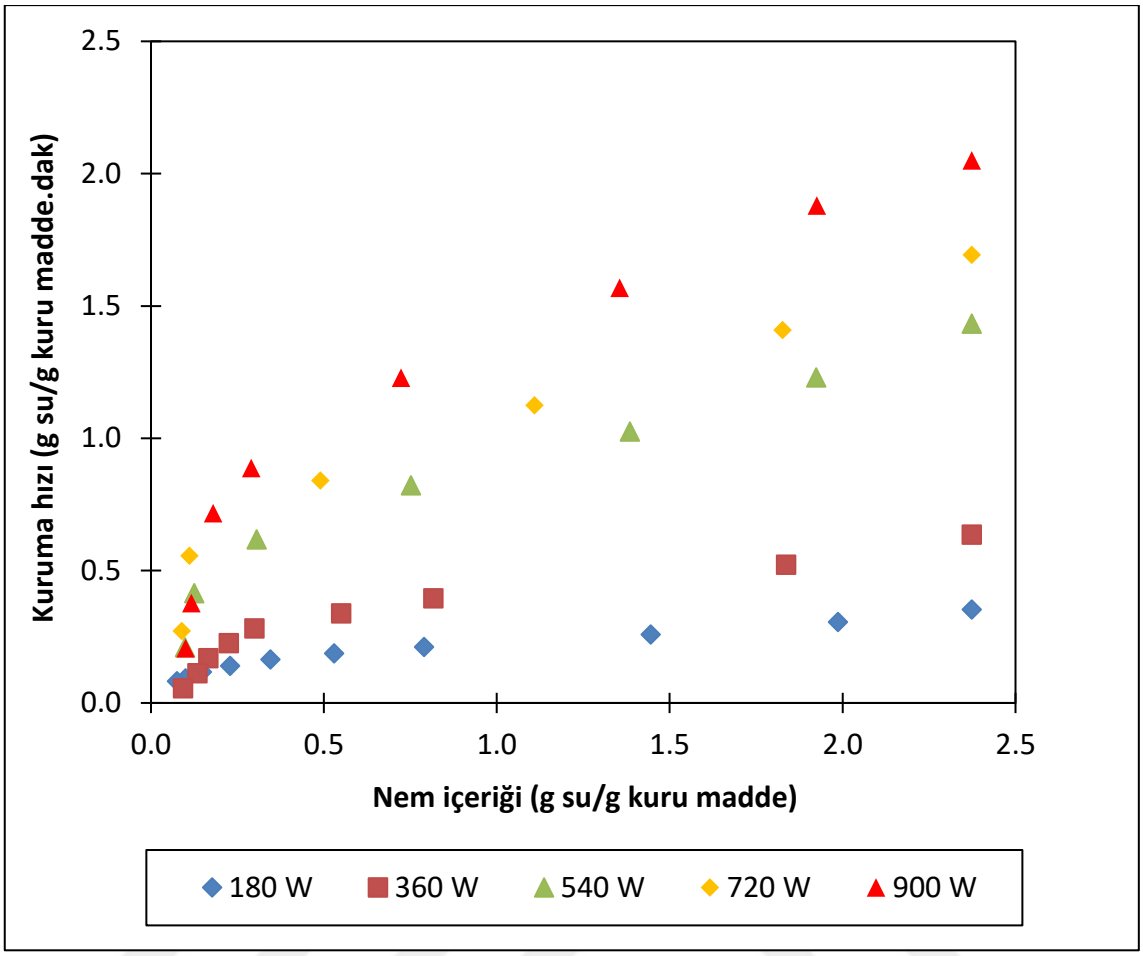
Nem içeriği değişimine ait elde edilen değerler Ek 1, Çizelge 1.1-1.5'te sırası ile verilmiş ve Şekil 8.1'de grafiksel olarak sunulmuştur. Yapılan deneyler sonucunda mikrodalga çıkış gücü arttırıldığında 20 g dut yaprağı numunesi için kuruma sürelerinin azaldığı görülmüştür. Şekil 8.1 incelendiğinde 180 W mikrodalga çıkış gücü için dut yaprağı numunesinin nem içeriğinin 2.37 g su/g kuru madde değerinden 0.1 g su/g kuru madde değerine düşmesi 11.5 dakika sürerken, 900 W mikrodalga çıkış gücü için sadece 2 dakika sürmüştür.



Şekil 8.1 Farklı mikrodalga çıkış güçlerinde kurutulan dut yaprağı numunelerine ait nem içeriği değerlerinin kuruma süresi ile değişimi (Numune ağırlığı = 20 g)

8.1.1.2 Kuruma hızı değişimi

Mikrodalga çıkış gücünün dut yaprağı numunesinin kuruma hızı üzerindeki etkisini incelemek için; 180, 360, 540, 720 ve 900 W mikrodalga çıkış güçlerinde kurutulan 20 g dut yaprağı numunesinin kuruma hızları Denklem (7.2) kullanılarak hesaplanmıştır ve kuruma hız değerleri Şekil 8.2'de grafiksel olarak verilmiştir. Şekil 8.2 incelendiğinde, dut yapraklarının kurutulması, azalan hızda kuruma periyodunda gerçekleştiği gözlemlenmiştir.



Şekil 8.2 Farklı mikrodalga çıkış güçlerinde kurutulan dut yaprağı numunelerine ait kuruma hızı değerlerinin nem içeriği değerleri ile değişimi (Numune ağırlığı = 20 g)

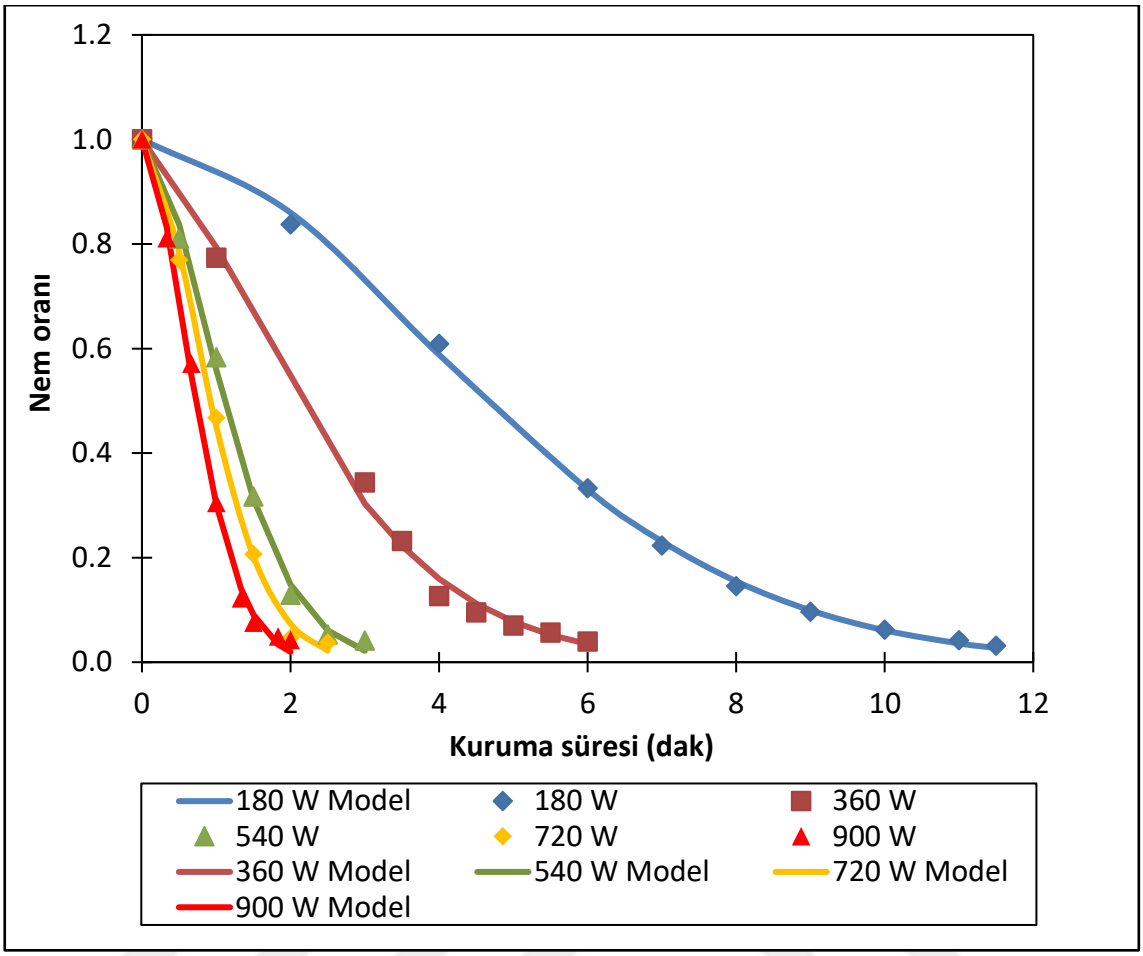
8.1.1.3 Kuruma kinetiğine ait model çalışmaları

Mikrodalga tekniği kullanılarak 20 g dut yaprağı numunesinin beş farklı mikrodalga çıkış gücünde (180, 360, 540, 720 ve 900 W) kurutulması sırasında elde edilen nem oranı değerlerinin kuruma süresi ile değişimini içeren deneysel değerler dört ayrı ince tabaka kurutma model denklemi kullanılarak modellenmiştir. Matematiksel model denklemlerine ait istatistiksel veriler Çizelge 8.1'de verilmiştir. Çizelge 8.1'de verilen istatistiksel veriler (R^2 ve standart sapma, δ) incelendiğinde; Page Model denkleminin dut yapraklarının kuruma kinetiğine uyan en iyi model olduğu bulunmuştur. Elde edilen deneysel değerler ile teorik değerler Şekil 8.3'de; matematiksel model sabitleri ve istatistiksel veriler ise Çizelge 8.2'de sunulmuştur. Page Model denklemine ait kinetik hız sabiti (k); mikrodalga çıkış gücü 180 W değerinden 900 W değerine arttığında, 0.0429 dak^{-1} değerinden 1.1988 dak^{-1} değerine artmıştır. Bu durum; yüksek mikrodalga çıkış

gücünde daha yüksek sıcaklık değerlerine ulaşılması ile kurumanın daha kısa sürdüğünü göstermektedir.

Çizelge 8.1 Farklı mikrodalga çıkış güçlerinde kurutulan dut yaprağı numunelerine ait kuruma kinetiğinin modellenmesi için kullanılan matematiksel modeller ve hesaplanan istatistiksel veriler (Numune ağırlığı = 20 g)

Modeller	Mikrodalga Çıkış Gücü (W)	R^2	δ
Page Model $\mathbf{MR = exp(-k.t^n)}$	180	0.9995	0.0120
	360	0.9981	0.0228
	540	0.9988	0.0209
	720	0.9991	0.0192
	900	0.9989	0.0104
Henderson ve Pabis Model $\mathbf{MR = A.exp(-k.t)}$	180	0.9557	0.0257
	360	0.9378	0.0287
	540	0.9427	0.0304
	720	0.9592	0.0312
	900	0.9677	0.0213
Lewis Model $\mathbf{MR = exp(-k.t)}$	180	0.9449	0.0181
	360	0.9327	0.0964
	540	0.9358	0.0426
	720	0.9458	0.0994
	900	0.9606	0.0301
Logaritmik Model $\mathbf{MR = A.exp(-k.t) + B}$	180	0.9931	0.0220
	360	0.9922	0.0271
	540	0.9941	0.0311
	720	0.9951	0.0307
	900	0.9930	0.0179



Şekil 8.3 Farklı mikrodalga çıkış güçlerinde kurutulan dut yaprağı numunelerine ait nem oranı değerlerinin kuruma süresi ile değişimi (Numune ağırlığı = 20 g)

Çizelge 8.2 Farklı mikrodalga çıkış güçlerinde kurutulan dut yaprağı numunelerine ait kuruma süresine karşılık elde edilen nem oranı değerlerine uyan Page Model denklemi kullanılarak hesaplanan model sabitleri ve istatistiksel veriler (Numune ağırlığı = 20 g)

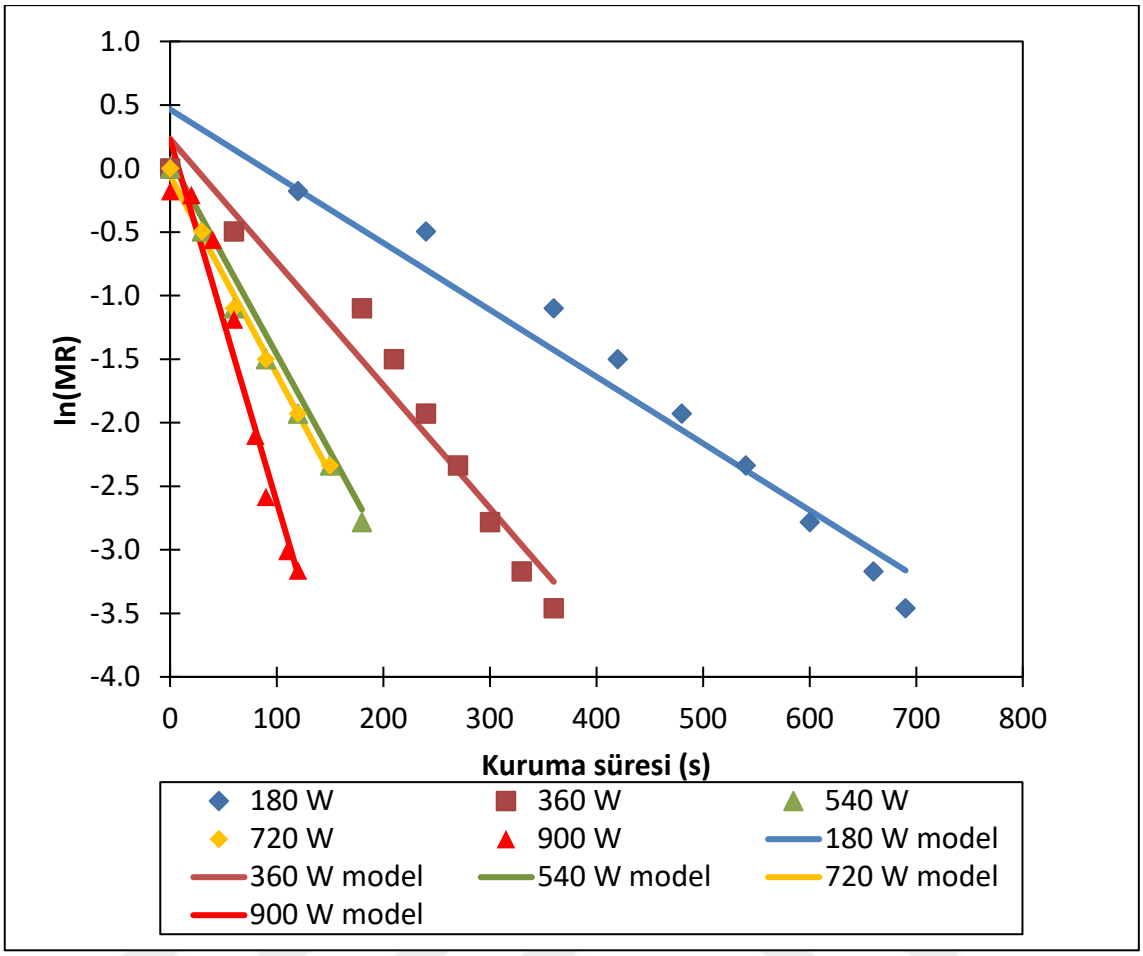
Mikrodalga Çıkış Gücü (W)	k (dak^{-1})	n (birimsiz)	R^2	δ
180	0.0429	1.81	0.9995	0.0120
360	0.2309	1.69	0.9981	0.0228
540	0.5812	1.71	0.9988	0.0209
720	0.7955	1.71	0.9991	0.0192
900	1.1988	1.71	0.9989	0.0104

8.1.1.4 Efektif Difüzivite Katsayısının hesaplanması

Gıdaların kurutulması sırasında meydana gelen kütle transferinin en önemli ölçütü olan Efektif Difüzivite Katsayısının hesaplanması için Denklem (7.5) kullanılmıştır. Dut yaprağı numunelerinin beş farklı mikrodalga çıkış gücünde (180, 360, 540, 720 ve 900 W) kurutulmalarına ait veriler kullanılmış ve numune için dilim (kesit) kabulü yapılmıştır. Şekil 8.4'te ln(MR)'ın kuruma süresine karşı grafiği verilmiştir. Matematiksel model denkleminin sabitleri ve istatistiksel veriler ise Çizelge 8.3'te sunulmuştur. Çizelge 8.3'de görüldüğü üzere mikrodalga çıkış gücü arttıkça Efektif Difüzivite Katsayısı 0.98 x 10^{-10} değerinden 5.34 x 10^{-10} değerine artmaktadır. Bu durumun sebebi, daha yüksek mikrodalga çıkış güçlerinde gıdanın içerisinde oluşan sıcaklıkların artması ile kütle transfer hızının da artması ve buna karşılık kuruma sürelerinin azalmasıdır.

Çizelge 8.3 Farklı mikrodalga çıkış güçlerinde kurutulan dut yaprağı numunelerine ait hesaplanan Efektif Difüzivite Katsayısı değerleri ve istatistiksel veriler (Numune ağırlığı = 20 g)

Mikrodalga Çıkış Gücü (W)	**D_{eff} x 10^{10} (m^2/s)**	**R^2**	**δ**
180	0.98	0.9777	0.2774
360	1.81	0.9795	0.2566
540	2.87	0.9979	0.0696
720	2.92	0.9973	0.0716
900	5.34	0.9783	0.2788



Şekil 8.4 Farklı mikrodalga çıkış güçlerinde kurutulan dut yaprağı numunelerine ait ln(MR) değerlerinin kuruma süresi ile değişimi (Numune ağırlığı = 20 g)

8.1.2 Mikrodalga Çıkış Gücünün Dut Yapraklarının Renk Değişimi Üzerindeki Etkisi

Mikrodalga ile kurutma yöntemi kullanılarak dut yapraklarının zamana bağlı olarak renk değişimleri incelenmiştir. Deneysel veriler, farklı mikrodalga güçlerinde (180, 360, 540, 720 ve 900 W) 20 g dut yaprağı numunesinin kurutulması ile elde edilmiştir. L, a, b ve Toplam Renk Değişimi (ΔE)'ye ait deneysel veriler Ek 2, Çizelge E2.1-2.5'te sırası ile sunulmuştur.

Elde edilen deneysel veriler kullanılarak yapılan matematiksel modelleme çalışmaları sonucunda; L, a, b, Toplam Renk Değişimi (ΔE), Kroma (CV), Renk Açısı (HA) ve Kahverengileşme İndeksi (BI) değerlerinin; Sıfırıncı Dereceden Kinetik Model ve Birinci Dereceden Kinetik Model denklemleri içerisinde, yüksek R^2 ve düşük standart sapma (δ) değerlerine sahip olan Sıfırıncı Dereceden Kinetik Model denklemi (Denklem 7.14) ile uyumlu olduğu gözlemlenmiştir. Farklı mikrodalga çıkış güçlerinde kurutulan numuneler için elde edilen L, a, b, Toplam Renk Değişimi (ΔE), Kroma (CV), Renk Açısı (HA) ve

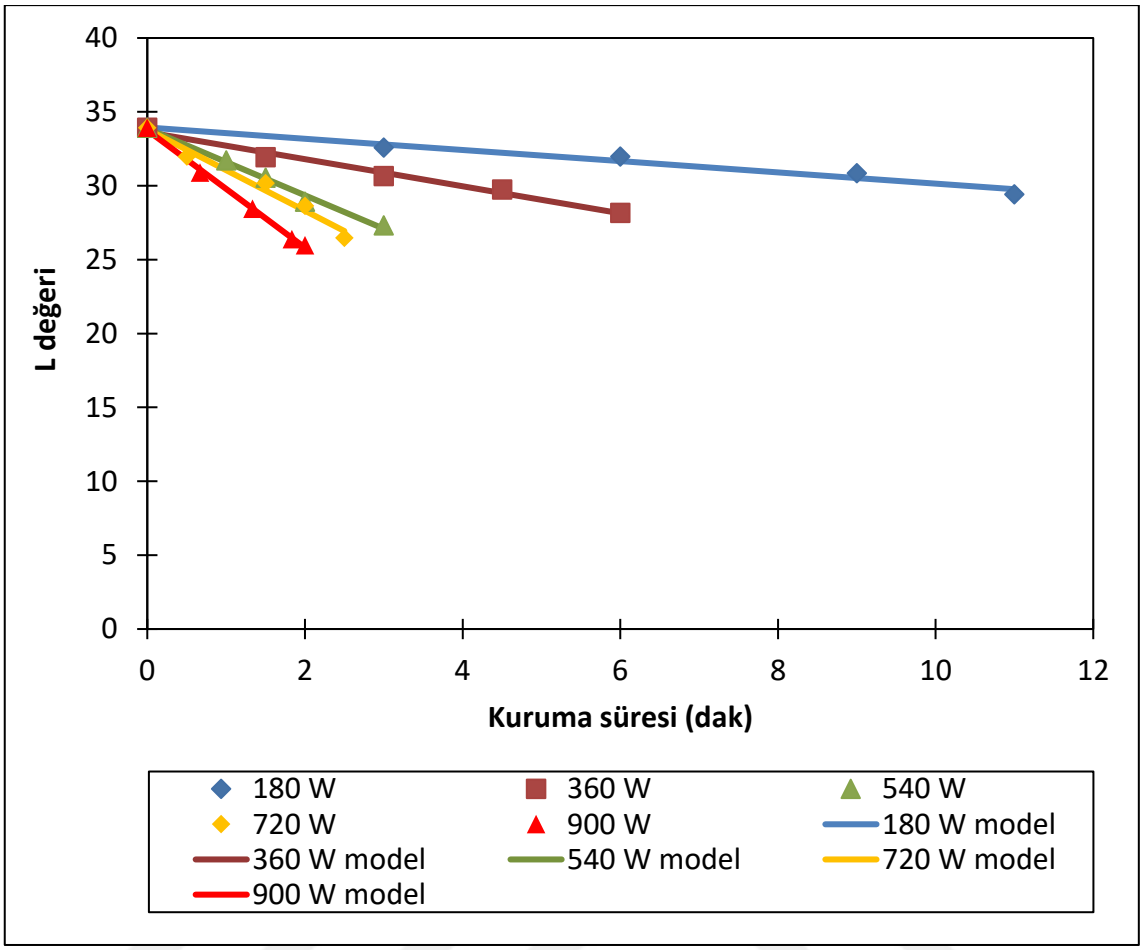
Kahverengileşme İndeksi (BI) değerleri Şekil 8.5-11'de; matematiksel model sabitleri ve istatistiksel veriler ise Çizelge 8.4-10'da sunulmuştur.

L değeri:

Farklı mikrodalga çıkış güçlerinde elde edilen L değerlerinin kuruma süresi ile değişimi Şekil 8.5'de; matematiksel model sabitleri ve istatistiksel veriler ise Çizelge 8.4'de sunulmuştur. Şekil 8.5'den de görülebileceği gibi, L değeri kuruma süresine bağlı olarak düşmüştür. Bu düşüş, gıdanın renginin koyulaşmaya başladığının belirtisidir. L değeri mikrodalga çıkış gücü 180 W iken 33.92 değerinden 29.41 değerine; mikrodalga çıkış gücü 900 W iken 33.92 değerinden 25.98 değerine düşmüştür. Elde edilen deneysel veriler kullanılarak yapılan matematiksel modelleme çalışmaları sonucunda; Sıfırıncı Dereceden Kinetik Model denklemine ait kinetik hız sabiti (k); mikrodalga çıkış gücü 180 W değerinden 900 W değerine arttığında, 0.3801 dak^{-1} değerinden 3.9721 dak^{-1} değerine arttmıştır. Bu durum, gıdanın içinde meydana gelen yüksek sıcaklık ile termal bozunma reaksiyonlarının daha hızlı gerçekleştiğini göstermektedir [34].

Çizelge 8.4 Farklı mikrodalga çıkış güçlerinde kurutulan dut yaprağı numunelerine ait kuruma süresine karşılık elde edilen L değerlerine uyan Sıfırıncı Dereceden Kinetik Model denklemi kullanılarak hesaplanan model sabitleri ve istatistiksel veriler (Numune ağırlığı = 20 g)

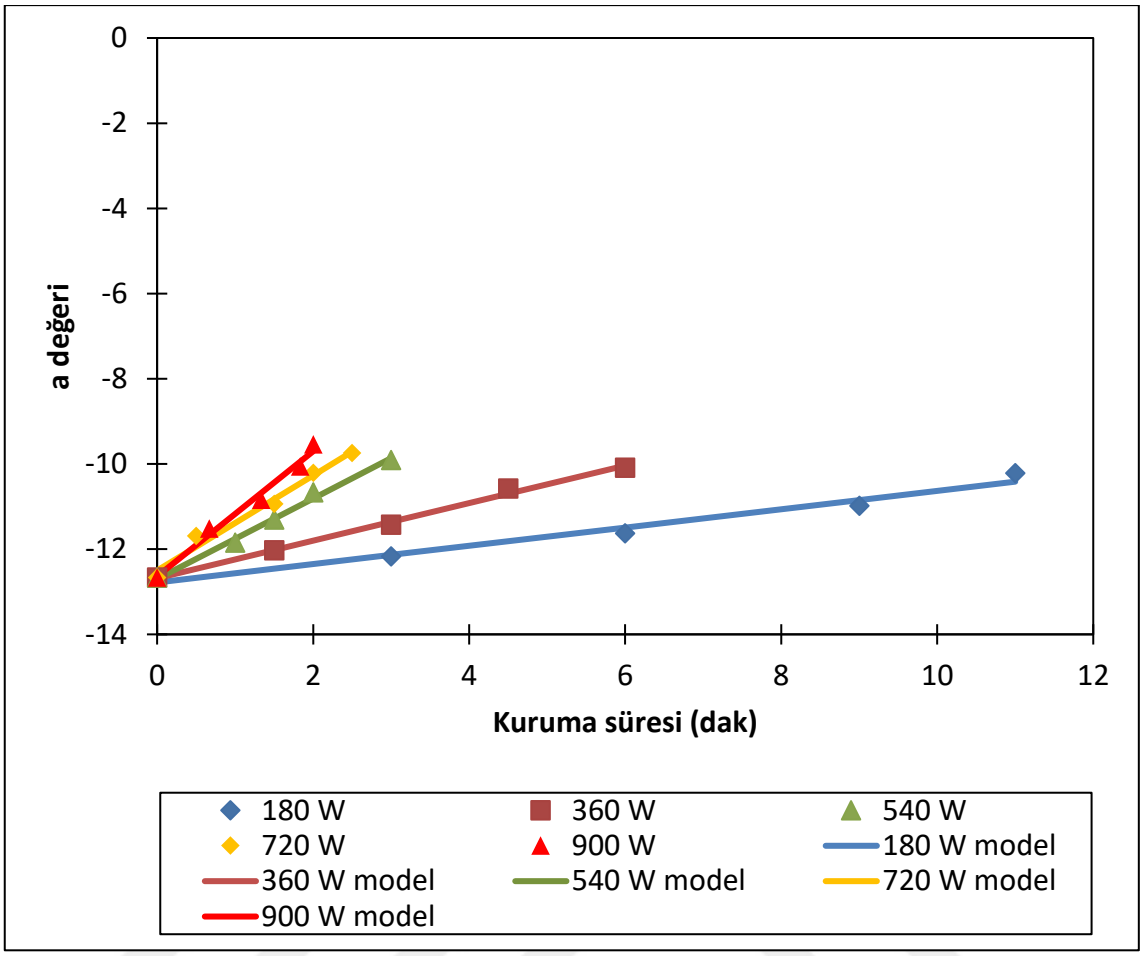
Mikrodalga Çıkış Gücü (W)	k (dak^{-1})	C_0 (birimsiz)	R^2	δ
180	0.3801	33.94	0.9842	0.3509
360	0.9147	33.63	0.9923	0.3121
540	2.2601	33.87	0.9949	0.2966
720	2.7516	33.82	0.9881	0.5129
900	3.9721	33.76	0.9988	0.1912



Şekil 8.5 Farklı mikrodalga çıkış güçlerinde kurutulan dut yaprağı numunelerine ait L değerlerinin kuruma süresi ile değişimi (Numune ağırlığı = 20 g)

a değeri:

Farklı mikrodalga çıkış güçlerinde elde edilen a değerlerinin kuruma süresi ile değişimi Şekil 8.6'da; matematiksel model sabitleri ve istatistiksel veriler Çizelge 8.5'de sunulmuştur. Şekil 8.6'da görüldüğü üzere, a değeri kuruma süresi boyunca artmıştır. Bu artış, gıdanın renginin yeşilden kahverengiye dönmeye başladığının bir ölçütüdür. a değeri mikrodalga çıkış gücü 180 W iken -12.67 değerinden -10.22 değerine; mikrodalga çıkış gücü 900 W iken -12.67 değerinden -9.54 değerine artmıştır. Elde edilen deneysel veriler kullanılarak yapılan matematiksel modelleme çalışmaları sonucunda; Sıfırıncı Dereceden Kinetik Model denklemine ait kinetik hız sabiti (k); mikrodalga çıkış gücü 180 W değerinden 900 W değerine arttığında, Lopez vd. [88] tarafından da belirtildiği gibi gıdanın içinde oluşan ve yüksek sıcaklıkta meydana gelen kahverengi pigmentlerin artması nedeni ile 0.2152 dak^{-1} değerinden 1.4682 dak^{-1} değerine artmıştır.



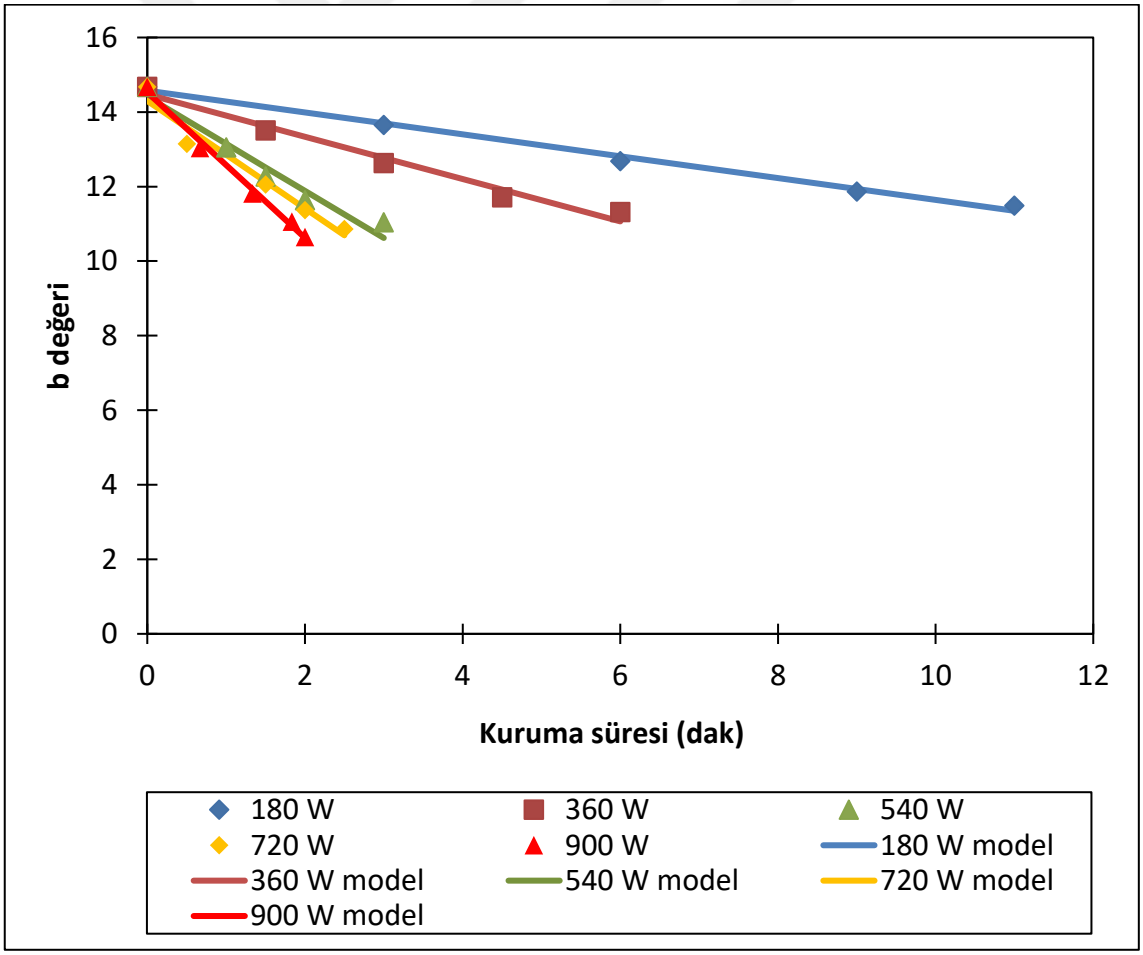
Şekil 8.6 Farklı mikrodalga çıkış güçlerinde kurutulan dut yaprağı numunelerine ait a değerlerinin kuruma süresi ile değişimi (Numune ağırlığı = 20 g)

Çizelge 8.5 Farklı mikrodalga çıkış güçlerinde kurutulan dut yaprağı numunelerine ait kuruma süresine karşılık elde edilen a değerlerine uyan Sıfırıncı Dereceden Kinetik Model denklemi kullanılarak hesaplanan model sabitleri ve istatistiksel veriler (Numune ağırlığı = 20 g)

Mikrodalga Çıkış Gücü (W)	k (dak^{-1})	C_0 (birimsiz)	R^2	δ
180	0.2152	-12.78	0.9880	0.1724
360	0.4407	-12.68	0.9975	0.0856
540	0.9460	-12.70	0.9964	0.1038
720	1.1163	-12.50	0.9899	0.1912
900	1.4682	-12.64	0.9929	0.1682

b değeri:

Farklı mikrodalga çıkış güçlerinde elde edilen b değerlerinin kuruma süresi ile değişimi Şekil 8.7'de; matematiksel model sabitleri ve istatistiksel veriler ise Çizelge 8.6'da sunulmuştur. Şekil 8.7'de görüldüğü üzere, b değeri kuruma süresi boyunca düşmüştür. b değeri mikrodalga çıkış gücü 180 W iken 14.68 değerinden 11.49 değerine; mikrodalga çıkış gücü 900 W iken 14.68 değerinden 10.65 değerine düşmüştür. Elde edilen deneysel veriler kullanılarak yapılan matematiksel modelleme çalışmaları sonucunda; Sıfırıncı Dereceden Kinetik Model denklemine ait kinetik hız sabiti (k); mikrodalga çıkış gücü 180 W değerinden 900 W değerine arttığında, 0.2931 dak^{-1} değerinden 1.9542 dak^{-1} değerine artmıştır. Bu durum, gıdanın içinde meydana gelen yüksek sıcaklık sebebi ile klorofil ve karoten pigmentlerinin bozunma reaksiyonlarının daha hızlı meydana geldiğini göstermektedir [89].



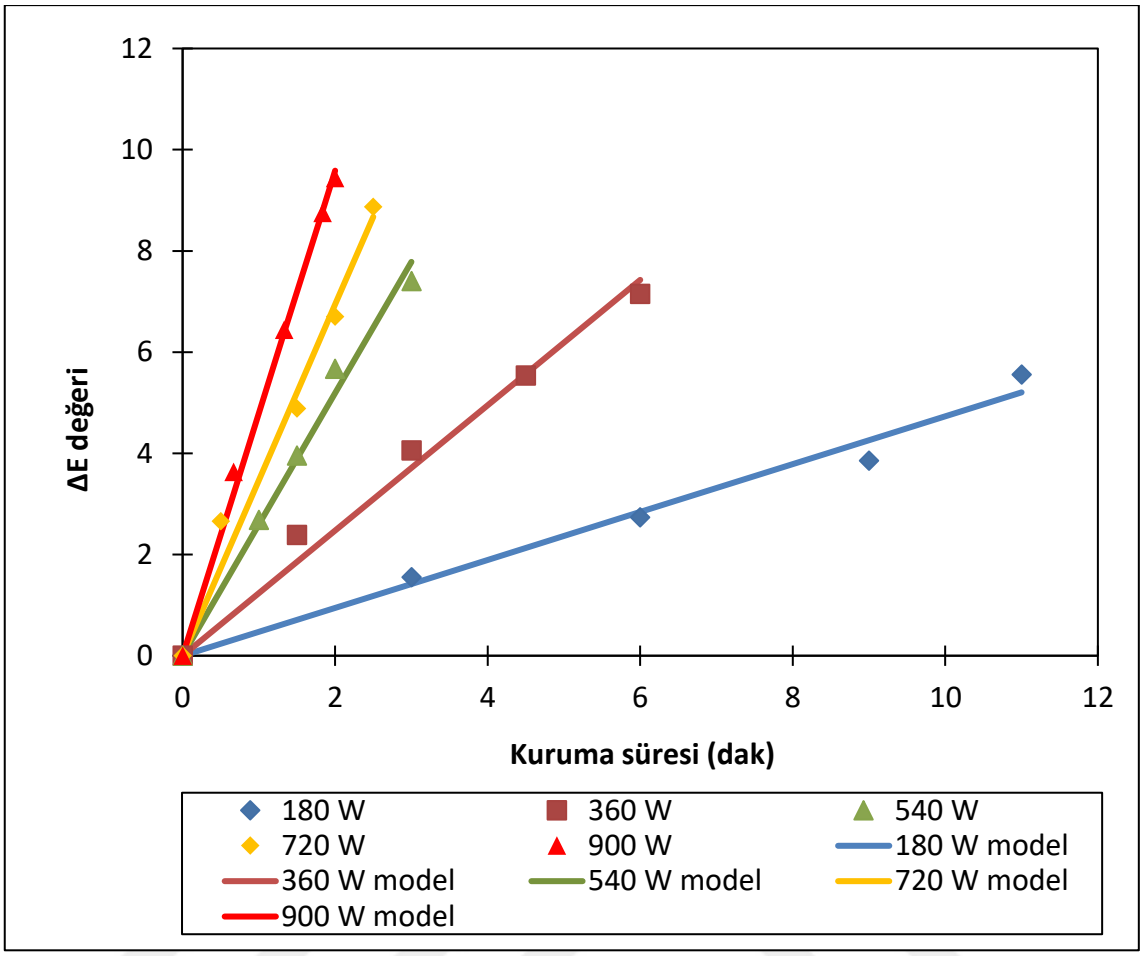
Şekil 8.7 Farklı mikrodalga çıkış güçlerinde kurutulan dut yaprağı numunelerine ait b değerlerinin kuruma süresi ile değişimi (Numune ağırlığı = 20 g)

Çizelge 8.6 Farklı mikrodalga çıkış güçlerinde kurutulan dut yaprağı numunelerine ait kuruma süresine karşılık elde edilen b değerlerine uyan Sıfırıncı Dereceden Kinetik Model denklemi kullanılarak hesaplanan model sabitleri ve istatistiksel veriler (Numune ağırlığı = 20 g)

Mikrodalga Çıkış Gücü (W)	k (dak^{-1})	C_0 (birimsiz)	R^2	δ
180	0.2931	14.57	0.9959	0.1361
360	0.5680	14.47	0.9877	0.2465
540	1.2630	14.41	0.9815	0.3183
720	1.4421	14.29	0.9803	0.3481
900	1.9542	14.53	0.9962	0.1653

Toplam Renk Değişimi (ΔE) değeri:

Toplam Renk Değişimi (ΔE) değerleri, Denklem 7.6 kullanılarak hesaplanmıştır. Toplam Renk Değişimi (ΔE) değerlerinin kuruma süresi ile değişimi Şekil 8.8'de; matematiksel model sabitleri ve istatistiksel veriler ise Çizelge 8.7'de verilmiştir. Toplam Renk Değişimi (ΔE) değerleri, mikrodalga çıkış gücü 180 W iken 5.56 değerinden; mikrodalga çıkış gücü 900 W iken; 9.44 değerine yükselmiştir. Elde edilen deneysel veriler kullanılarak yapılan matematiksel modelleme çalışmaları sonucunda; Sıfırıncı Dereceden Kinetik Model denklemine ait kinetik hız sabiti (k); mikrodalga çıkış gücü 180 W değerinden 900 W değerine arttığında, 0.4731 dak^{-1} değerinden 4.7927 dak^{-1} değerine artmıştır.



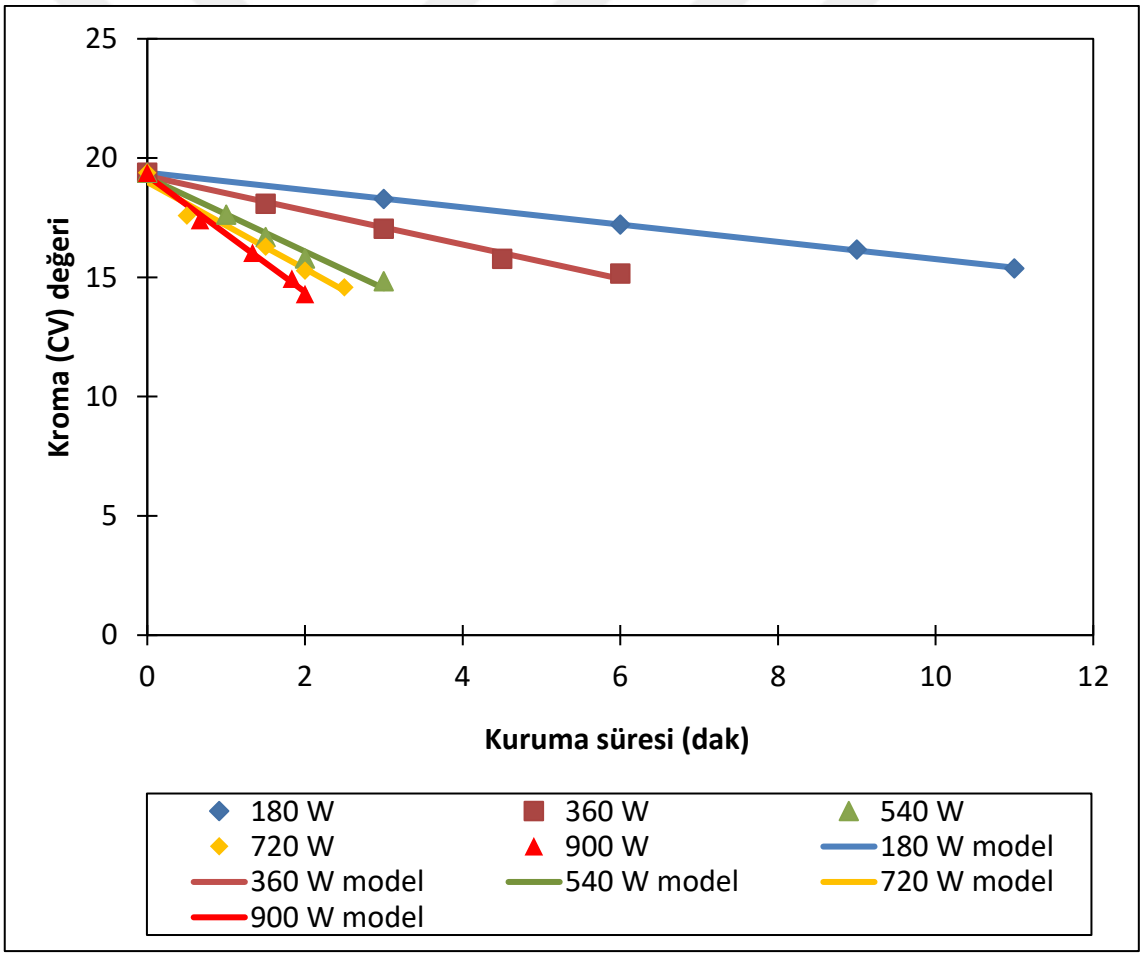
Şekil 8.8 Farklı mikrodalga çıkış güçlerinde kurutulan dut yaprağı numunelerine ait Toplam Renk Değişimi (ΔE) değerlerinin kuruma süresi ile değişimi (Numune ağırlığı = 20 g)

Çizelge 8.7 Farklı mikrodalga çıkış güçlerinde kurutulan dut yaprağı numunelerine ait kuruma süresine karşılık elde edilen Toplam Renk Değişimi (ΔE) değerlerine uyan Sıfırıncı Dereceden Kinetik Model denklemi kullanılarak hesaplanan model sabitleri ve istatistiksel veriler (Numune ağırlığı = 20 g)

Mikrodalga Çıkış Gücü (W)	**k (dak^{-1})**	**R^2**	**δ**
180	0.4731	0.9912	0.2812
360	1.2379	0.9922	0.3446
540	2.5944	0.9939	0.3105
720	3.4689	0.9889	0.5127
900	4.7927	0.9982	0.2324

Kroma (CV) değeri:

Denklem (7.7) kullanılarak elde edilen Kroma (CV) değerlerinin kuruma süresi ile değişimi Şekil 8.9'da; matematiksel model sabitleri ve istatistiksel veriler ise Çizelge 8.8'de verilmiştir. Şekil 8.9 incelendiğinde; Kroma (CV) değerinin kuruma süresine bağlı olarak azaldığı görülmüştür. Kroma (CV) değeri, mikrodalga çıkış gücü 180 W iken 19.39 değerinden 15.38 değerine; mikrodalga çıkış gücü 900 W iken 12.67 değerinden 14.30 değerine azalmıştır. Elde edilen deneysel veriler kullanılarak yapılan matematiksel modelleme çalışmaları sonucunda; Sıfırıncı Dereceden Kinetik Model denklemine ait kinetik hız sabiti (k); mikrodalga çıkış gücü 180 W değerinden 900 W değerine arttığında, 0.3620 dak^{-1} değerinden 2.4366 dak^{-1} değerine artmıştır.



Şekil 8.9 Farklı mikrodalga çıkış güçlerinde kurutulan dut yaprağı numunelerine ait Kroma (CV) değerlerinin kuruma süresi ile değişimi (Numune ağırlığı = 20 g)

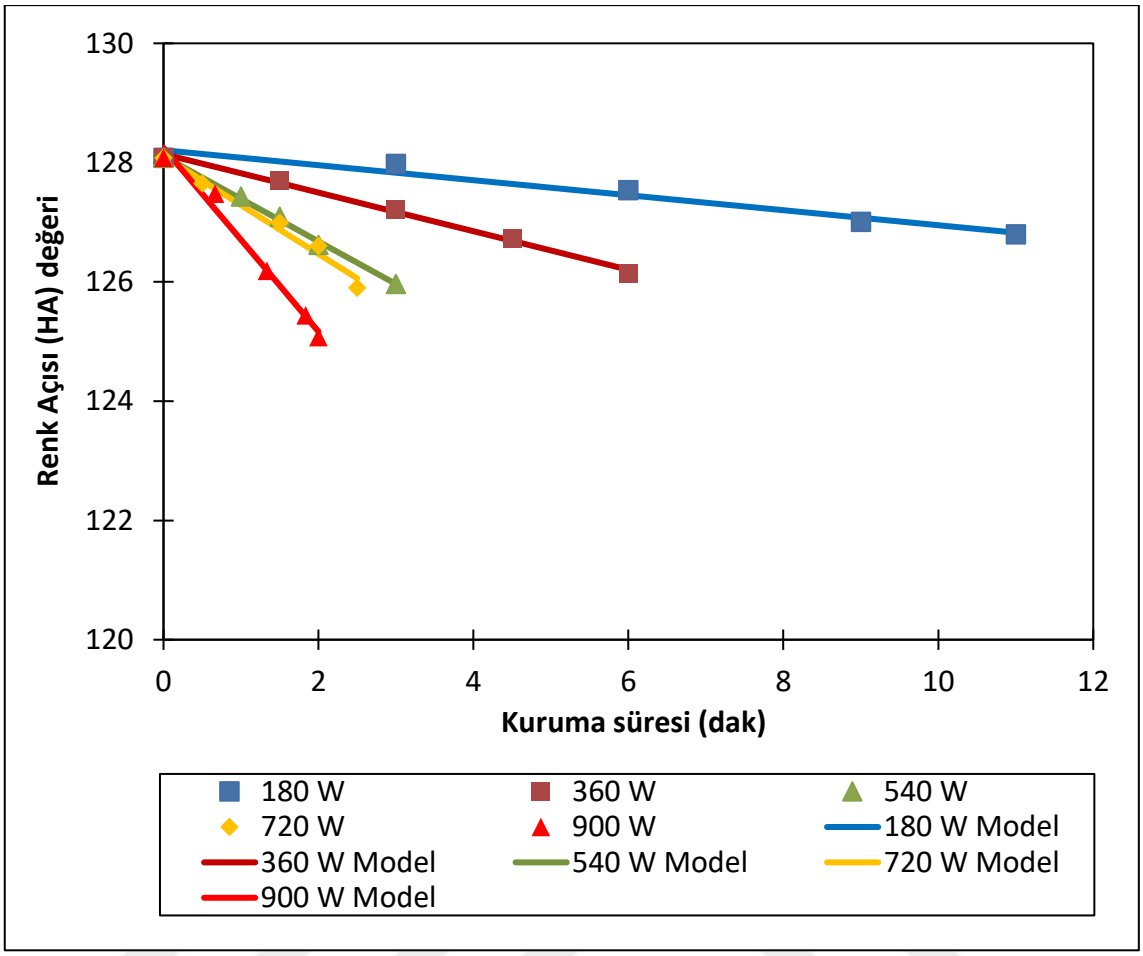
Çizelge 8.8 Farklı mikrodalga çıkış güçlerinde kurutulan dut yaprağı numunelerine ait kuruma süresine karşılık elde edilen Kroma (CV) değerlerine uyan Sıfırıncı Dereceden Kinetik Model denklemi kullanılarak hesaplanan model sabitleri ve istatistiksel veriler (Numune ağırlığı = 20 g)

Mikrodalga Çıkış Gücü (W)	k (dak^{-1})	C_0 (birimsiz)	R^2	δ
180	0.3620	19.39	0.9998	0.0299
360	0.7175	19.24	0.9942	0.2132
540	1.5505	19.19	0.9898	0.2883
720	1.8199	18.99	0.9855	0.3758
900	2.4366	19.26	0.9968	0.1883

Renk Açısı (HA) değeri:

Denklem (7.8) kullanılarak hesaplanan Renk Açısı (HA) değerlerinin kuruma süresi ile değişimi Şekil 8.10'da; matematiksel model sabitleri ve istatistiksel veriler ise Çizelge 8.9'da verilmiştir. Şekil 8.10 incelendiğinde; Renk Açısı (HA) değerlerinin kuruma süresine bağlı olarak azaldığı görülmüştür. Renk Açısı (HA) değerleri mikrodalga çıkış gücü 180 W iken 128.08 değerinden 126.79 değerine; mikrodalga çıkış gücü 900 W iken 128.08 değerinden 125.07 değerine azalmıştır. Değerlerin birbirine çok yakın olarak bulunması, farklı mikrodalga çıkış güçlerinde dut yapraklarının kurutulması sırasında yeşil rengin (Renk Açısı (HA) > 90°C) korunduğunu göstermektedir [90].

Elde edilen deneysel veriler kullanılarak yapılan matematiksel modelleme çalışmaları sonucunda; Sıfırıncı Dereceden Kinetik Model denklemine ait kinetik hız sabiti (k); mikrodalga çıkış gücü 180 W değerinden 900 W değerine arttığında, 0.1258 dak^{-1} değerinden 1.5409 dak^{-1} değerine artmıştır. Bunun sebebi; uygulanan yüksek mikrodalga çıkış güçlerinde gıdanın içerisinde oluşan yüksek sıcaklıklar renk değişimine sebep olan bozunma reaksiyonlarını hızlandırmakta; dolayısı ile gıdanın renginin daha hızlı ve daha fazla değişmesine yol açmaktadır.



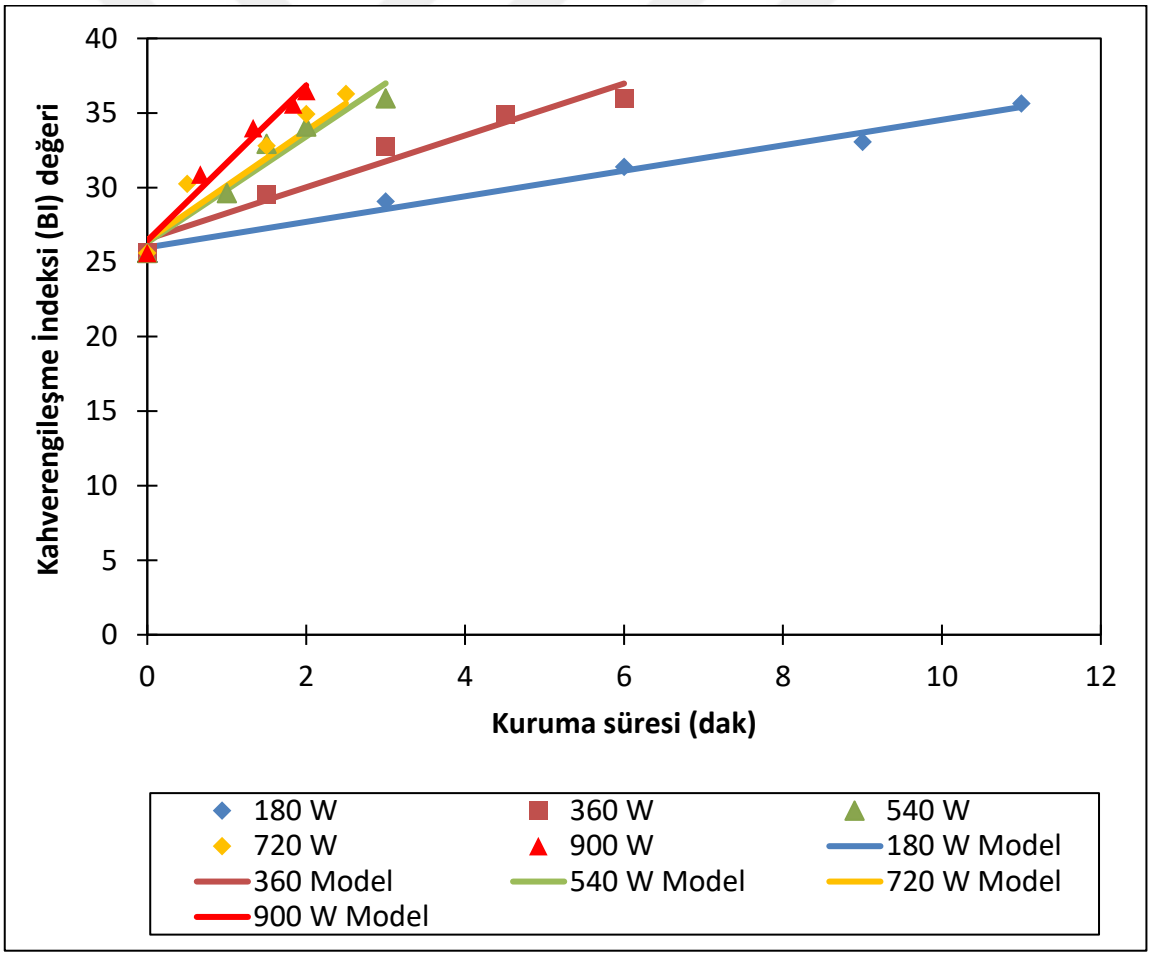
Şekil 8.10 Farklı mikrodalga çıkış güçlerinde kurutulan dut yaprağı numunelerine ait Renk Açısı (HA) değerlerinin kuruma süresi ile değişimi (Numune ağırlığı = 20 g)

Çizelge 8.9 Farklı mikrodalga çıkış güçlerinde kurutulan dut yaprağı numunelerine ait kuruma süresine karşılık elde edilen Renk Açısı (HA) değerlerine uyan Sıfırıncı Dereceden Kinetik Model denklemi kullanılarak hesaplanan model sabitleri ve istatistiksel veriler (Numune ağırlığı = 20 g)

Mikrodalga Çıkış Gücü (W)	k (dak^{-1})	C_0 (birimsiz)	R^2	δ
180	0.1258	128.21	0.9806	0.1289
360	0.3234	128.14	0.9975	0.0658
540	0.7149	128.11	0.9983	0.0536
720	0.8194	128.11	0.9899	0.1399
900	1.5409	128.25	0.9922	0.1868

Kahverengileşme İndeksi (BI) değeri:

Denklem (7.9) kullanılarak hesaplanan Kahverengileşme İndeksi (BI) değerlerinin kuruma süresi ile değişimi Şekil 8.11'de; matematiksel model sabitleri ve istatistiksel veriler ise Çizelge 8.10'da sunulmuştur. Şekil 8.11 incelendiğinde; Kahverengileşme İndeksi (BI) değerlerinin kuruma süresine bağlı olarak arttığı gözlemlenmiştir. Kahverengileşme İndeksi (BI) değerleri mikrodalga çıkış gücü 180 W iken 25.61 değerinden 35.63 değerine; mikrodalga çıkış gücü 900 W iken 25.61 değerinden 36.48 değerine artmıştır. Bu durum; yüksek mikrodalga çıkış güçlerinde meydana gelen enzimatik olan ve enzimatik olmayan reaksiyonlar sonucunda oluşan kahverengi pigmentlerden dolayı gıdanın renginin daha koyu bir renge sahip olduğuna işaret etmektedir.



Şekil 8.11 Farklı mikrodalga çıkış güçlerinde kurutulan dut yaprağı numunelerine ait Kahverengileşme İndeksi (BI) değerlerinin kuruma süresi ile değişimi (Numune ağırlığı = 20 g)

Çizelge 8.10 Farklı mikrodalga çıkış güçlerinde kurutulan dut yaprağı numunelerine ait kuruma süresine karşılık elde edilen Kahverengileşme İndeksi (BI) değerlerine uyan Sıfırıncı Dereceden Kinetik Model denklemi kullanılarak hesaplanan model sabitleri ve istatistiksel veriler (Numune ağırlığı = 20 g)

Mikrodalga Çıkış Gücü (W)	k (dak^{-1})	C_0 (birimsiz)	R^2	δ
180	0.8563	25.98	0.9921	0.5531
360	1.7402	26.53	0.9761	0.9606
540	3.5597	26.31	0.9824	1.1019
720	3.6706	26.47	0.9709	1.1696
900	5.2113	26.43	0.9851	0.8755

Elde edilen deneysel veriler kullanılarak yapılan matematiksel modelleme çalışmaları sonucunda; Sıfırıncı Dereceden Kinetik Model denklemine ait kinetik hız sabiti (k); mikrodalga çıkış gücü 180 W değerinden 900 W değerine arttığında, 0.8563 dak^{-1} değerinden 5.2113 dak^{-1} değerine ulaşmıştır.

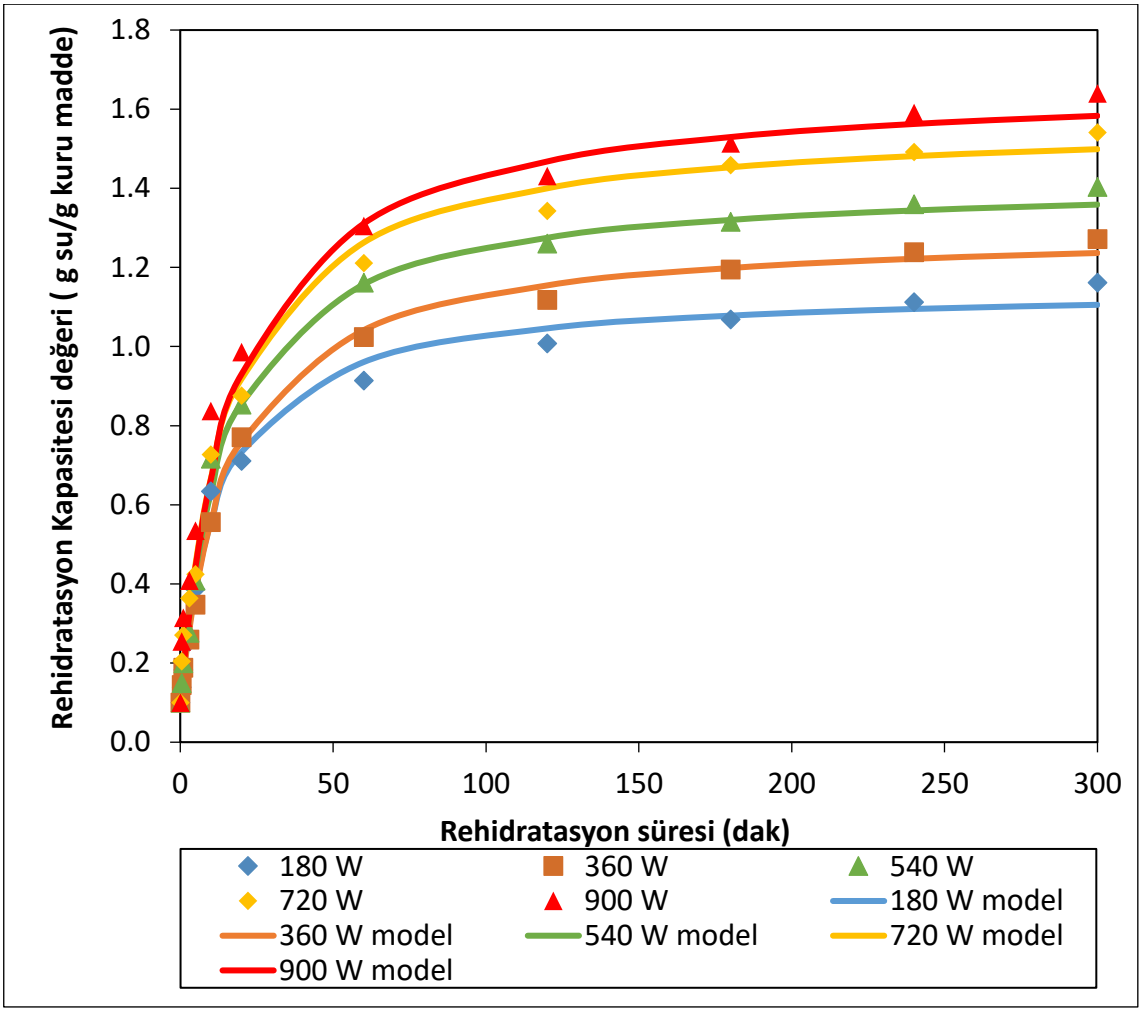
8.1.3 Mikrodalga Çıkış Gücünün Dut Yapraklarının Rehidratasyon Kapasitesi Üzerindeki Etkisi

Mikrodalga ile kurutma yöntemi kullanılarak 20 g dut yaprağı numunesinin beş farklı mikrodalga çıkış gücünde (180, 360, 540, 720 ve 900 W) kurutulmasından sonra elde edilen kuru ürünler bir gün süre ile desikatörde bekletilmiştir ve daha sonra numuneler 30 °C sıcaklıkta 250 mL distile suda rehidratasyon işlemine maruz bırakılmıştır. Belirli zaman aralıklarında numuneler su banyosundan çıkarılıp numunelerin yüzeyinde bulunan su fazlası kağıt havlu yardımı ile uzaklaştırılarak tartım işlemleri gerçekleştirilmiştir. Rehidratasyon kapasitesi değerleri, Denklem (7.3) kullanılarak hesaplanmıştır ve Ek 3 Çizelge E3.1-E3.5'te sırası ile sunulmuştur. Rehidratasyon kapasitesi değerlerinin rehidratasyonu süresi ile değişimini içeren deneysel değerler dört rehidatasyon model denklemi kullanılarak modellenmiştir. Matematiksel model denklemlerine ait istatistiksel veriler Çizelge 8.11'de verilmiştir. Çizelge 8.11'de verilen istatistiksel veriler incelendiğinde; Peleg Model denkleminin dut yapraklarının rehidratasyon kinetiğine uyan en iyi model olduğu bulunmuştur. Rehidratasyon süresine bağlı olarak elde edilen deneysel değerler ile teorik değerler Şekil 8.12'de; matematiksel

model sabitleri ve istatistiksel veriler ise Çizelge 8.12'de sunulmuştur.

Çizelge 8.11 Farklı mikrodalga çıkış güçlerinde kurutulan dut yaprağı numunelerine ait rehidratasyon kinetiğinin modellenmesi için kullanılan matematiksel modeller ve hesaplanan istatistiksel veriler (Numune ağırlığı = 20 g)

Modeller	Mikrodalga Çıkış Gücü (W)	R^2	δ
Peleg Model $\mathbf{M_t = M_0 + \frac{t}{k_1 + k_2 t}}$	180	0.9957	0.0399
	360	0.9973	0.0361
	540	0.9967	0.0436
	720	0.9957	0.0544
	900	0.9964	0.0527
Weibull Model $\mathbf{M_t = M_e + (M_0 - M_e)\exp\left[-\left(\frac{t}{\beta}\right)^{\alpha}\right]}$	180	0.9876	0.0713
	360	0.9941	0.0563
	540	0.9933	0.0664
	720	0.9873	0.0974
	900	0.9839	0.1137
Birinci Dereceden Rehidratasyon Kinetik Modeli $\mathbf{M_t = M_e + (M_0 - M_e)\exp(-k_{R1}t)}$	180	0.9876	0.0676
	360	0.9941	0.0534
	540	0.9933	0.0630
	720	0.9873	0.0924
	900	0.9839	0.1079
Eksponansiyel Assosiasyon Modeli $\mathbf{M_t = M_e[1 - \exp(-k_{R2}t)]}$	180	0.9766	0.0928
	360	0.9840	0.0874
	540	0.9858	0.0919
	720	0.9749	0.1294
	900	0.9713	0.1434



Şekil 8.12 Farklı mikrodalga çıkış güçlerinde kurutulan dut yaprağı numunelerine ait elde edilen rehidratasyon kapasitesi değerlerinin rehidratasyon süresi ile değişimi (Numune ağırlığı = 20 g, Rehidratasyon sıcaklığı = 30 °C)

Çizelge 8.12 Farklı mikrodalga çıkış güçlerinde kurutulan dut yaprağı numunelerine ait rehidratasyon süresine karşılık elde edilen rehidratasyon kapasitesi değerlerine uyan Peleg Model denklemi kullanılarak hesaplanan model sabitleri ve istatistiksel veriler (Numune ağırlığı = 20 g, Rehidratasyon sıcaklığı = 30 °C)

Mikrodalga Çıkış Gücü (W)	k_1*	k_2**	R^2	δ
180	12.53	0.9528	0.9957	0.0399
360	13.67	0.8344	0.9973	0.0361
540	11.35	0.7566	0.9967	0.0436
720	10.88	0.6786	0.9957	0.0544
900	11.38	0.6363	0.9964	0.0527

* dak.g kuru madde/g su, ** g kuru madde/g su

Şekil 8.12'de görüldüğü gibi; mikrodalga çıkış gücü arttıkça absorplanan su miktarı artmış, ancak bu artışın yüksek mikrodalga güçlerinde kayda değer bir artış olmadığı görülmüştür. Mikrodalga yöntemi ile kurutulmuş dut yapraklarının absorplayabildiği su miktarı, kurutulmadan önceki sahip olduğu su miktarının %69'u kadardır. Bu durum; kurutma ve rehidratasyon aşamalarında numunelerin yapılarında bazı değişikliklerin ya da dokusal farklılıklarının meydana geldiğini göstermektedir [91].

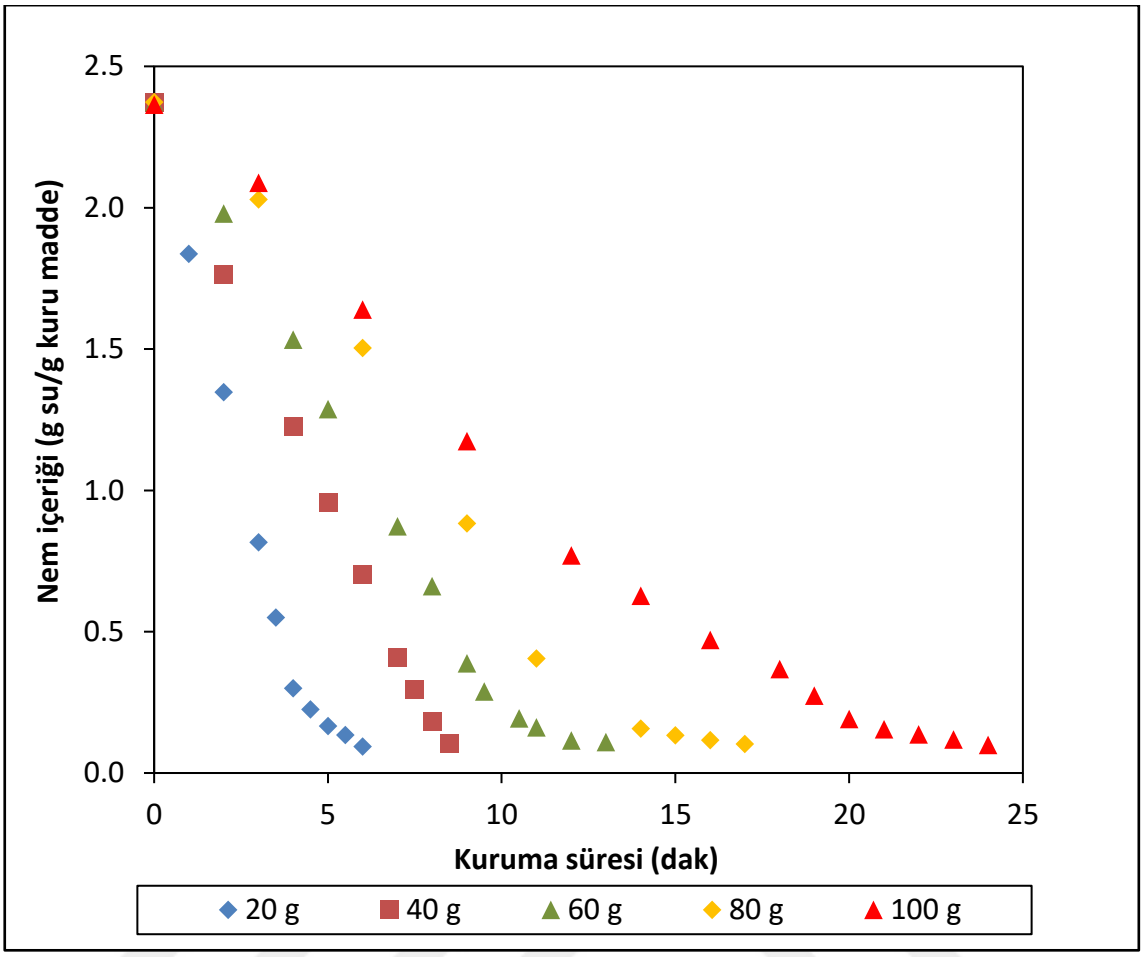
8.2 Sabit Mikrodalga Çıkış Gücünde Kurutulan Dut Yaprağı Numunesinin Ağırlığının Kuruma Üzerindeki Etkisi

8.2.1 Dut Yapraklarının Ağırlığının Kuruma Kinetiği Üzerindeki Etkisi

8.2.1.1 Nem içeriği değişimi

360 W mikrodalga sabit çıkış gücünde 20, 40, 60, 80 ve 100 g ağırlığındaki dut yaprağı numuneleri ile yapılan kurutma işlemi sonucunda elde edilen numunelerin nem içeriği değerleri Ek 4. Çizelge 4.1-4.5'te sırası ile verilmiş ve Şekil 8.13'de grafiksel olarak sunulmuştur. Dut yaprağı numunelerinin başlangıç nem içeriği M_0 = 2.37 g su/g kuru madde olarak bulunmuştur.

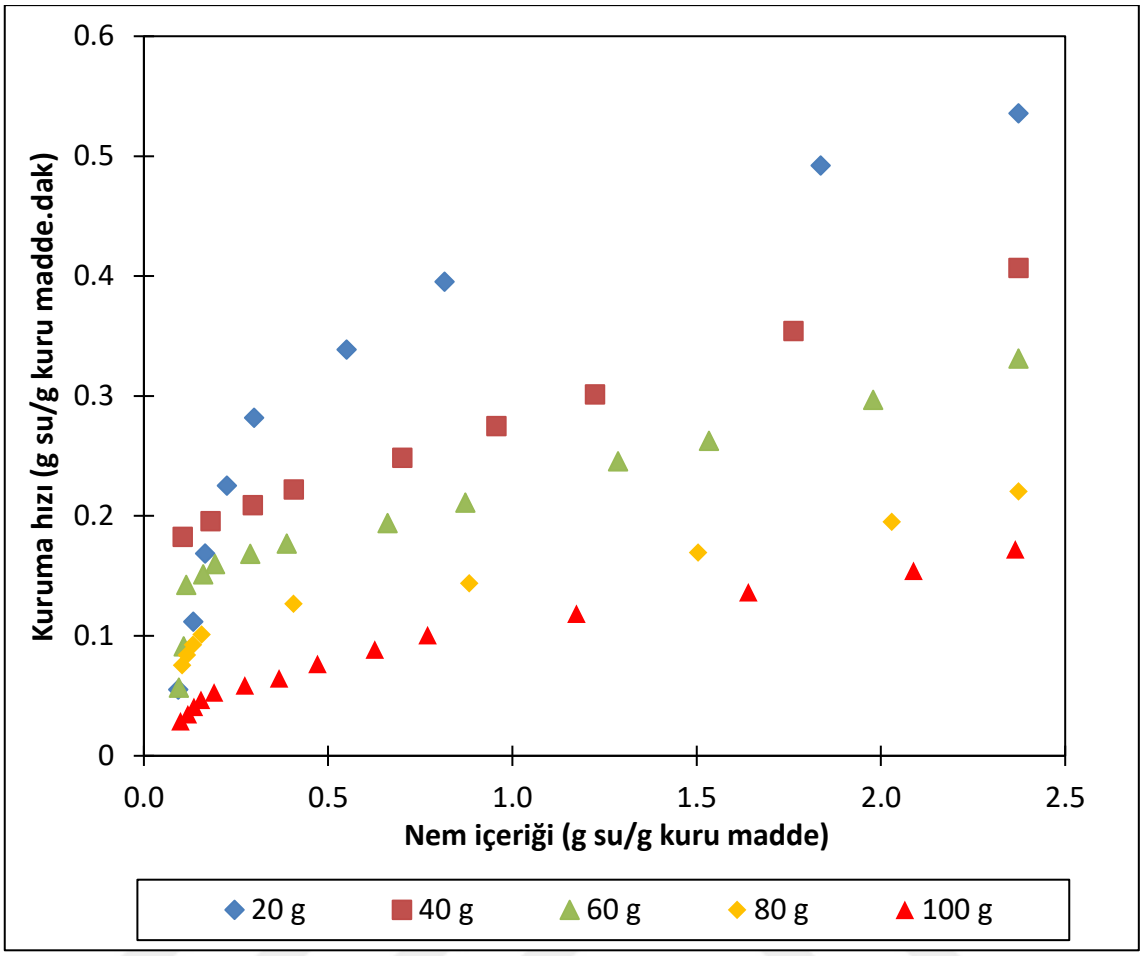
Yapılan deneyler sonucunda, kurutulan dut yapraklarının ağırlığı arttırıldığında kuruma sürelerinin arttığı gözlemlenmiştir. Nem içeriğinin 2.37 g su/g kuru madde değerinden 0.1 g su/g kuru madde değerine düşmesi için gerekli olan sürenin 20 g numune için 6 dakika iken, 100 g numune için bu sürenin 24 dakika olduğu tespit edilmiştir (kuruma süresi 4 katı kadar artmıştır). 100 g numune ağırlığı yerine 20 g numune ağırlığı kullanıldığında kuruma süresinin (24 dakikadan 6 dakikaya düştüğü) %75 azaldığı gözlemlenmiştir.



Şekil 8.13 Farklı ağırlıklarda kurutulan dut yaprağı numunelerinin nem içerik değerlerinin kuruma süresi ile değişimi (Mikrodalga çıkış gücü = 360 W)

8.2.1.2 Kuruma hızı değişimi

Numune ağırlığının kuruma hızı üzerindeki etkisini incelemek için; 20, 40, 60 ve 80, 100 g ağırlığındaki dut yaprakları 360 W sabit mikrodalga çıkış gücünde kurutulmuştur. Kurutulan dut yapraklarına ait kuruma hız değerleri Şekil 8.14'te verilmiştir. Şekil 8.14 incelendiğinde, dut yaprağı numunesinin kurutulması sırasında azalan hızda kuruma periyodu gözlemlenmiştir. Bu periyod süresince, kuruma hızı değerleri 20 g dut yaprağı numunesi için kuruma hızı 0.54 g su/g kuru madde.dak değerinden 0.11 g su/g kuru madde.dak değerine; 100 g dut yaprağı numunesi için ise 0.17 g su/g kuru madde.dak değerinden 0.03 g su/g kuru madde.dak değerine azalmıştır.



Şekil 8.14 Farklı ağırlıklarda kurutulan dut yaprağı numunelerine ait kuruma hızlarının nem içeriği ile değişimi (Mikrodalga çıkış gücü = 360 W)

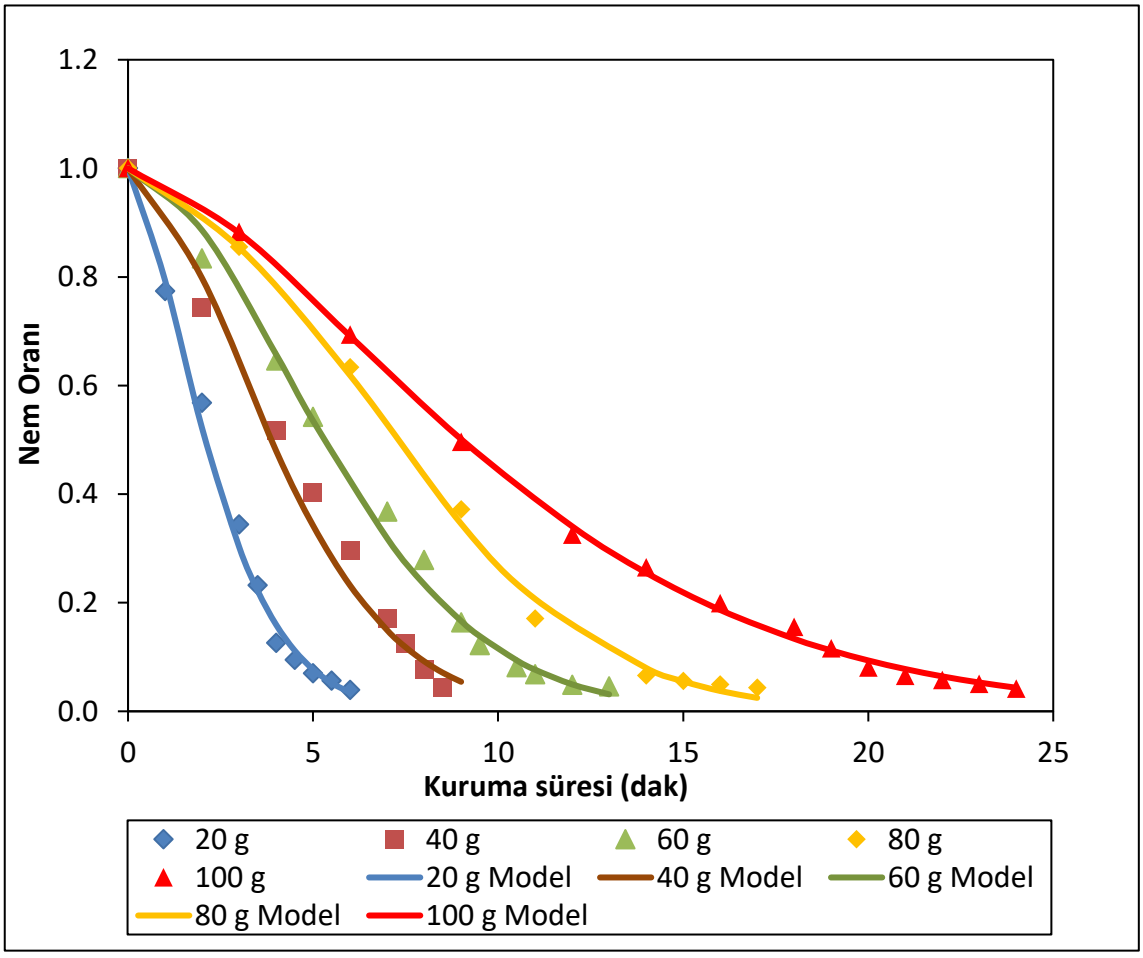
8.2.1.3 Kuruma kinetiğine ait model çalışmaları

Mikrodalga yöntemi kullanılarak 360 W sabit mikrodalga çıkış gücünde kurutulan; 20, 40, 60, 80 ve 100 g dut yaprağı numunelerinin kurutulması sırasında elde edilen nem oranı değerlerinin kuruma süresi ile değişimini içeren deneysel değerler, dört ayrı ince tabaka kurutma model denklemi ile modellenmiştir. Matematiksel modellere ait istatistiksel veriler Çizelge 8.13'te verilmiştir. Elde edilen verilerden; yüksek R^2 ve düşük standart sapma (δ) değerleri ile Page Model denkleminin dut yapraklarının kuruma kinetiğine uyan en iyi model olduğu bulunmuştur.

Çizelge 8.13 Farklı numune ağırlıklarında kurutulan dut yaprağı numunelerinin kuruma kinetiğinin modellenmesi için kullanılan matematiksel modeller ve hesaplanan istatistiksel veriler (Mikrodalga çıkış gücü = 360 W)

Modeller	Numune Ağırlığı (g)	R^2	δ
Page Model $\mathbf{MR = exp(-k.t^n)}$	20	0.9981	0.0228
	40	0.9940	0.0381
	60	0.9953	0.0340
	80	0.9984	0.0231
	100	0.9995	0.0107
Henderson ve Pabis Model $\mathbf{MR = A.exp(-k.t)}$	20	0.9378	0.0867
	40	0.9557	0.0327
	60	0.9678	0.0455
	80	0.9765	0.0946
	100	0.9647	0.0921
Lewis Model $\mathbf{MR = exp(-k.t)}$	20	0.9327	0.0274
	40	0.9449	0.0341
	60	0.9545	0.0548
	80	0.9675	0.0152
	100	0.9608	0.0143
Logaritmik Model $\mathbf{MR = A.exp(-k.t) + B}$	20	0.9922	0.0227
	40	0.9931	0.0222
	60	0.9945	0.0132
	80	0.9956	0.0119
	100	0.9917	0.0248

Nem oranı değerlerinin kuruma süresi ile değişimi için elde edilen deneysel değerler ile teorik değerler Şekil 8.15'de; matematiksel model sabitleri ve istatistiksel veriler ise Çizelge 8.14'te sunulmuştur. Çizelge 8.14 incelendiğinde; Page Model denklemine ait kinetik hız sabiti (k); kurutulan numune miktarı arttıkça 0.2309 dak^{-1} değerinden 0.0233 dak^{-1} değerine azalmıştır. Bu durum, numune ağırlığı az olduğunda gıdanın içinde yüksek sıcaklıkların oluşmasından dolayı kurumanın daha kısa sürede meydana geldiğini göstermektedir.



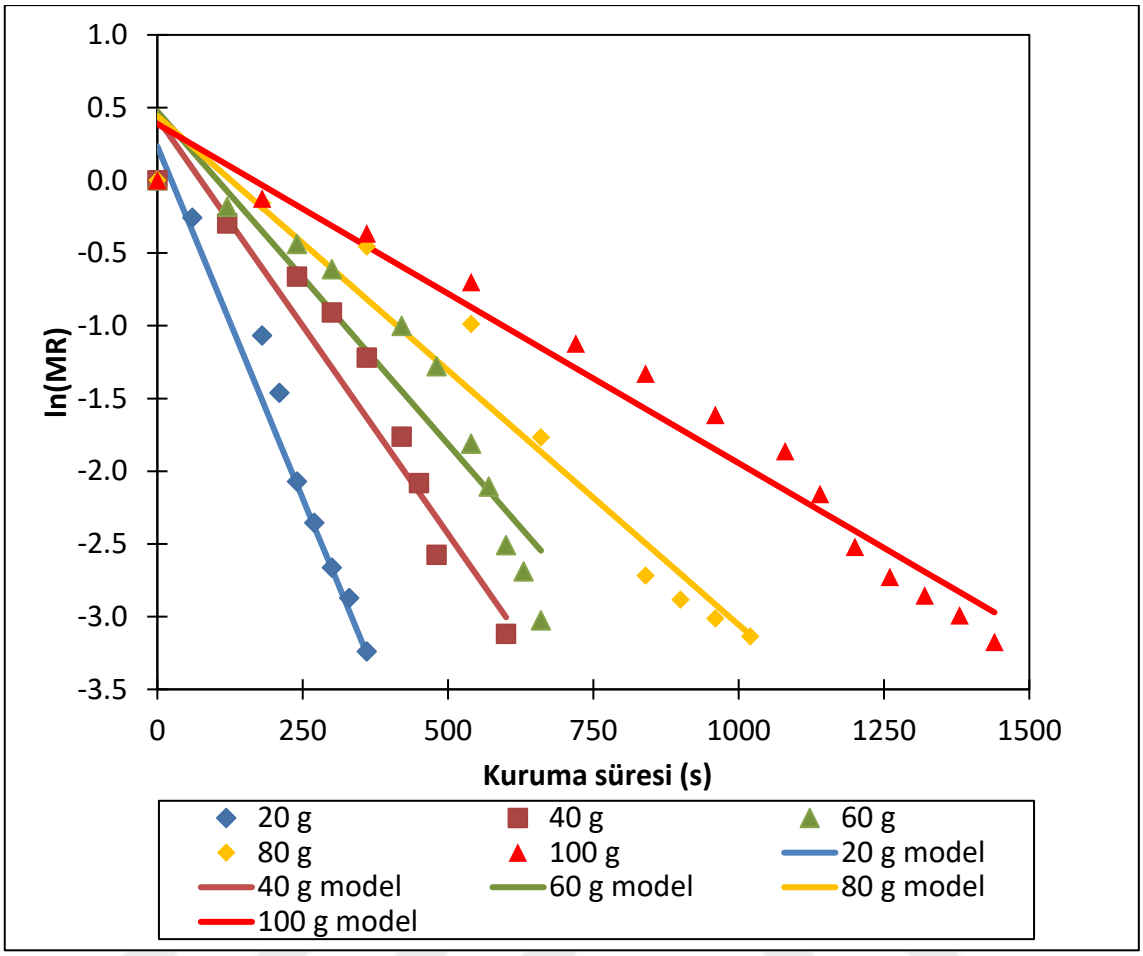
Şekil 8.15 Farklı ağırlıklarda kurutulan dut yaprağı numunelerine ait nem oranı değerlerinin kuruma süresi ile değişimi (Mikrodalga çıkış gücü = 360 W)

Çizelge 8.14 Farklı ağırlıklarda kurutulan dut yaprağı numunelerine ait kuruma süresine karşılık elde edilen nem oranı değerlerine uyan Page Model denklemi kullanılarak hesaplanan model sabitleri ve istatistiksel veriler (Mikrodalga çıkış gücü = 360 W)

Numune Ağırlığı (g)	k (dak^{-1})	n (birimsiz)	R^2	δ
20	0.2309	1.4950	0.9981	0.0228
40	0.0696	1.6591	0.9940	0.0381
60	0.0349	1.7914	0.9953	0.0340
80	0.0273	1.8604	0.9984	0.0231
100	0.0233	1.5426	0.9995	0.0107

8.2.1.4 Efektif Difüzivite Katsayısının hesaplanması

Efektif Difüzivite Katsayısı, dilim kabulü yapılan dut yapraklarının beş farklı 20, 40, 60, 80 ve 100 g numune ağırlığında kurutulmaları sırasında meydana gelen kütle transferinin bir göstergesidir ve Denklem (7.5)'de verilen lineer denklem kullanılarak hesaplanmıştır. Deneysel değerler ile teorik değerler Şekil 8.16'da; matematiksel model sabitleri ve istatistiksel veriler ise Çizelge 8.15'te verilmiştir. Çizelge 8.15'te görüldüğü gibi, numune ağırlığı arttıkça Efektif Difüzivite Katsayısı değerleri düşmektedir. Bu durum; numune ağırlığı az olduğunda gıdanın içerisinde meydana gelen sıcaklıkların artması ile kütle transferinin de artış göstermesi olarak açıklanabilir.



Şekil 8.16 Farklı ağırlıklarda kurutulan dut yaprağı numunelerine ait ln(MR) değerlerinin kuruma süresi ile değişimi (Mikrodalga çıkış gücü = 360 W)

Çizelge 8.15 Farklı ağırlıklarda kurutulan dut yaprağı numunelerine ait hesaplanan Efektif Difüzivite Katsayısı değerleri ve istatistiksel veriler (Mikrodalga çıkış gücü = 360 W)

Numune Ağırlığı (g)	D_{eff} x 10^{10} (m^2/s)	R^2	δ
20	1.8137	0.9795	0.2566
40	1.0718	0.9571	0.3942
60	0.8577	0.9679	0.3579
80	0.6555	0.9762	0.3016
100	0.4369	0.9820	0.2164

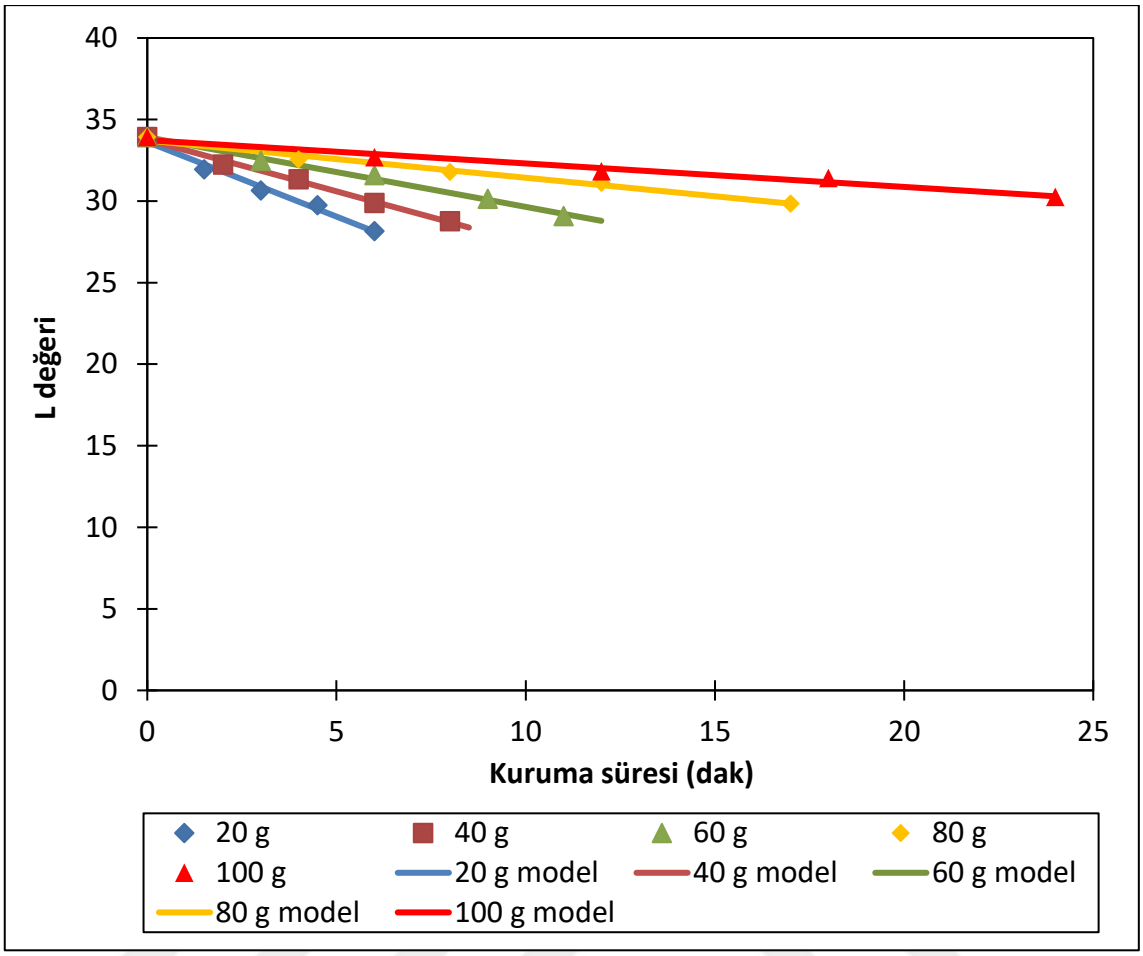
8.2.2 Dut Yaprağı Numunesinin Ağırlığının Renk Değişimi Üzerindeki Etkisi

Mikrodalga ile kurutma yöntemi kullanılarak dut yapraklarının zamana bağlı olarak renk değişimleri renk ölçüm cihazı ile elde edilmiştir. Elde edilen L, a, b ve Toplam Renk Değişimi (ΔE) değerlerine ait deneysel değerler Ek 5. Çizelge E5.1-5.5'te sırası ile verilmiştir.

Elde edilen deneysel veriler kullanılarak yapılan matematiksel modelleme çalışmaları sonucunda; L, a, b, Toplam Renk Değişimi (ΔE), Kroma (CV), Renk Açısı (HA) ve Kahverengileşme İndeksi (BI) değerlerinin; Sıfırıncı Dereceden Kinetik Model ve Birinci Dereceden Kinetik Model denklemleri içerisinde, yüksek R^2 ve düşük standart sapma (δ) değerlerine sahip olan Sıfırıncı Dereceden Kinetik Model denklemi (Denklem 7.14) ile uyumlu olduğu gözlemlenmiştir. L, a, b, Toplam Renk Değişimi (ΔE), Kroma (CV), Renk Açısı (HA) ve Kahverengileşme İndeksi (BI) değerlerinin kuruma süresi ile değişimi Şekil 8.17-23'te; matematiksel model sabitleri ve istatistik veriler ise Çizelge 8.16-22'de sırasıyla sunulmuştur.

L değeri:

360 W sabit mikrodalga çıkış gücünde farklı ağırlıklardaki dut yapraklarının kurutulması sonucu elde edilen L değerlerinin kuruma süresi ile değişimi Şekil 8.17'de; matematiksel model sabitleri ve istatistiksel veriler ise Çizelge 8.16'da verilmiştir. Şekil 8.17'den de görülebileceği gibi, L değeri kuruma süresine bağlı olarak düşmüştür. L değeri; 20 g numune için 33.92 değerinden 28.16 değerine, 100 g numune için 33.92 değerinden 30.25 değerine düşmüştür. Elde edilen deneysel veriler kullanılarak yapılan matematiksel modelleme çalışmaları sonucunda; Sıfırıncı Dereceden Kinetik Model denklemine ait kinetik hız sabiti (k); 20 g numune değerinden 100 g değerine arttırıldığında, 0.9147 dak^{-1} değerinden 0.1435 dak^{-1} değerine azalmıştır. Bu durum, gıdanın renginin koyulaşmaya başladığını göstermektedir.



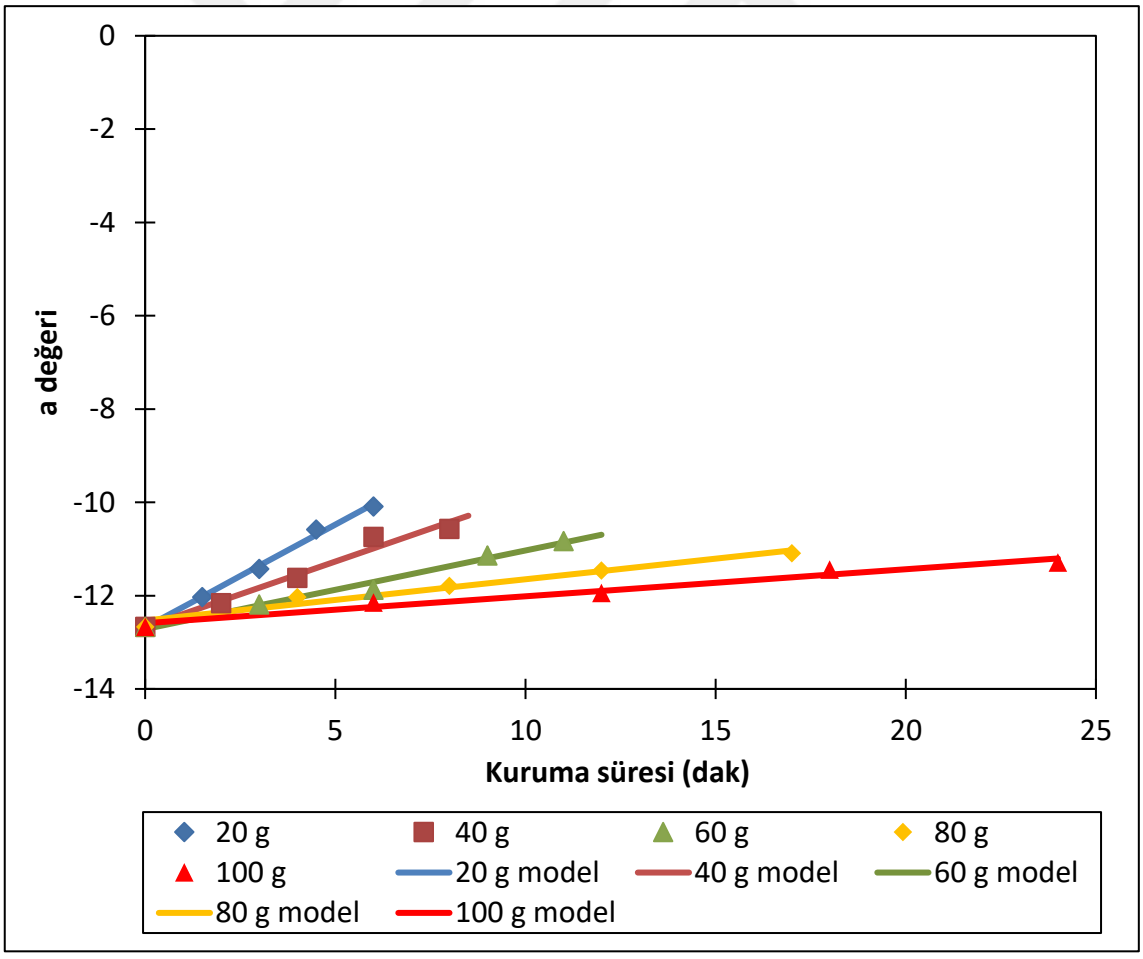
Şekil 8.17 Farklı ağırlıklarda kurutulan dut yaprağı numunelerine ait L değerlerinin kuruma süresi ile değişimi (Mikrodalga çıkış gücü = 360 W)

Çizelge 8.16 Farklı ağırlıklarda kurutulan dut yaprağı numunelerine ait kuruma süresine karşılık elde edilen L değerlerine uyan Sıfırıncı Dereceden Kinetik Model denklemi kullanılarak hesaplanan model sabitleri ve istatistiksel veriler (Mikrodalga çıkış gücü = 360 W)

Numune Ağırlığı (g)	k (dak^{-1})	C_0 (birimsiz)	R^2	δ
20	0.9147	33.63	0.9923	0.3121
40	0.6335	33.76	0.9965	0.1931
60	0.4273	33.92	0.9963	0.1886
80	0.2280	33.72	0.9929	0.2092
100	0.1435	33.74	0.9883	0.2431

a değeri:

360 W sabit mikrodalga çıkış gücünde farklı ağırlıklardaki dut yapraklarının kurutulması sonucu elde edilen a değerlerinin kuruma süresi ile değişimi Şekil 8.18'de; matematiksel model sabitleri ve istatistiksel veriler ise Çizelge 8.17'de verilmiştir. Şekil 8.18'de görüldüğü üzere, a değeri kuruma süresine bağlı olarak artmıştır. Bu durum, gıdanın renginin yeşilden kahverengiye dönmeye başladığının bir ölçütüdür. a değeri; 20 g numune için -12.67 değerinden -10.09 değerine; 100 g numune için -12.67 değerinden -11.29 değerine artmıştır. Elde edilen deneysel veriler kullanılarak yapılan matematiksel modelleme çalışmaları sonucunda; Sıfırıncı Dereceden Kinetik Model denklemine ait kinetik hız sabiti (k); numune ağırlığı 20 g'dan 100 g'a arttırıldığında, Lopez vd. [88] tarafından da belirtildiği gibi düşük miktarlarda gıdanın içinde oluşan ve yüksek sıcaklıkta meydana gelen kahverengi pigmentlerin azalması sonucunda k değeri 0.4407 dak^{-1} değerinden 0.0578 dak^{-1} değerine düşmüştür.



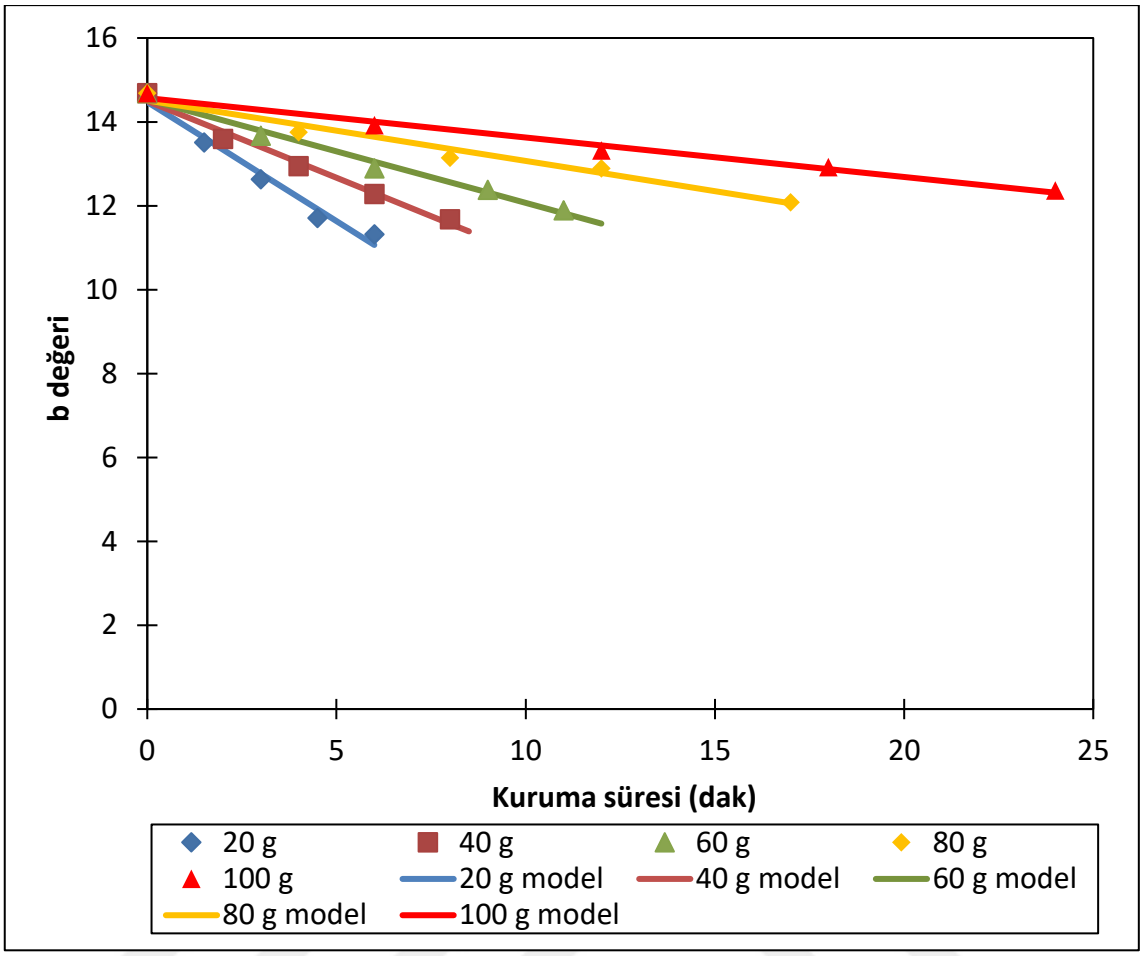
Şekil 8.18 Farklı ağırlıklarda kurutulan dut yaprağı numunelerine ait a değerlerinin kuruma süresi ile değişimi (Mikrodalga çıkış gücü = 360 W)

Çizelge 8.17 Farklı ağırlıklarda kurutulan dut yaprağı numunelerine ait kuruma süresine karşılık elde edilen a değerlerine uyan Sıfırıncı Dereceden Kinetik Model denklemi kullanılarak hesaplanan model sabitleri ve istatistiksel veriler (Mikrodalga çıkış gücü = 360 W)

Numune Ağırlığı (g)	k (dak^{-1})	C_0 (birimsiz)	R^2	δ
20	0.4407	-12.68	0.9975	0.0856
40	0.2810	-12.68	0.9861	0.1727
60	0.1685	-12.72	0.9924	0.1070
80	0.0884	-12.53	0.9837	0.1239
100	0.0578	-12.59	0.9851	0.1104

b değeri:

360 W sabit mikrodalga çıkış gücünde farklı ağırlıklardaki dut yapraklarının kurutulması sonucu elde edilen b değerlerinin kuruma süresi ile değişimi Şekil 8.19'da; matematiksel model sabitleri ve istatistiksel veriler ise Çizelge 8.18'de verilmiştir. Şekil 8.19'da görüldüğü üzere, b değeri kuruma süresine bağlı olarak düşmüştür. b değeri; numune ağırlığı 20 g iken 14.68 değerinden 11.32 değerine, numune ağırlığı 100 g iken 14.68 değerinden 12.36 değerine düşmüştür. Elde edilen deneysel veriler kullanılarak yapılan matematiksel modelleme çalışmaları sonucunda; Sıfırıncı Dereceden Kinetik Model denklemine ait kinetik hız sabiti (k); numune ağırlığı 20 g'dan 100 g'a arttırıldığında, 0.5680 dak^{-1} değerinden 0.0940 dak^{-1} değerine azalmıştır (Çizelge 8.17).



Şekil 8.19 Farklı ağırlıklarda kurutulan dut yaprağı numunelerine ait b değerlerinin kuruma süresi ile değişimi (Mikrodalga çıkış gücü = 360 W)

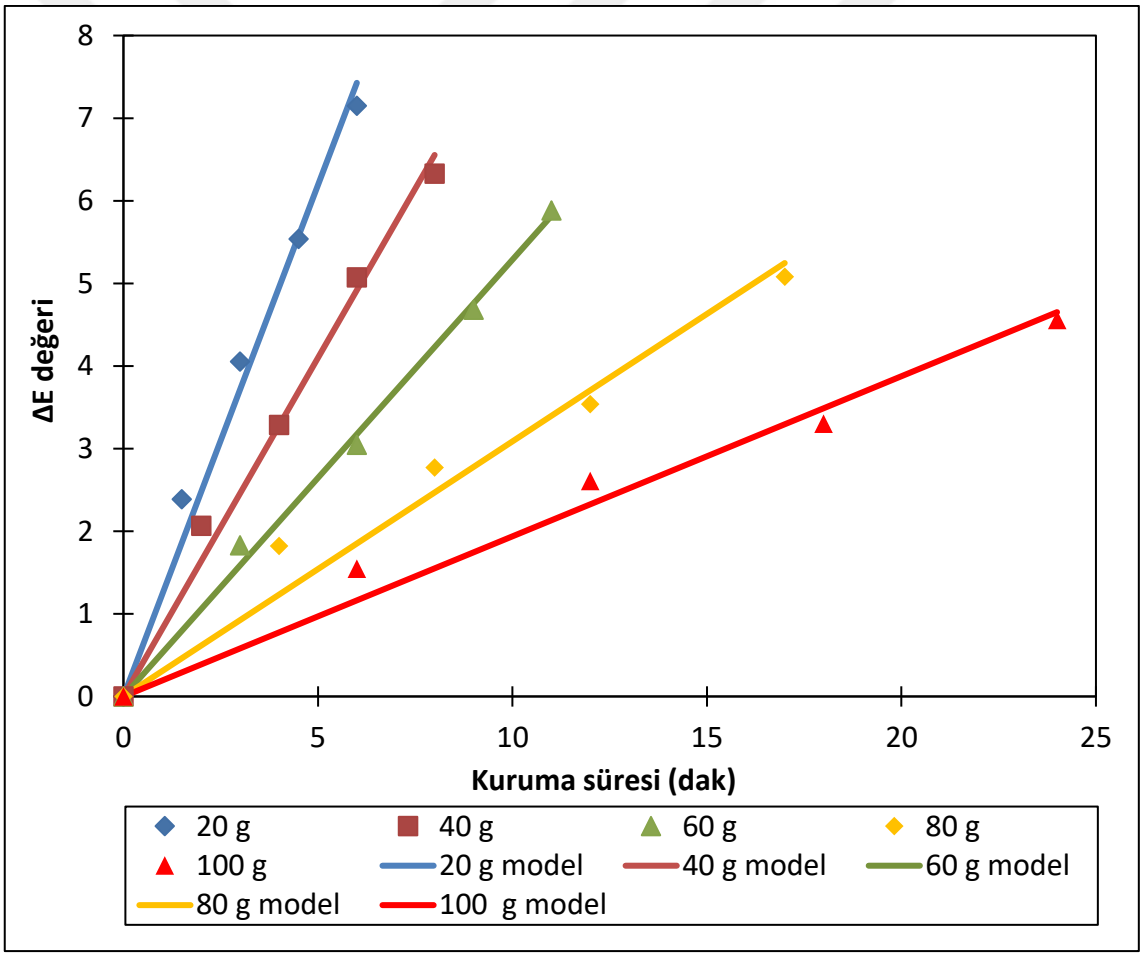
Çizelge 8.18 Farklı ağırlıklarda kurutulan dut yaprağı numunelerine ait kuruma süresine karşılık elde edilen b değerlerine uyan Sıfırıncı Dereceden Kinetik Model denklemi kullanılarak hesaplanan model sabitleri ve istatistiksel veriler (Mikrodalga çıkış gücü = 360 W)

Numune Ağırlığı (g)	k (dak^{-1})	C_0 (birimsiz)	R^2	δ
20	0.5680	14.47	0.9877	0.2465
40	0.3655	14.49	0.9921	0.1688
60	0.2462	14.53	0.9925	0.1557
80	0.1442	14.51	0.9882	0.1719
100	0.0940	14.57	0.9940	0.1129

Toplam Renk Değişimi (ΔE) değeri:

Toplam Renk Değişimi (ΔE) değerleri, Denklem (7.6) kullanılarak hesaplanmıştır. Toplam Renk Değişimi (ΔE) değerlerinin numune ağırlığına göre kuruma süresi ile değişimi Şekil 8.20'de; matematiksel model sabitleri ve istatistiksel veriler ise Çizelge 8.19'da verilmiştir. Toplam Renk Değişimi (ΔE) değerleri; numune ağırlığı 20 g iken 7.15 değerine; 100 g iken 4.56 değerine azalmıştır.

Elde edilen deneysel veriler kullanılarak yapılan matematiksel modelleme çalışmaları sonucunda; Sıfırıncı Dereceden Kinetik Model denklemine ait kinetik hız sabiti (k); numune ağırlığı 20 g'dan 100 g'a arttırıldığında, 1.2379 dak^{-1} değerinden 0.1938 dak^{-1} değerine azalmıştır.



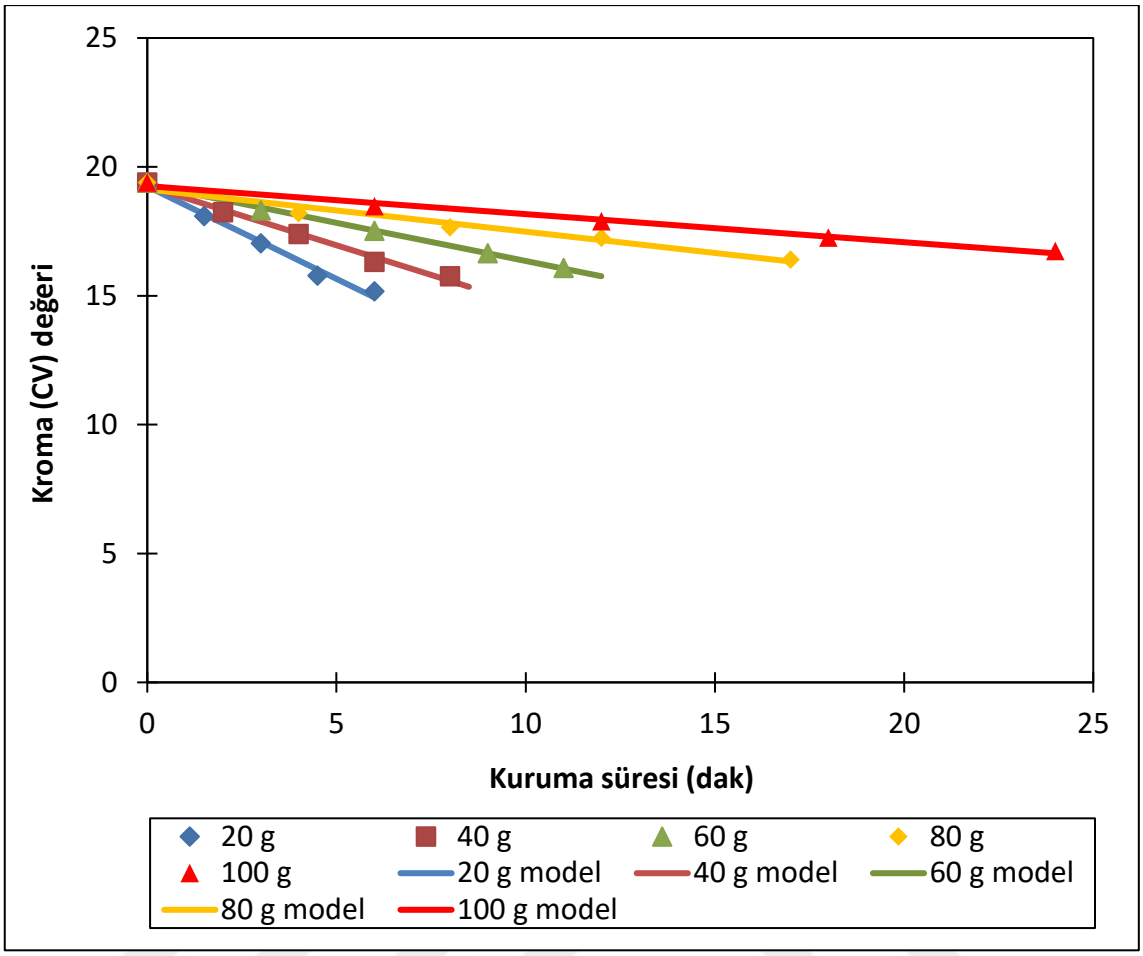
Şekil 8.20 Farklı ağırlıklarda kurutulan dut yaprağı numunelerine ait Toplam Renk Değişimi (ΔE) değerlerinin kuruma süresi ile değişimi (Mikrodalga çıkış gücü = 360 W)

Çizelge 8.19 Farklı ağırlıklarda kurutulan dut yaprağı numunelerine ait kuruma süresine karşılık elde edilen Toplam Renk Değişimi (ΔE) değerlerine uyan Sıfırıncı Dereceden Kinetik Model denklemi kullanılarak hesaplanan model sabitleri ve istatistiksel veriler (Mikrodalga çıkış gücü = 360 W)

Numune Ağırlığı (g)	k (dak^{-1})	R^2	δ
20	1.2379	0.9922	0.3446
40	0.8193	0.9947	0.2545
60	0.5287	0.9979	0.1469
80	0.3086	0.9828	0.3507
100	0.1938	0.9888	0.2588

Kroma (CV) değeri:

Denklem 7.7 kullanılarak elde edilen Kroma (CV) değerlerinin numune ağırlığına göre kuruma süresi ile değişimi Şekil 8.21'de; matematiksel model sabitleri ve istatistiksel veriler ise Çizelge 8.20'de verilmiştir. Şekil 8.21 incelendiğinde; Kroma (CV) değerinin kuruma süresine bağlı olarak azaldığı görülmüştür. Kroma (CV) değerleri; numune ağırlığı 20 g iken 19.39 değerinden 15.16 değerine; numune ağırlığı 100 g iken 19.39 değerinden 16.74 değerine düşmüştür. Elde edilen deneysel veriler kullanılarak yapılan matematiksel modelleme çalışmaları sonucunda; Sıfırıncı Dereceden Kinetik Model denklemine ait kinetik hız sabiti (k); numune ağırlığı 20 g'dan 100 g'a arttırıldığında 0.7175 dak^{-1} değerinden 0.1087 dak^{-1} değerine azalmıştır.



Şekil 8.21 Farklı ağırlıklarda kurutulan dut yapraklarına ait Kroma (CV) değerlerinin kuruma süresi ile değişimi (Mikrodalga çıkış gücü = 360 W)

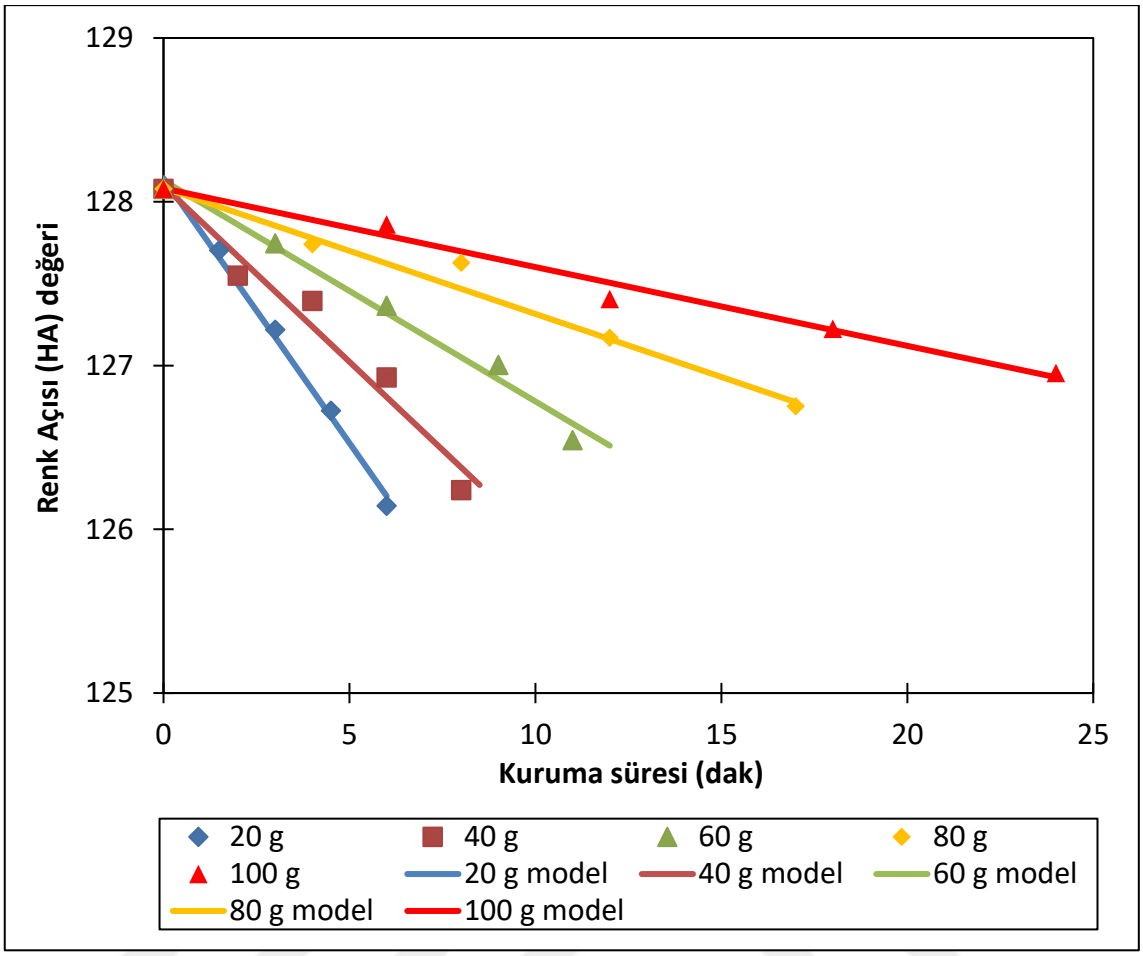
Çizelge 8.20 Farklı ağırlıklarda kurutulan dut yaprağı numunelerine ait kuruma süresine karşılık elde edilen Kroma (CV) değerlerine uyan Sıfırıncı Dereceden Kinetik Model denklemi kullanılarak hesaplanan model sabitleri ve istatistiksel veriler (Mikrodalga çıkış gücü = 360 W)

Numune Ağırlığı (g)	k (dak^{-1})	C_0 (birimsiz)	R^2	δ
20	0.7175	19.24	0.9942	0.2132
40	0.4599	19.26	0.9945	0.1763
60	0.2960	19.31	0.9986	0.0795
80	0.1646	19.13	0.9814	0.2473
100	0.1087	19.26	0.9943	0.1278

Renk Açısı (HA) değeri:

Denklem 7.8 kullanılarak elde edilen Renk Açısı (HA) değerlerinin numune ağırlığına göre kuruma süresi ile değişimi Şekil 8.22'de; matematiksel model sabitleri ve istatistik veriler ise Çizelge 8.21'de verilmiştir. Şekil 8.22 incelendiğinde; Renk Açısı (HA) değerlerinin kuruma süresine bağlı olarak azaldığı belirlenmiştir. Dut yapraklarının Renk Açısı (HA) değerleri; numune ağırlığı 20 g iken 128.08 değerinden 126.14 değerine; numune ağırlığı 100 g iken 128.08 değerinden 126.95 değerine azalmıştır. Değerlerin birbirine çok yakın bulunması, farklı mikrodalga çıkış güçlerinde dut yapraklarının kurutulması sırasında yeşil rengin (Renk Açısı (HA) > 90°C) korunduğunu göstermektedir [90].

Elde edilen deneysel veriler kullanılarak yapılan matematiksel modelleme çalışmaları sonucunda; Sıfırıncı Dereceden Kinetik Model denklemine ait kinetik hız sabiti (k); numune ağırlığı 20 g'dan değerinden 100 g'a arttırıldığında, 0.3234 dak^{-1} değerinden 0.0481 dak^{-1} değerine azalmıştır. Bunun sebebi, uygulanan düşük numune ağırlıklarında gıdanın içerisinde oluşan yüksek sıcaklıklar renk değişimine sebep olan bozunma reaksiyonlarının hızını artırmakta ve dolayısı ile gıdanın renginin daha hızlı ve daha fazla değişmesine sebep olmaktadır.



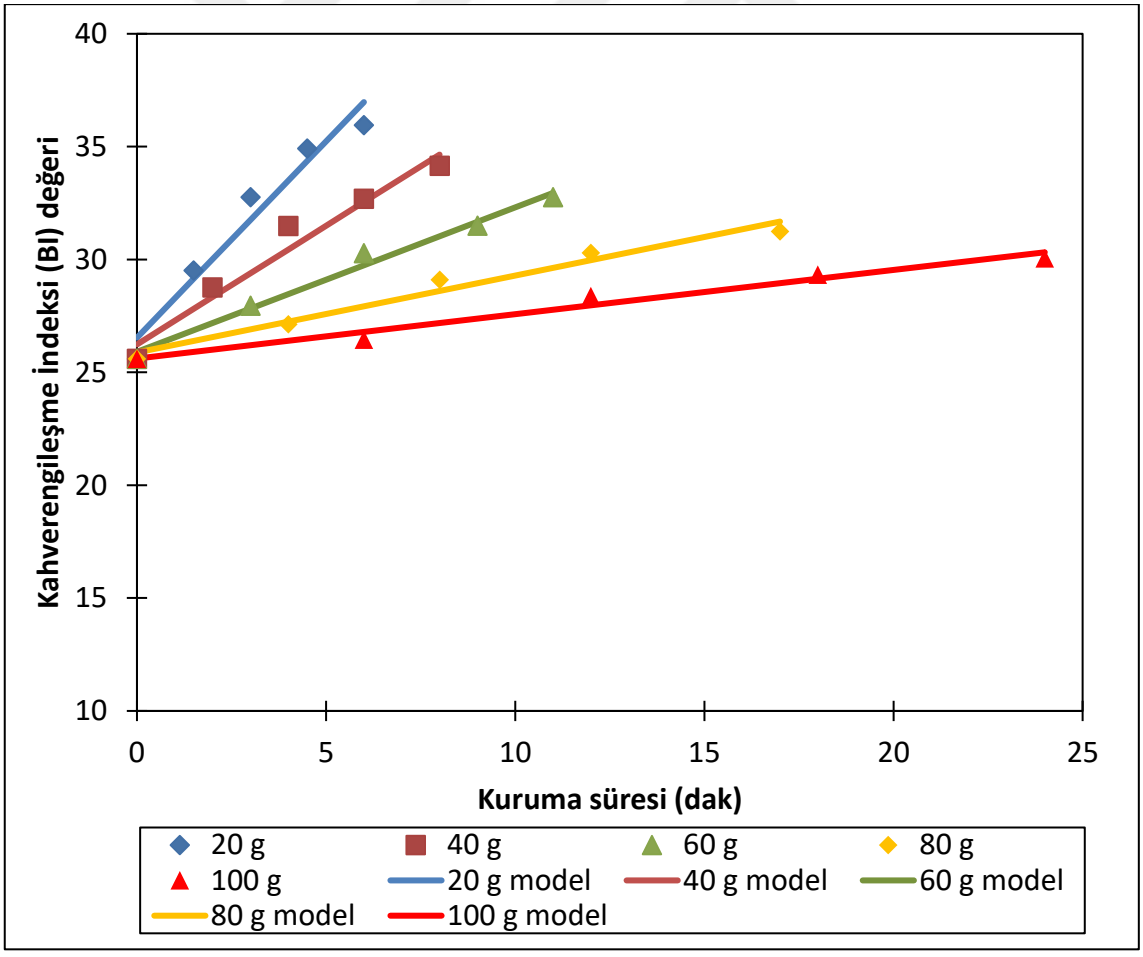
Şekil 8.22 Farklı ağırlıklarda kurutulan dut yaprağı numunelerine ait Renk Açısı (HA) değerlerinin kuruma süresi ile değişimi (Mikrodalga çıkış gücü = 360 W)

Çizelge 8.21 Farklı ağırlıklarda kurutulan dut yaprağı numunelerine ait kuruma süresine karşılık elde edilen Renk Açısı (HA) değerlerine uyan Sıfırıncı Dereceden Kinetik Model denklemi kullanılarak hesaplanan model sabitleri ve istatistiksel veriler (Mikrodalga çıkış gücü = 360 W)

Numune Ağırlığı (g)	k (dak^{-1})	C_0 (birimsiz)	R^2	δ
20	0.3234	128.14	0.9975	0.0658
40	0.2149	128.09	0.9809	0.1557
60	0.1349	128.13	0.9920	0.0878
80	0.0769	128.08	0.9974	0.0423
100	0.0481	128.08	0.9909	0.0713

Kahverengileşme İndeksi (BI) değeri:

Denklem 7.9 yardımıyla hesaplanan Kahverengileşme İndeksi (BI) değerlerinin numune ağırlığına göre kuruma süresi ile değişimi Şekil 8.23'te; matematiksel model sabitleri ve istatistik veriler ise Çizelge 8.22'de sunulmuştur. Şekil 8.23'te görüldüğü gibi; Kahverengileşme İndeksi (BI) değerlerinin kuruma süresine bağlı olarak artış göstermiştir. Kahverengileşme İndeksi (BI) değerleri; numune ağırlığı 20 g iken 25.61 değerinden 35.95 değerine; numune ağırlığı 100 g iken 25.61 değerinden 30.06 değerine artmıştır. Bu durum, uygulanan düşük numune ağırlıklarında enzimatik olan ve enzimatik olmayan reaksiyonlar sonucunda meydana gelen kahverengi pigmentlerden dolayı gıdanın renginin daha koyu bir renge sahip olduğunu göstermektedir [92]. Elde edilen deneysel veriler kullanılarak yapılan matematiksel modelleme çalışmaları sonucunda; Sıfırıncı Dereceden Kinetik Model denklemine ait kinetik hız sabiti (k); numune ağırlığı 20 g'dan 100 g'a arttırıldığında 1.7401 dak^{-1} değerinden 0.1961 dak^{-1} değerine azalmıştır.



Şekil 8.23 Farklı ağırlıklarda kurutulan dut yaprağı numunelerine ait Kahverengileşme İndeksi (BI) değerlerinin kuruma süresi ile değişimi (Mikrodalga çıkış gücü = 360 W)

Çizelge 8.22 Farklı ağırlıklarda kurutulan dut yaprağı numunelerine ait kuruma süresine karşılık elde edilen Kahverengileşme İndeksi (BI) değerlerine uyan Sıfırıncı Dereceden Kinetik Model denklemi kullanılarak hesaplanan model sabitleri ve istatistik veriler (Mikrodalga çıkış gücü = 360 W)

Numune Ağırlığı (g)	k (dak^{-1})	C_0 (birimsiz)	R^2	δ
20	1.7401	26.53	0.9761	1.0606
40	1.0515	26.23	0.9874	0.6149
60	0.6399	25.91	0.9929	0.3915
80	0.3412	25.88	0.9851	0.4561
100	0.1961	25.62	0.9864	0.3577

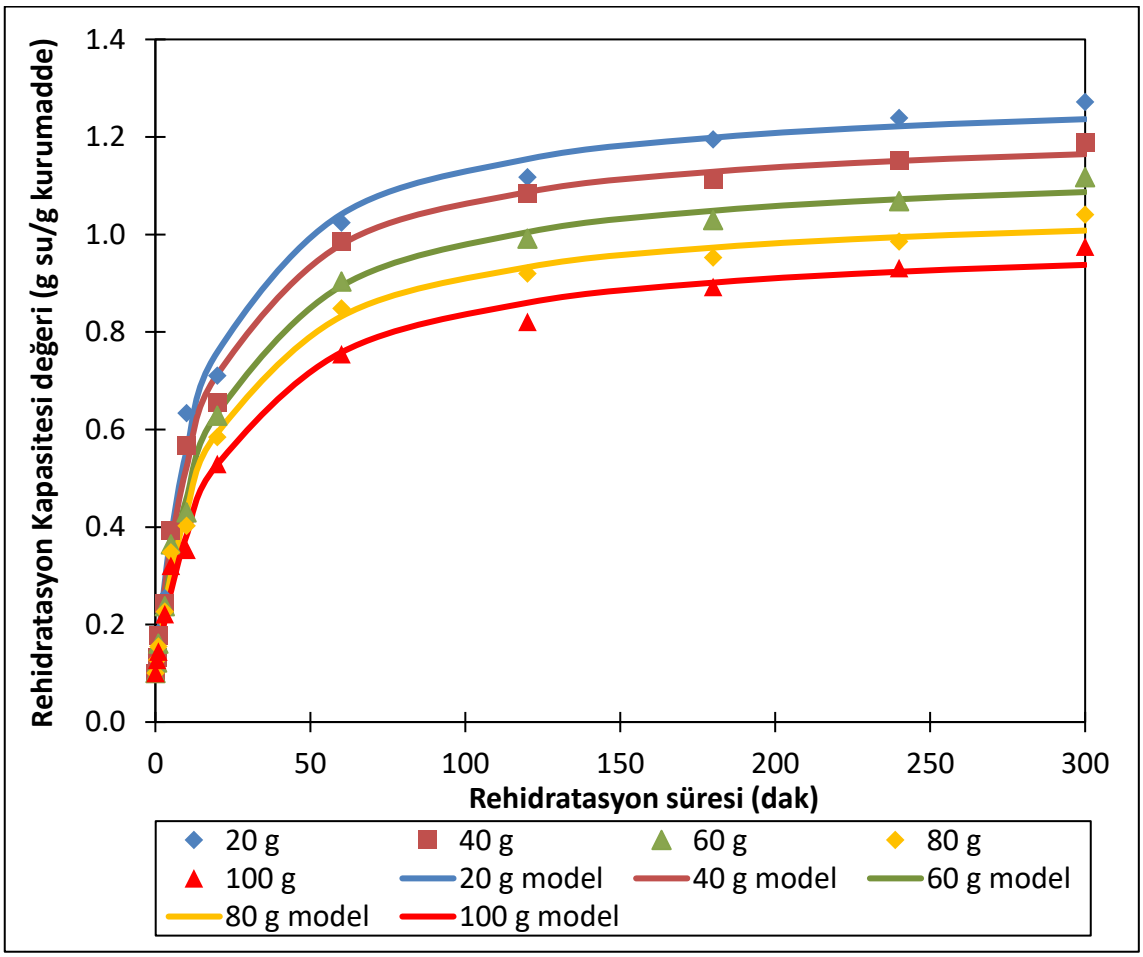
8.2.3 Dut Yaprağı Numunesinin Ağırlığının Rehidratasyon Kapasitesi Üzerindeki Etkisi

Mikrodalga yöntemi kullanılarak dut yapraklarının 360 W sabit mikrodalga çıkış gücünde, beş farklı numune ağırlığında (20, 40, 60, 80 ve 100 g) kurutulduktan sonra elde edilen kuru ürünler bir gün süre ile desikatörde bekletilmiştir ve daha sonra numuneler 30 °C sıcaklıkta 250 mL distile suda rehidratasyon işlemine tabi tutulmuştur. Belirli zaman aralıklarında numuneler su banyosundan çıkarılmış ve numunelerin yüzeyinde bulunan su fazlası kağıt havlu yardımı ile uzaklaştırılarak tartım işlemleri yapılmıştır. Rehidratasyon kapasitesi değerleri, Denklem (7.3) kullanılarak hesaplanmıştır ve Ek 6 Çizelge E6.1-6.5'te sırası ile verilmiştir. Rehidratasyon kapasitesi değerlerinin rehidratasyonu süresi ile değişimini içeren deneysel değerler dört ayrı rehidatasyon model denklemi kullanılarak modellenmiştir. Matematiksel model denklemlerine ait istatistiksel veriler Çizelge 8.23'de verilmiştir. Çizelge 8.23'de verilen istatistiksel veriler (yüksek R^2 ve düşük standart sapma (δ)) incelendiğinde; Peleg Model denkleminin (Denklem 7.16) dut yapraklarının rehidratasyon kinetiğine uyan en iyi model olduğu bulunmuştur.

Çizelge 8.23 Farklı numune ağırlıklarında kurutulan dut yaprağı numunelerine ait rehidratasyon kinetiğinin modellenmesi için kullanılan matematiksel modeller ve hesaplanan istatistiksel veriler (Mikrodalga çıkış gücü = 360 W)

Modeller	Numune Ağırlığı (g)	R^2	δ
Peleg Model $\mathbf{M_t = M_0 + \frac{t}{k_1 + k_2 t}}$	20	0.9973	0.0361
	40	0.9979	0.0289
	60	0.9987	0.0219
	80	0.9983	0.0229
	100	0.9973	0.0263
Weibull Model $\mathbf{M_t = M_e + (M_0 - M_e)\exp\left[-\left(\frac{t}{\beta}\right)^{\alpha}\right]}$	20	0.9941	0.0563
	40	0.9926	0.0585
	60	0.9941	0.0483
	80	0.9940	0.0449
	100	0.9905	0.0515
Birinci Dereceden Rehidratasyon Kinetik Modeli $\mathbf{M_t = M_e + (M_0 - M_e)\exp(-k_{R1}t)}$	20	0.9941	0.0534
	40	0.9926	0.0555
	60	0.9941	0.0459
	80	0.9940	0.0426
	100	0.9907	0.0488
Eksponansiyel Assosiasyon Modeli $\mathbf{M_t = M_e[1 - \exp(-k_{R2}t)]}$	20	0.9840	0.0874
	40	0.9799	0.0909
	60	0.9799	0.0846
	80	0.9774	0.0825
	100	0.9697	0.0877

Rehidratasyon süresine bağlı olarak elde edilen deneysel değerler ile teorik değerler Şekil 8.24'te; matematiksel model sabitleri ve istatistiksel veriler ise Çizelge 8.24'te sunulmuştur. Şekil 8.24'de görüldüğü gibi; kurutulmuş numune miktarı arttıkça absorplanan su miktarı azalmış; ürün kurutulmadan önce içermiş olduğu suyun ancak % 41.12'sini geri absorplamıştır. Bu durum; kurutma ve rehidratasyon aşamalarında numunelerin yapılarında bazı değişiklikler ya da dokusal farklılıklar oluştuğunu göstermektedir [91].



Şekil 8.24 Farklı ağırlıklarda kurutulan dut yaprağı numunelerine ait elde edilen rehidratasyon kapasitesi değerlerinin rehidratasyon süresi ile değişimi (Mikrodalga çıkış gücü = 360 W, Rehidratasyon sıcaklığı = 30 °C)

Çizelge 8.24 Farklı ağırlıklarda kurutulan dut yaprağı numunelerine ait rehidratasyon süresine karşılık elde edilen rehidratasyon kapsitesi değerlerine uyan Peleg Model denklemi kullanılarak hesaplanan model sabitleri ve istatistiksel veriler (Mikrodalga çıkış gücü = 360 W, Rehidratasyon sıcaklığı = 30 °C)

Numune Ağırlığı (g)	k_1*	k_2**	R^2	δ
20	13.67	0.8344	0.9973	0.0361
40	14.83	0.8898	0.9979	0.0289
60	18.45	0.9517	0.9987	0.0219
80	19.87	1.0351	0.9983	0.0229
100	24.43	1.1125	0.9973	0.0263

* dak.g kuru madde/g su, ** g kuru madde/g su

8.2.4 Sıcaklığın Dut Yaprağı Numunesinin Rehidratasyon Kapasitesi Üzerindeki Etkisi

Mikrodalga yöntemi kullanılarak 20 g ağırlığındaki dut yapraklarının 360 W sabit mikrodalga çıkış gücünde kurutulması ile elde edilmiş olan kuru ürünler bir gün süre ile desikatörde bekletilmiş ve daha sonra numuneler 30, 45, 55 ve 70 °C sıcaklıklarda 250 mL distile su içerisinde rehidratasyon işlemine tabi tutulmuştur. Belirli zaman aralıklarında alınan numuneler su banyosundan çıkarılmış ve yüzeydeki su kağıt havlu yardımıyla uzaklaştırılarak tartım işlemleri yapılmıştır. Rehidratasyon kapasitesi değerleri, Denklem (7.3) kullanılarak hesaplanmıştır ve Ek 7 Çizelge E7.1-7.3'te sırasıyla verilmiştir.

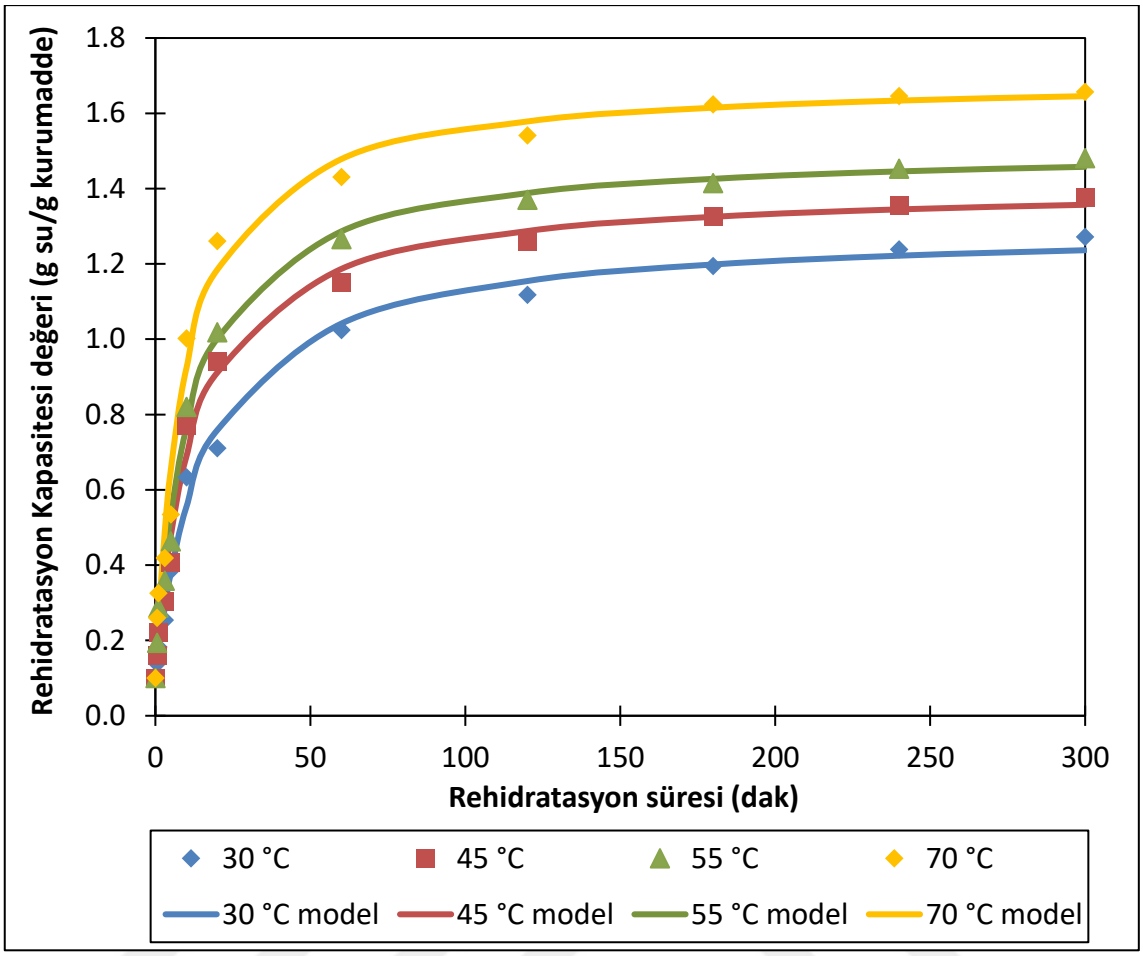
Rehidratasyon kapasitesi değerlerinin rehidratasyonu süresi ile değişimini içeren deneysel değerler dört ayrı rehidatasyon model denklemi kullanılarak modellenmiştir. Matematiksel model denklemlerine ait istatistiksel veriler Çizelge 8.25'de verilmiştir. Çizelge 8.25'de verilen istatistiksel veriler (yüksek R^2 ve düşük standart sapma (δ)) incelendiğinde; Peleg Model denkleminin (Denklem 7.16) dut yapraklarının rehidratasyon kinetiğine uyan en iyi model olduğu bulunmuştur. Rehidratasyon süresine bağlı olarak elde edilen deneysel değerler ile teorik değerler Şekil 8.25'te; matematiksel model sabitleri ve istatistiksel veriler ise Çizelge 8.26'da sunulmuştur.

30, 45, 55 ve 70 °C sıcaklık değerlerinde uygulanan rehidratasyon işleminde belirli zaman aralıklarında yapılan ölçümlerden; sıcaklık arttırıldıkça kurutulmuş 20 g dut yaprağı

numunesinin kurutulmadan önce içermiş olduğu su miktarının en fazla %69.9'unu absorplamıştır. Bu durum, kurutma ve rehidratasyon aşamalarında numunelerin yapılarında bazı değişikliklerin ya da dokusal farklılıkların oluştuğunu göstermektedir [91].

Çizelge 8.25 Dut yaprağı numunelerinin farklı sıcaklıklardaki rehidratasyon kinetiğinin modellenmesi için kullanılan matematiksel modeller ve hesaplanan istatistiksel veriler (Mikrodalga çıkış gücü = 360 W, Numune ağırlığı = 20 g)

Modeller	Sıcaklık (°C)	R^2	δ
Peleg Model $\mathbf{M_t = M_0 + \frac{t}{k_1 + k_2 t}}$	30	0.9973	0.0361
	45	0.9968	0.0433
	55	0.9973	0.0421
	70	0.9944	0.0679
Weibull Model $\mathbf{M_t = M_e + (M_0 - M_e)\exp\left[-\left(\frac{t}{\beta}\right)^{\alpha}\right]}$	30	0.9941	0.0563
	45	0.9931	0.0668
	55	0.9932	0.0702
	70	0.9921	0.0849
Birinci Dereceden Rehidratasyon Kinetik Modeli $\mathbf{M_t = M_e + (M_0 - M_e)\exp(-k_{R1}t)}$	30	0.9941	0.0534
	45	0.9930	0.0633
	55	0.9932	0.0666
	70	0.9921	0.0806
Eksponansiyel Assosiasyon Modeli $\mathbf{M_t = M_e[1 - \exp(-k_{R2}t)]}$	30	0.9840	0.0874
	45	0.9862	0.0893
	55	0.9843	0.1008
	70	0.9849	0.1116



Şekil 8.25 Dut yaprağı numunelerinin farklı sıcaklıklarda elde edilen rehidratasyon kapasitesi değerlerinin rehidratasyon süresi ile değişimi (Mikrodalga çıkış gücü = 360 W, Numune ağırlığı = 20 g)

Çizelge 8.26 Dut yaprağı numunelerinin farklı sıcaklıklarda rehidratasyon süresine karşılık elde edilen rehidratasyon kapasitesi değerlerine uyan Peleg Model denklemi kullanılarak hesaplanan model sabitleri ve istatistiksel veriler (Mikrodalga çıkış gücü = 360 W, Numune ağırlığı = 20 g)

Sıcaklık (°C)	k_1*	k_2**	R^2	δ
30	13.67	0.8344	0.9973	0.0361
45	9.36	0.7643	0.9968	0.0433
55	7.99	0.7098	0.9973	0.0421
70	5.89	0.6274	0.9944	0.0679

* dak.g kuru madde/g su, ** g kuru madde/g su

8.3 Dut Yapraklarına Ait Aktivasyon Enerjisinin Hesaplanması

8.3.1 Kuruma Kinetiğine Ait Aktivasyon Enerjisinin Hesaplanması

Kurutma kinetiğine ait Aktivasyon Enerjisi değerlerinin hesaplanması için Arrhenius denklemi esas alınarak türetilen Denklem (7.17) kullanılmıştır. Aktivasyon enerjisi değeri 15.43 (W/g), pre-eksponansiyel sabit ise 1.2404 dak^{-1} olarak bulunmuştur (R^2 = 0.9697, standart sapma (δ) = 0.7411). Elde edilen Aktivasyon Enerjisi değeri Denklem (7.20) kullanılarak herhangi bir mikrodalga çıkış gücü ve numune ağırlığı için kuruma kinetiği hız sabiti olan k değeri hesaplanabilir.

8.3.2 Renk Değişimi Kinetiğine Ait Aktivasyon Enerjisinin Hesaplanması

Renk değişimi kinetiğine ait Aktivasyon Enerjisi değerlerinin hesaplanması için Arrhenius denklemi esas alınarak türetilen Denklem (7.20) kullanılmıştır. 7 farklı renk indisi için kullanılan Sıfırıncı Dereceden Kinetik Model denklemlerinin kinetik hız sabitleri (k, dak^{-1}) kullanılarak Aktivasyon Enerjisi değerleri hesaplanmıştır. Renk değişimi kinetiğine ait Aktivasyon Enerjisi değerlerinin 11.12-12.07 W/g değerleri arasında değiştiği saptanmıştır (Çizelge 8.27).

Çizelge 8.27 Mikrodalga tekniği ile kurutulan dut yaprağı numunelerinin renk indisi parametrelerine göre hesaplanan aktivasyon enerjisi değerleri

Renk İndisi Parametreleri	k_0 (dak^{-1})	E_a (W/g)	R^2	δ
L	3.2139	11.89	0.9623	0.3538
a	1.3507	12.07	0.9773	0.2753
b	1.6963	11.12	0.9683	0.3019
ΔE	3.9196	11.52	0.9658	0.3258
CV	2.1563	11.48	0.9723	0.3704
HA	1.0778	11.83	0.9585	0.3704
BI	4.9392	12.06	0.9839	0.2301

8.3.3 Rehidratasyon Kinetiğine Ait Aktivasyon Enerjisinin Hesaplanması

Rehidratasyon kinetiğine ait Aktivasyon Enerjisi değerlerinin hesaplanması için Arrhenius denklemi esas alınarak türetilen Denklem (7.20) kullanılmıştır. 30 °C sıcaklıkta farklı mikrodalga çıkış gücü ve numune ağırlığında elde edilen rehidratasyon kapasitesi değerleri için kullanılan Peleg Model denkleminin kinetik hız sabiti olan k_1 (dak.g kuru madde/g su) kullanılarak Aktivasyon Enerjisi değeri 4.59 W/g, pre-eksponansiyel sabit ise 1.5203 dak.g kuru madde/g su olarak hesaplanmıştır (R^2 = 0.9464, standart sapma (δ) = 1.4988). Elde edilen aktivasyon enerjisi değerinin düşük bulunmasının nedeni, uygulanan rehidratasyon sıcaklığının düşük olmasıdır [93].

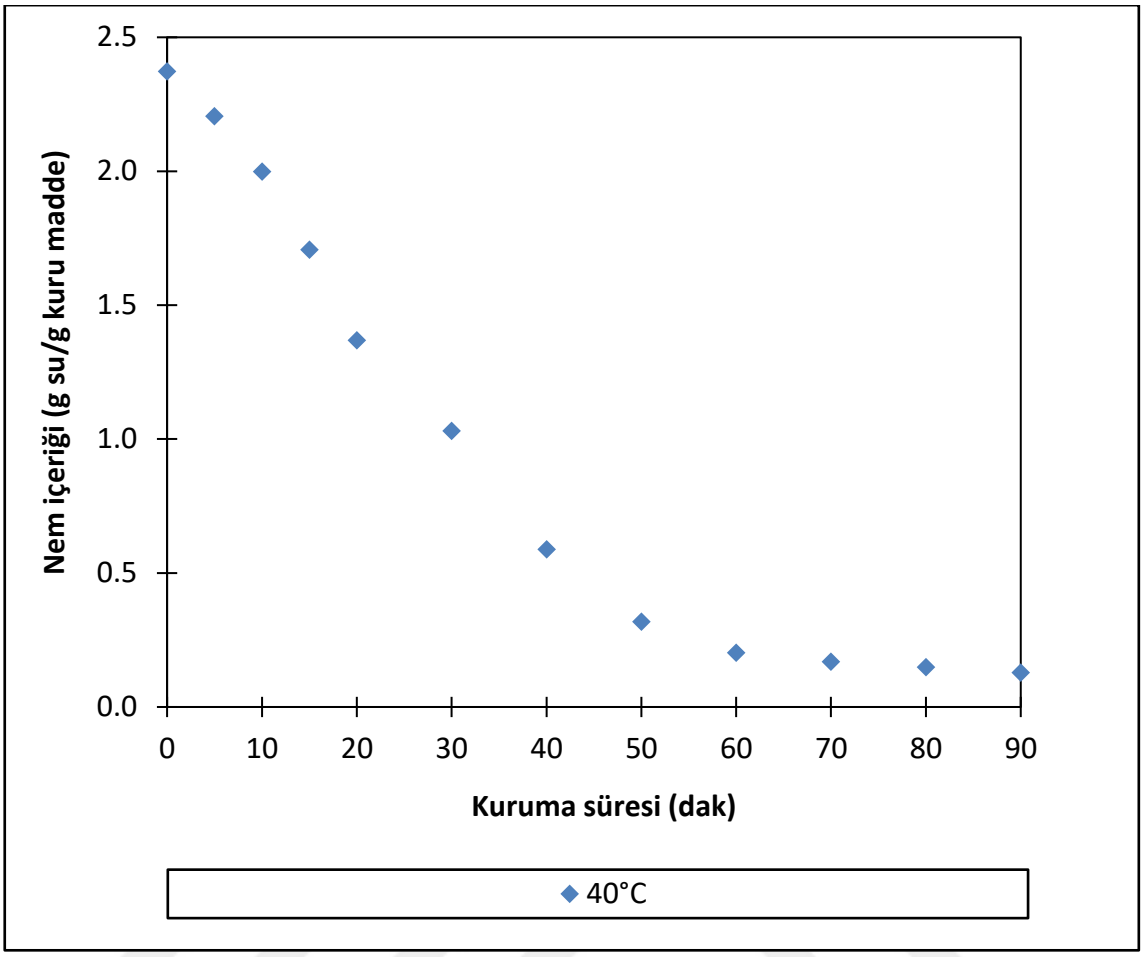
Farklı sıcaklıklarda gerçekleştirilen rehidratasyon sonucu elde edilen rehidratasyon kapasitesi değerleri için kullanılan Peleg Model denkleminin kinetik hız sabiti olan k_1 (dak.g kuru madde/g su) kullanılarak Aktivasyon Enerjisi değeri 18.2 kJ/mol, pre-eksponansiyel sabit ise 0.0098 dak.g kuru madde/g su olarak hesaplanmıştır (R^2 = 0.9981, standart sapma (δ) = 0.2494).

8.4 Dut Yapraklarının Konvansiyonel Yöntem ile Kurutulması

8.4.1 Dut Yapraklarının Konvansiyonel Yöntem ile Kurutulmasının Kuruma Kinetiği Üzerindeki Etkisi

8.4.1.1 Nem içeriği değişimi

Konvansiyonel kurutmanın etkisini incelemek için 20 g dut yaprağı 40 °C sıcaklıkta kurutulmuştur. Bu çalışmada kullanılan ham dut yaprağının ortalama toplam nem değeri M_0= 2.37 g su/g kuru madde olarak bulunmuştur. Nem içeriği değişimine ait elde edilen değerler Ek 8, Çizelge E8.1'de verilmiştir ve Şekil 8.26'da grafiksel olarak sunulmuştur. Şekil 8.26 incelendiğinde, 40 °C sıcaklıkta konvansiyonel kurutma için dut yaprağı numunesinin nem içeriğinin 2.37 g su/g kuru madde değerinden 0.1 g su/g kuru madde değerine düşmesi 90 dakika sürerken, bu değer mikrodalga ile kurutma yöntemi için en uzun kurutma süresi olan 180 W mikrodalga çıkış gücünde 11.5 dakika olarak bulunmuştur. Yapılan deneyler sonucunda, 20 g dut yaprağı numunesi için kuruma süresinin, mikrodalga ile kurutma yöntemine göre 7.8 kat arttığı tespit edilmiştir.



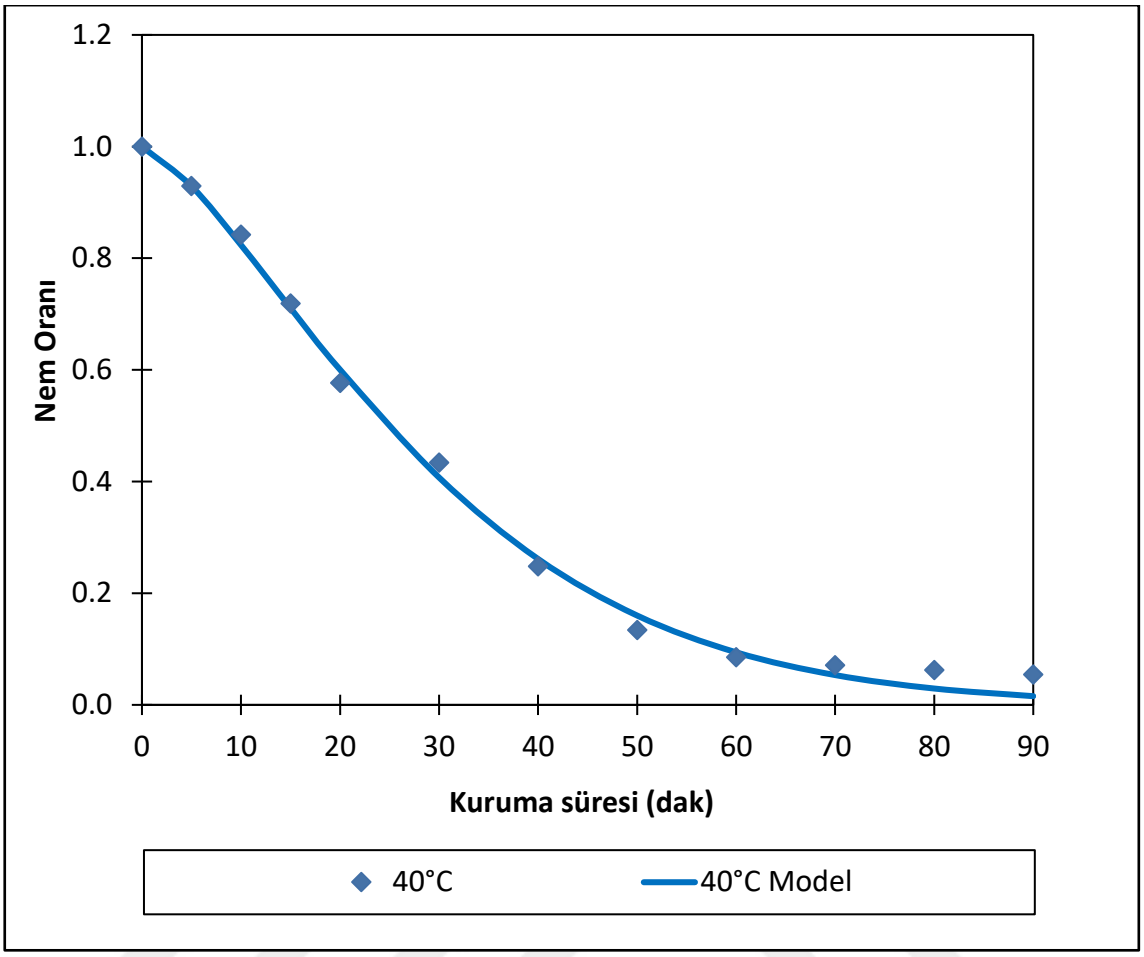
Şekil 8.26 Konvansiyonel yöntem ile kurutulan dut yaprağı numunesinin nem içeriğinin kuruma süresi ile değişimi (Numune ağırlığı = 20 g, Sıcaklık = 40 °C)

8.4.1.2 Konvansiyonel kuruma kinetiğine ait model çalışmaları

Konvansiyonel kurutma yöntemi kullanılarak 20 g ağırlığındaki dut yaprağı numunesinin 40 °C sıcaklıkta kurutulması sırasında elde edilen nem oranı değerlerinin kuruma süresi ile değişimi Page Model denklemine uygunluk göstermiştir. 40 °C sıcaklıkta gerçekleştirilen konvansiyonel kurutma ile dut yaprağı numunesinin nem oranının kuruma süresine bağlı olarak değişimi Şekil 8.27'de; matematiksel model sabitleri ve istatistiksel veriler ise Çizelge 8.28'de sunulmuştur.

Çizelge 8.28 Konvansiyonel yöntem ile kurutulan dut yaprağı numunesinin kuruma süresine karşılık elde edilen deneysel verilere uyan Page Model denklemi kullanılarak hesaplanan model sabitleri ve istatistiksel veriler (Numune ağırlığı = 20 g, Sıcaklık = 40 °C)

k (dak^{-1})	n	R^2	δ
0.0078	1.3955	0.9982	0.0235



Şekil 8.27 Konvansiyonel yöntem ile kurutulan dut yaprağı numunesinin nem oranının kuruma süresi ile değişimi (Numune ağırlığı = 20 g, Sıcaklık = 40 °C)

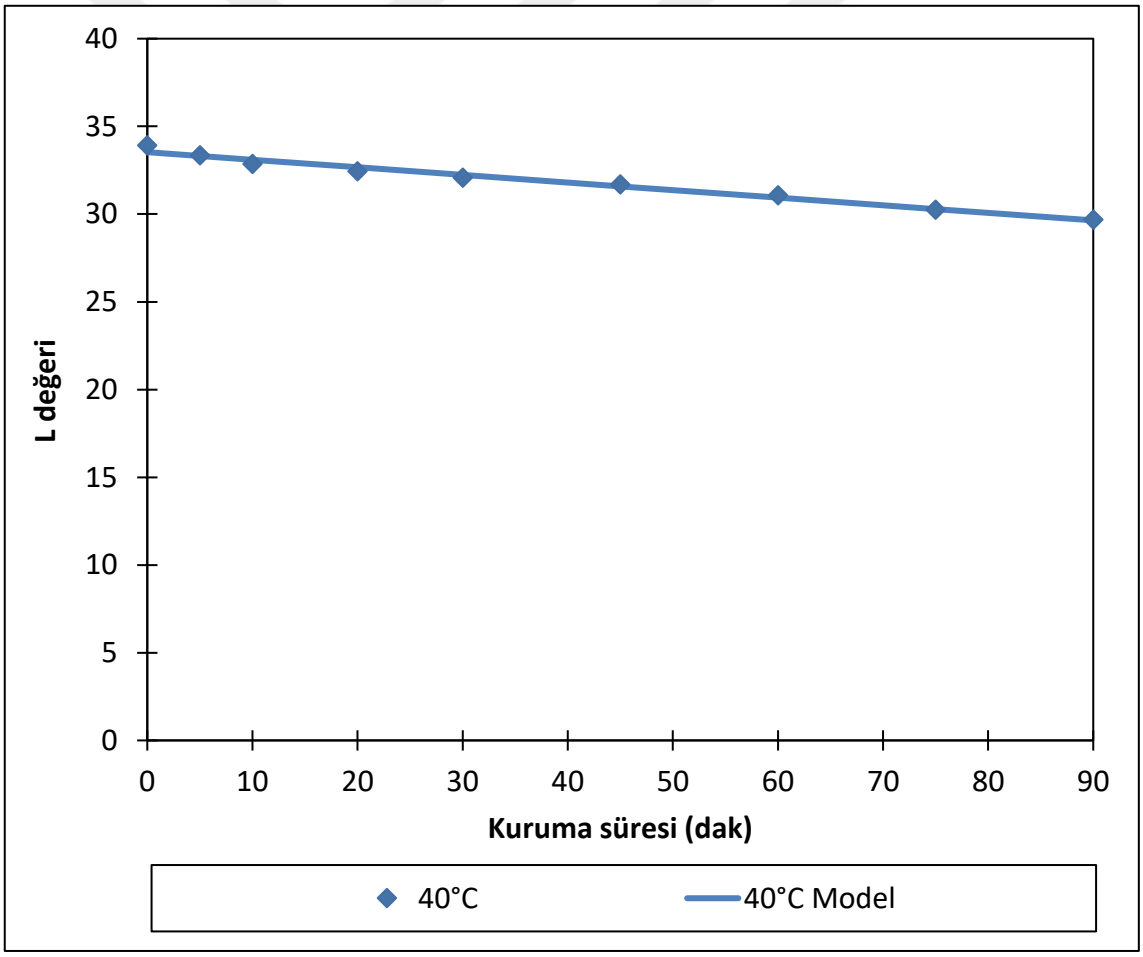
8.4.2 Dut Yapraklarının Konvansiyonel Yöntem ile Kurutulmasının Renk Değişimi Üzerindeki Etkisi

Konvansiyonel kurutma yöntemi kullanılarak dut yaprağı numunesinin zamana bağlı olarak renk değerleri renk ölçüm cihazı kullanılarak ölçülmüştür. Elde edilen L, a, b ve Toplam Renk Değişimi (ΔE) değerlerine ait deneysel değerler Ek 9. Çizelge E9.1'de sırası ile verilmiştir. Elde edilen deneysel veriler kullanılarak yapılan matematiksel modelleme çalışmaları sonucunda; L, a, b, Toplam Renk Değişimi (ΔE), Kroma (CV), Renk Açısı (HA) ve Kahverengileşme İndeksi (BI) değerlerinin; Sıfırıncı Dereceden Kinetik Model ve Birinci Dereceden Kinetik Model denklemleri içerisinde, yüksek R^2 ve düşük standart sapma (δ) değerlerine sahip olan Sıfırıncı Dereceden Kinetik Model denklemi (Denklem 7.14) ile uyumlu olduğu gözlemlenmiştir. L, a, b, Toplam Renk Değişimi (ΔE), Kroma (CV), Renk Açısı (HA) ve Kahverengileşme İndeksi (BI) değerlerinin kuruma süresi ile değişimi Şekil

8.28-8.34'de; matematiksel model sabitleri ve istatistiksel veriler ise Çizelge 8.29-8.33'de sırasıyla sunulmuştur.

L değeri:

Konvansiyonel kurutma yöntemi ile dut yaprağı numunesi için elde edilen L değerlerinin kuruma süresi ile değişimi Şekil 8.28'de; matematiksel model sabitleri ve istatistiksel verileri ise Çizelge 8.26'da verilmiştir. Şekil 8.28'den de görülebileceği gibi, L değeri kuruma süresi boyunca 33.29 değerinden 25.68 değerine düşmüştür. Elde edilen deneysel veriler kullanılarak yapılan matematiksel modelleme çalışmaları sonucunda; Sıfırıncı Dereceden Kinetik Model denklemine ait kinetik hız sabiti (k) 0.0432 dak^{-1} bulunmuştur. Bu durum, gıdanın renginin koyulaşmaya başladığını göstermektedir.



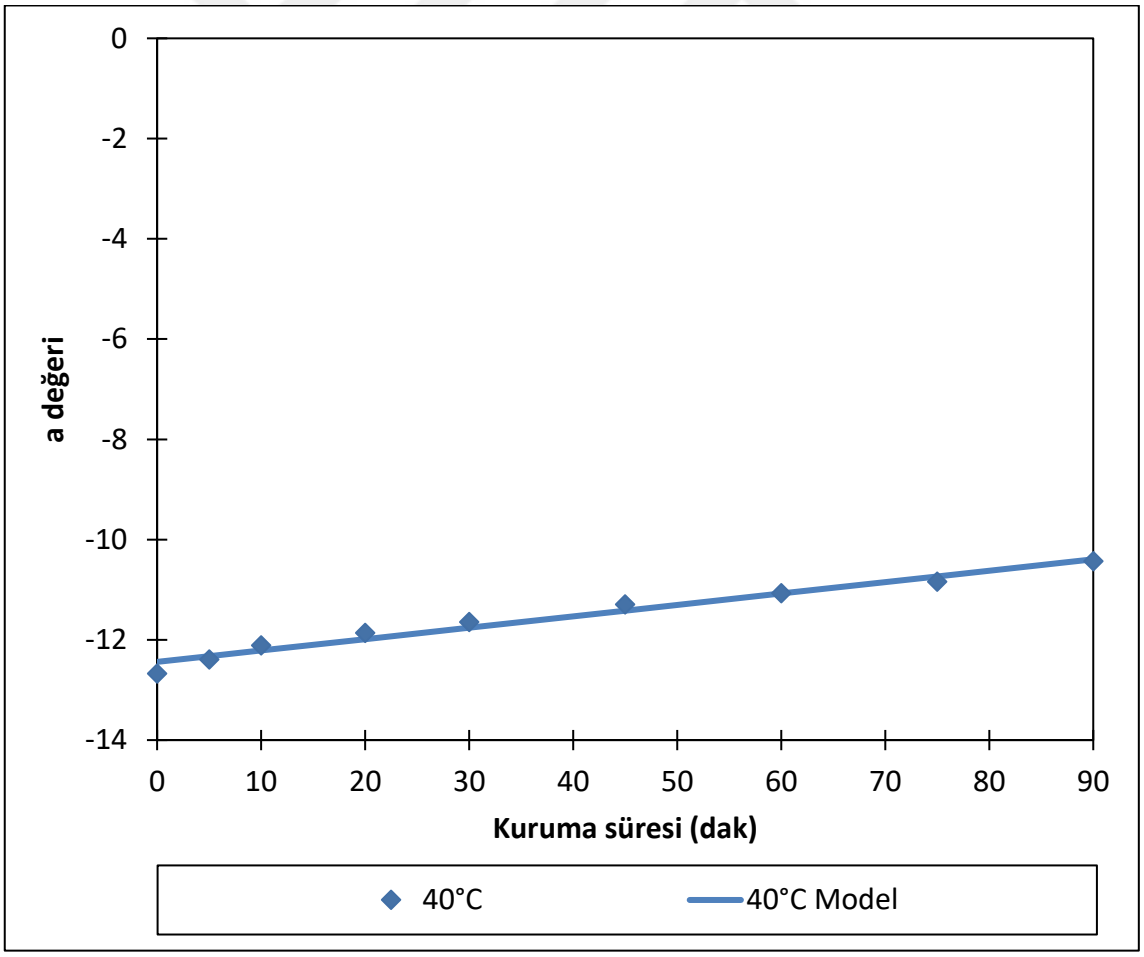
Şekil 8.28 Konvansiyonel yöntem ile kurutulan dut yaprağı numunesine ait L değerlerinin kuruma süresi ile değişimi (Numune ağırlığı = 20 g, Sıcaklık = 40 °C)

Çizelge 8.29 Konvansiyonel yöntem ile kurutulan dut yaprağı numunesine ait kuruma süresine karşılık elde edilen L değerlerine uyan Sıfırıncı Dereceden Kinetik Model denklemi kullanılarak hesaplanan model sabitleri ve istatistiksel veriler (Numune ağırlığı = 20 g, Sıcaklık = 40 °C)

k (dak^{-1})	C_0 (birimsiz)	R^2	δ
0.0432	33.53	0.9911	0.2032

a değeri:

Konvansiyonel kurutma yöntemi ile dut yaprağı numunesi için elde edilen a değerlerinin kuruma süresi ile değişimi Şekil 8.29'de; matematiksel model sabitleri ve istatistiksel veriler ise Çizelge 8.27'de verilmiştir. Şekil 8.30'dan da görülebileceği gibi, 20 g numune için a değeri -12.67 değerinden -10.43 değerine artış göstermiştir. Elde edilen deneysel veriler kullanılarak yapılan matematiksel modelleme çalışmaları sonucunda; Sıfırıncı Dereceden Kinetik Model denklemine ait kinetik hız sabiti (k) 0.0227 dak^{-1} bulunmuştur.



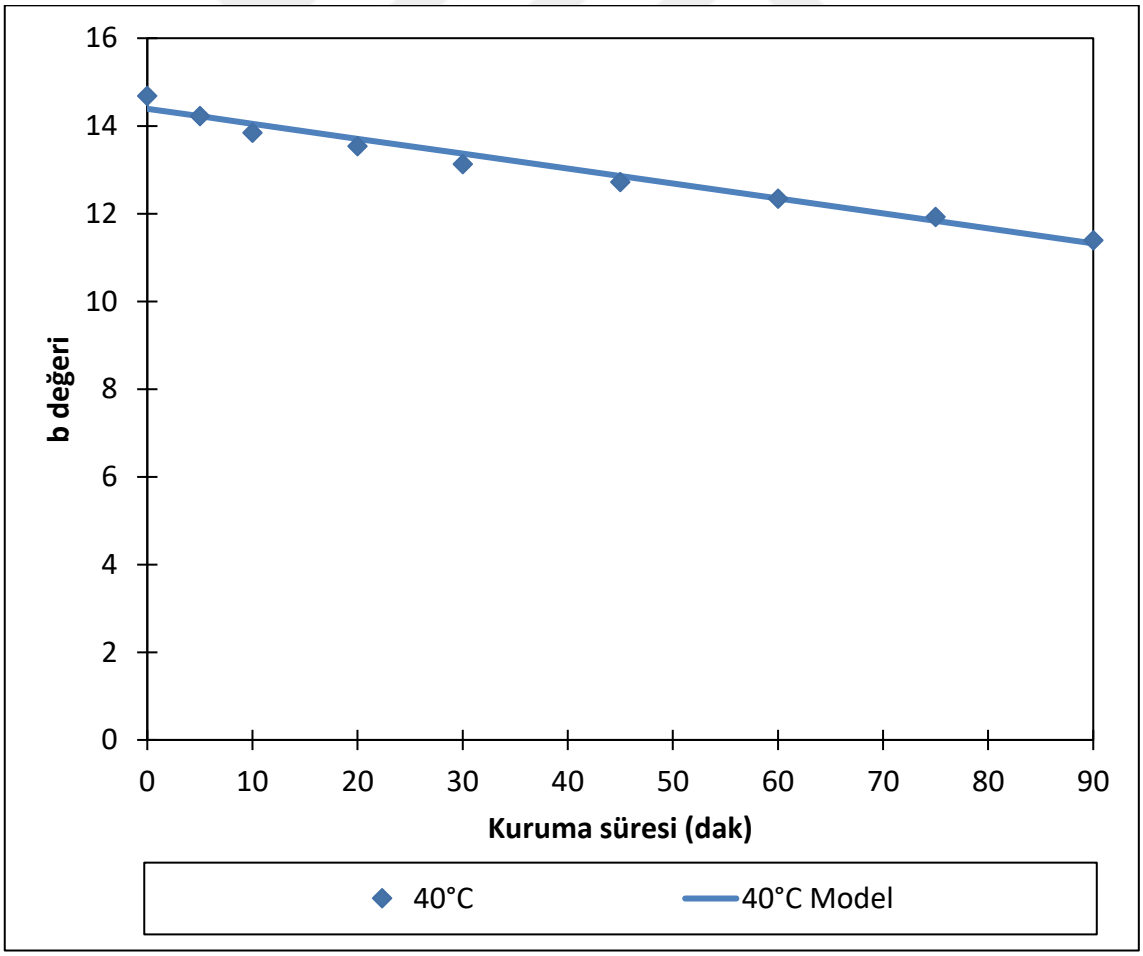
Şekil 8.29 Konvansiyonel yöntem ile kurutulan dut yaprağı numunesine ait a değerlerinin kuruma süresi ile değişimi (Numune ağırlığı = 20 g, Sıcaklık = 40 °C)

Çizelge 8.30 Konvansiyonel yöntem ile kurutulan dut yaprağı numunesine ait kuruma süresine karşılık elde edilen a değerlerine uyan Sıfırıncı Dereceden Kinetik Model denklemi kullanılarak hesaplanan model sabitleri ve istatistiksel veriler (Numune ağırlığı = 20 g, Sıcaklık = 40 °C)

k (dak^{-1})	C_0 (birimsiz)	R^2	δ
0.0227	-12.44	0.9857	0.1338

b değeri:

Konvansiyonel kurutma yöntemi ile dut yaprağı numunesi için elde edilen b değerlerinin kuruma süresi ile değişimi Şekil 8.30'de; matematiksel model sabitleri ve istatistiksel veriler ise Çizelge 8.31'de verilmiştir. Şekil 8.30'den de görülebileceği gibi, 20 g numune için b değeri 14.68 değerinden 11.39 değerine azalma göstermiştir. Elde edilen deneysel veriler kullanılarak yapılan matematiksel modelleme çalışmaları sonucunda; Sıfırıncı Dereceden Kinetik Model denklemine ait kinetik hız sabiti (k) 0.0341 dak^{-1} olarak bulunmuştur.



Şekil 8.30 Konvansiyonel yöntem ile kurutulan dut yaprağı numunesine ait b değerlerinin kuruma süresi ile değişimi (Numune ağırlığı = 20 g, Sıcaklık = 40 °C)

Çizelge 8.31 Konvansiyonel yöntem ile kurutulan dut yaprağı numunesine ait kuruma süresine karşılık elde edilen b değerlerine uyan Sıfırıncı Dereceden Kinetik Model denklemi kullanılarak hesaplanan model sabitleri ve istatistiksel veriler (Numune ağırlığı = 20 g, Sıcaklık = 40 °C)

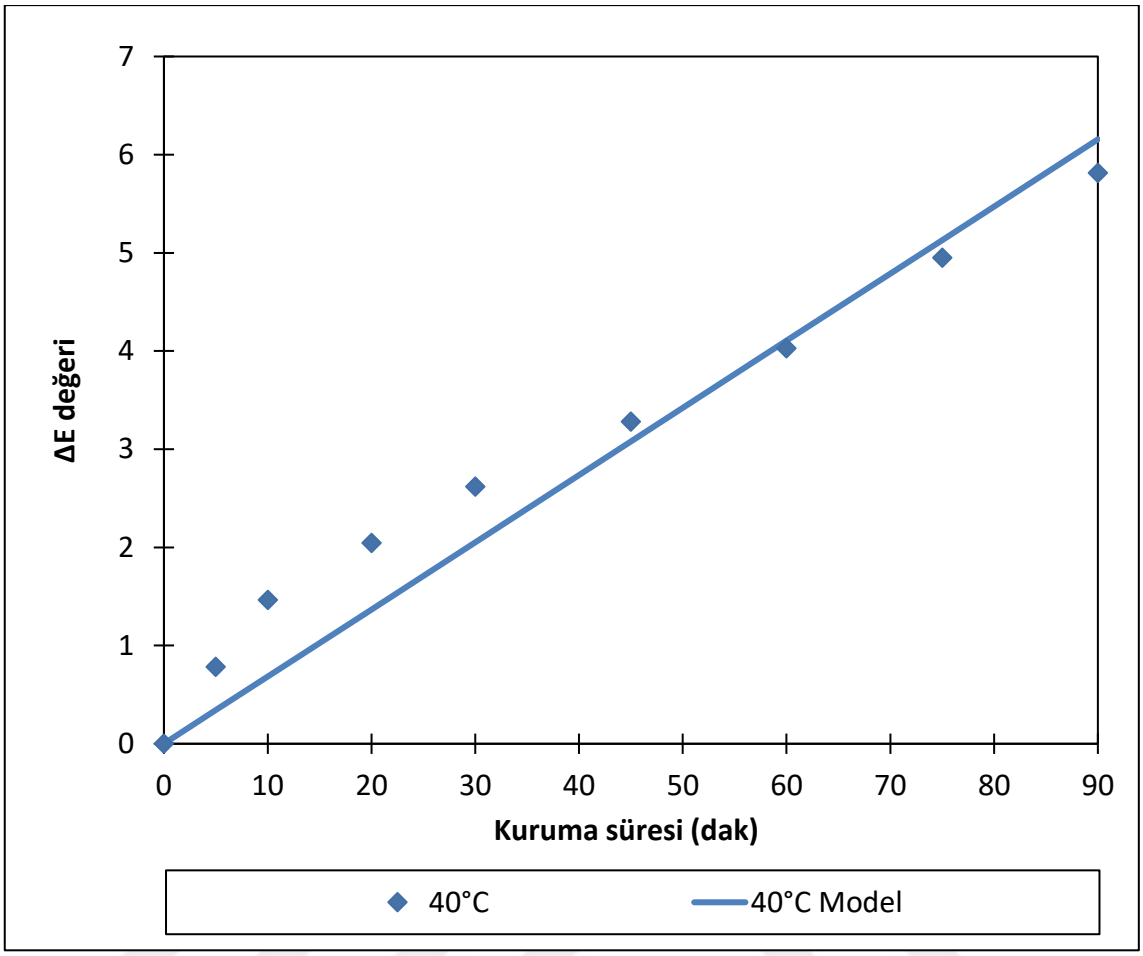
k (dak^{-1})	C_0 (birimsiz)	R^2	δ
0.0341	14.39	0.9924	0.1459

Toplam Renk Değeri (ΔE) değeri:

Toplam Renk Değişimi (ΔE) değerleri, Denklem (7.6) kullanılarak hesaplanmıştır. Toplam Renk Değişimi (ΔE) değerlerinin kuruma süresi ile değişimi Şekil 8.31'de; matematiksel model sabitleri ve istatistiksel veriler ise Çizelge 8.32'de verilmiştir. Şekil 8.31 incelendiğinde, 20 g numune için Toplam Renk Değişimi (ΔE) değeri 0 değerinden 5.81 değerine artmıştır. Elde edilen deneysel veriler kullanılarak yapılan matematiksel modelleme çalışmaları sonucunda; Sıfırıncı Dereceden Kinetik Model denklemine ait kinetik hız sabiti (k) 0.0684 dak^{-1} olarak bulunmuştur.

Çizelge 8.32 Konvansiyonel yöntem ile kurutulan dut yaprağı numunesine ait kuruma süresine karşılık elde edilen Toplam Renk Değişimi (ΔE) değerlerine uyan Sıfırıncı Dereceden Kinetik Model denklemi kullanılarak hesaplanan model sabitleri ve istatistiksel veriler (Numune ağırlığı = 20 g, Sıcaklık = 40 °C)

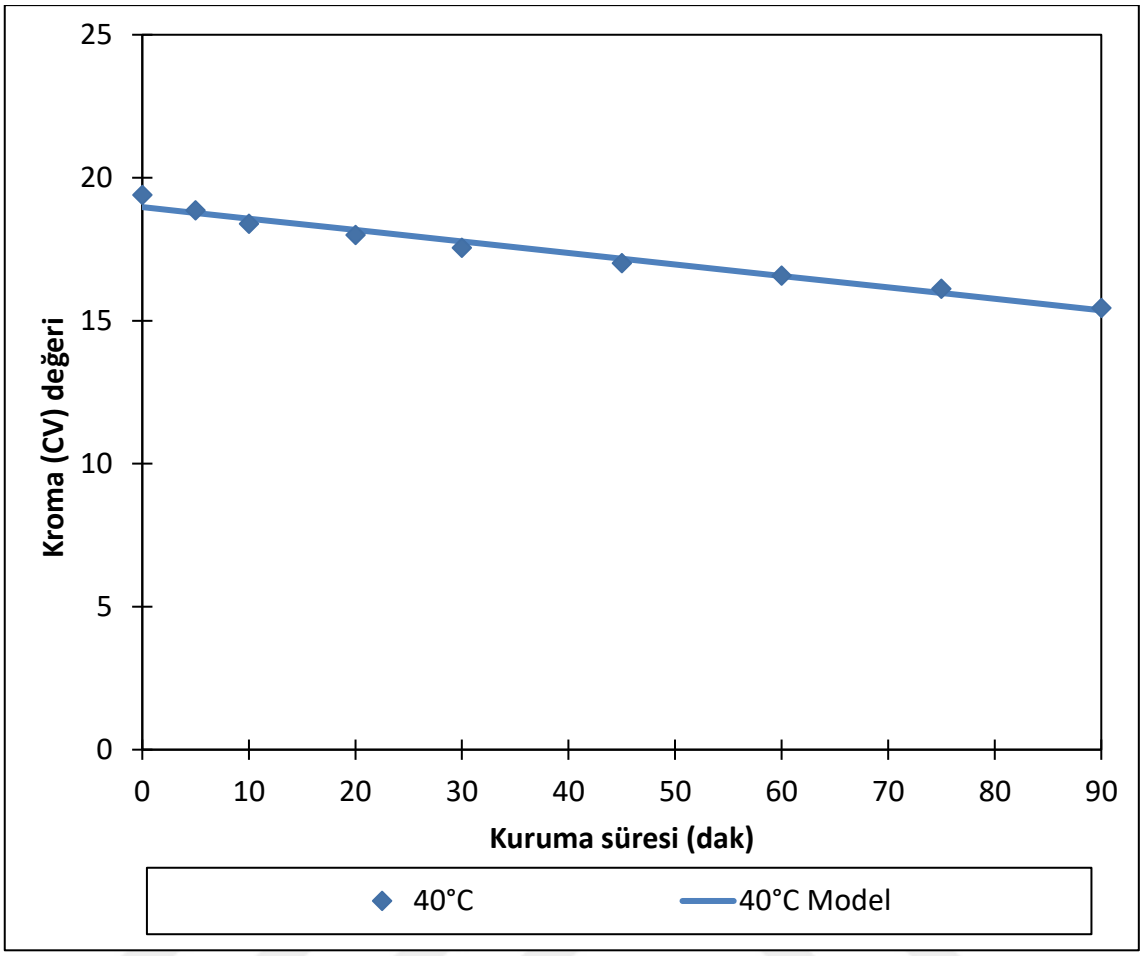
k (dak^{-1})	R^2	δ
0.0684	0.9697	0.4709



Şekil 8.31 Konvansiyonel yöntem ile kurutulan dut yaprağı numunesine ait Toplam Renk Değişimi (ΔE) değerlerinin kuruma süresi ile değişimi (Numune ağırlığı = 20 g, Sıcaklık = 40 °C)

Kroma (CV) değeri:

Denklem (7.7) kullanılarak elde edilen Kroma (CV) değerlerinin kuruma süresi ile değişimi Şekil 8.32'de; matematiksel model sabitleri ve istatistiksel veriler ise Çizelge 8.33'de verilmiştir. Şekil 8.32 incelendiğinde; Kroma (CV) değerinin kuruma süresine bağlı olarak azaldığı, 19.39 değerinden 15.44 değerine düştüğü bulunmuştur. Elde edilen deneysel veriler kullanılarak yapılan matematiksel modelleme çalışmaları sonucunda; Sıfırıncı Dereceden Kinetik Model denklemine ait kinetik hız sabiti (k) 0.0401 dak^{-1} olarak bulunmuştur.



Şekil 8.32 Konvansiyonel yöntem ile kurutulan dut yaprağı numunesine ait Kroma (CV) değerlerinin kuruma süresi ile değişimi (Numune ağırlığı = 20 g, Sıcaklık = 40 °C)

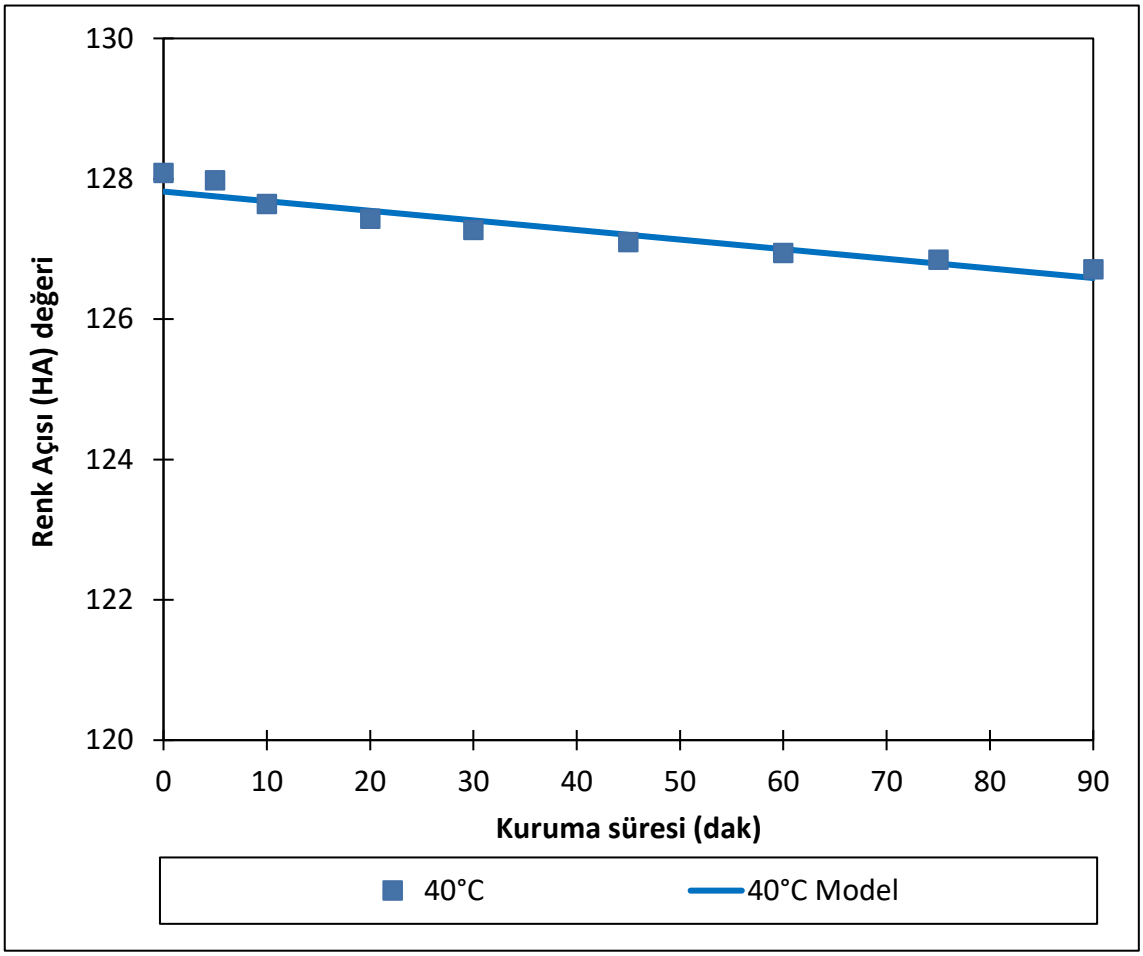
Çizelge 8.33 Konvansiyonel yöntem ile kurutulan dut yaprağı numunesine ait kuruma süresine karşılık elde edilen Kroma (CV) değerlerine uyan Sıfırıncı Dereceden Kinetik Model denklemi kullanılarak hesaplanan model sabitleri ve istatistiksel veriler (Numune ağırlığı = 20 g, Sıcaklık = 40 °C)

k (dak^{-1})	C_0 (birimsiz)	R^2	δ
0.0401	18.97	0.9872	0.2233

Renk Açısı (HA) değeri:

Denklem (7.8) kullanılarak elde edilen Renk Açısı (HA) değerlerinin kuruma süresi ile değişimi Şekil 8.33'de, matematiksel model sabitleri ve istatistik veriler ise Çizelge 8.34'de verilmiştir. Şekil 8.33 incelendiğinde; Renk Açısı (HA) değerleri kuruma süresine bağlı olarak azalmış; 128.08 değerinden 126.71 değerine düşmüştür. Elde edilen deneysel veriler kullanılarak yapılan matematiksel modelleme çalışmaları sonucunda;

Sıfırıncı Dereceden Kinetik Model denklemine ait kinetik hız sabiti (k) 0.0137 dak^{-1} bulunmuştur. Yüksek sıcaklıklar, renk değişimine sebep olan bozunma reaksiyonlarının hızını artırmakta ve rengin daha hızlı değişmesine sebep olmaktadır.



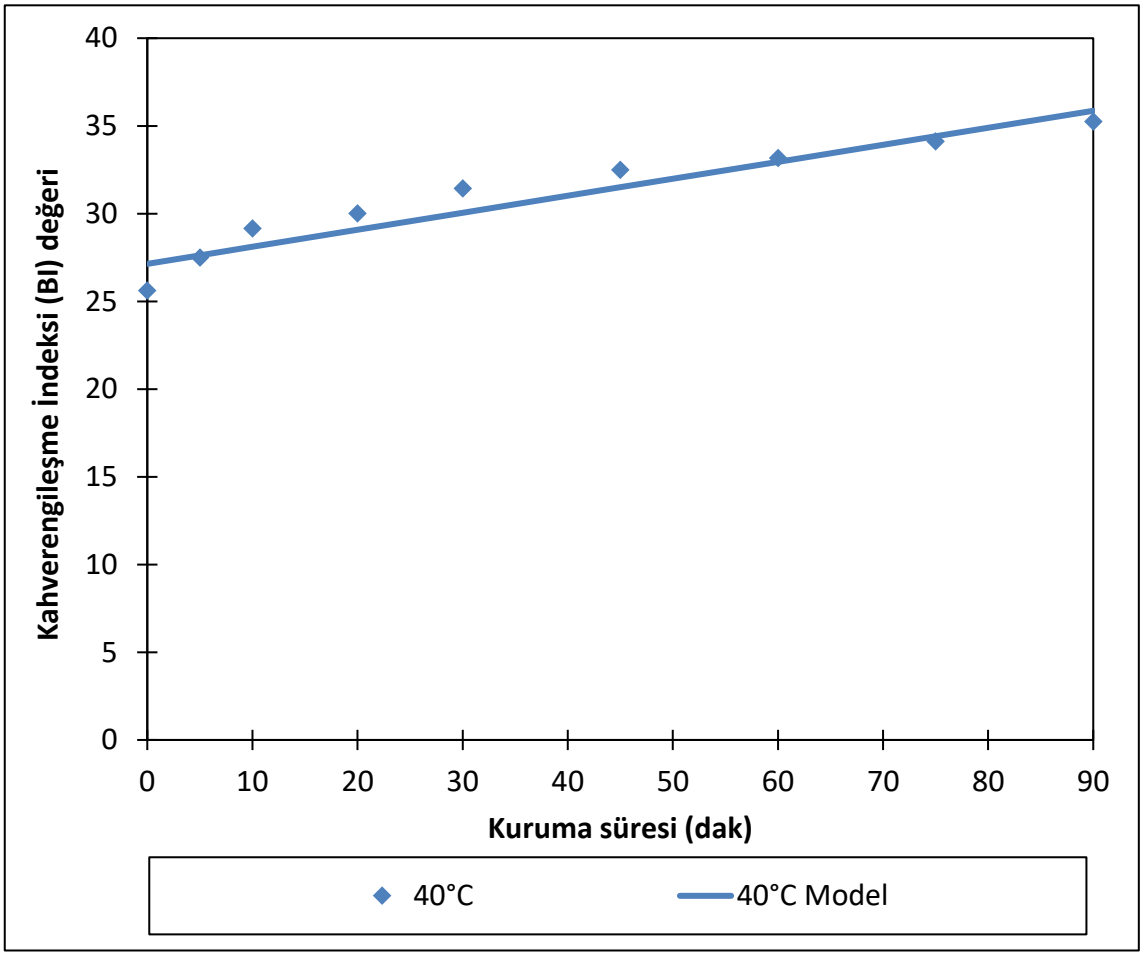
Şekil 8.33 Konvansiyonel yöntem ile kurutulan dut yaprağı numunesine ait Renk Açısı (HA) değerlerinin kuruma süresi ile değişimi (Numune ağırlığı = 20 g, Sıcaklık = 40 °C)

Çizelge 8.34 Konvansiyonel yöntem ile kurutulan dut yaprağı numunesine ait kuruma süresine karşılık elde edilen Renk Açısı (HA) değerlerine uyan Sıfırıncı Dereceden Kinetik Model denklemi kullanılarak hesaplanan model sabitleri ve istatistiksel veriler (Numune ağırlığı = 20 g, Sıcaklık = 40 °C)

k (dak^{-1})	C_0 (birimsiz)	R^2	δ
0.0137	127.82	0.9732	0.1391

Kahverengileşme İndeksi (BI) değeri:

Denklem (7.9) kullanılarak hesaplanan Kahverengileşme İndeksi (BI) değerlerinin kuruma süresi ile değişimi Şekil 8.34'de; matematiksel model sabitleri ve istatistiksel veriler ise Çizelge 8.35'de sunulmuştur. Şekil 8.34 incelendiğinde, Kahverengileşme İndeksi (BI) değeri kuruma süresine bağlı olarak 24.20 değerinden 28.77 değerine artmıştır. Bu durum, yüksek sıcaklıklarda enzimatik olan ve enzimatik olmayan reaksiyonlar sonucunda oluşan kahverengi pigmentlerden dolayı gıdanın renginin daha koyu bir renge sahip olduğunu göstermektedir. Elde edilen deneysel veriler kullanılarak yapılan matematiksel modelleme çalışmaları sonucunda; Sıfırıncı Dereceden Kinetik Model denklemine ait kinetik hız sabiti (k) 0.0969 dak^{-1} değeri olarak bulunmuştur.



Şekil 8.34 Konvansiyonel yöntem ile kurutulan dut yaprağı numunesine ait Kahverengileşme İndeksi (BI) değerlerinin kuruma süresi ile değişimi (Numune ağırlığı = 20 g, Sıcaklık = 40 °C)

Çizelge 8.35 Konvansiyonel yöntem ile kurutulan dut yaprağı numunesine ait kuruma süresine karşılık elde edilen Kahverengileşme İndeksi (BI) değerlerine uyan Sıfırıncı Dereceden Kinetik Model denklemi kullanılarak hesaplanan model sabitleri ve istatistiksel veriler (Numune ağırlığı = 20 g, Sıcaklık = 40 °C)

k (dak^{-1})	C_0 (birimsiz)	R^2	δ
0.0969	27.14	0.9735	0.7847

8.5 Kuruma Süresine Karşılık Mikrodalga Çıkış Gücü/Numune Ağırlığı Değerlerinin Modellenmesi

Dut yapraklarının farklı mikrodalga çıkış gücünde ve farklı numune ağırlığında kurutulması ile elde edilen kuruma sürelerine karşılık mikrodalga çıkış gücü/numune ağırlığı (P/m) değerleri Çizelge 8.36'da verilmiştir ve Şekil 8.35'de grafiksel olarak sunulmuştur. Elde edilen deneysel veriler kullanılarak yapılan matematiksel modelleme çalışmaları sonucunda; kuruma süresine karşılık mikrodalga çıkış gücü/numune ağırlığı (P/m) değerlerinin Power Model denklemi (Denklem 8.1) ile uyumlu olduğu saptanmıştır. Power Model denklemine ait sabitler, a ve b sırasıyla, 86.96 ve -0.9747; korelasyon katsayısı (R^2) ve standart sapma değeri (δ) ise sırasıyla 0.9943 ve 1.8223 olarak bulunmuştur (Çizelge 8.37).

$$P/m = a * t^b \quad (8.1)$$

Burada:

P : Mikrodalga çıkış gücü (W)

m : Numune ağırlığı (g)

t : kuruma süresi (dak)

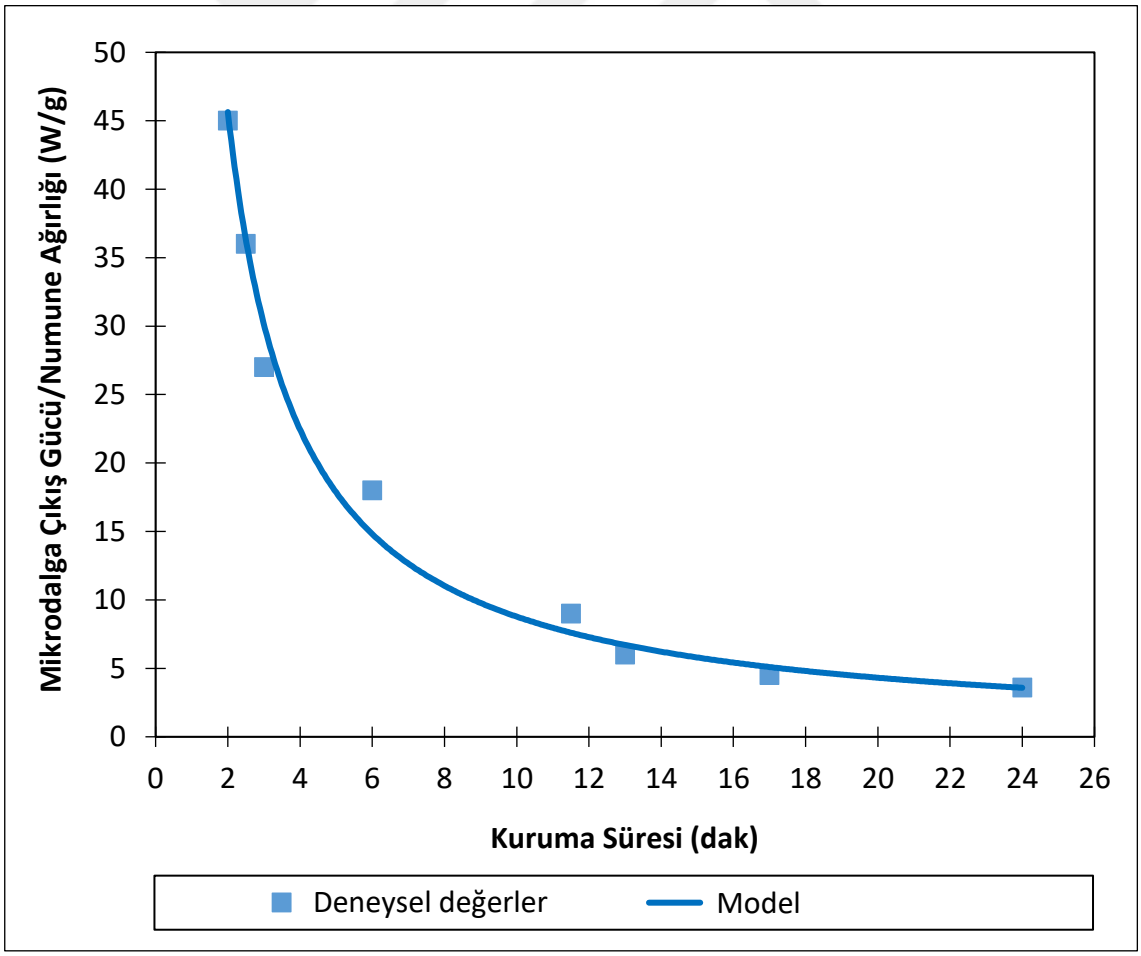
a : sabit (W/g.dak)

b : sabit (birimsiz)

olarak tanımlanmıştır.

Çizelge 8.36 Kuruma süresine karşılık mikrodalga çıkış gücü/numune ağırlığı değerleri

Mikrodalga Çıkış Gücü (W)	Numune Ağırlığı (g)	Mikrodalga Çıkış Gücü/Numune Ağırlığı (W/g)	Kuruma Süresi (dak)
900	20	45	2
720	20	36	2.5
540	20	27	3
360	20	18	6
180	20	9	11.5
360	60	6	13
360	80	4.5	17
360	100	3.6	24



Şekil 8.35 Mikrodalga yöntemi ile kurutulan dut yaprağı numunesine ait mikrodalga çıkış gücü/numune ağırlığı değerlerinin kuruma süresi ile değişimi

Çizelge 8.37 Kuruma sürelerine karşılık mikrodalga çıkış gücü/numune ağırlığı (P/m) değerlerine uyan Power Model denklemi kullanılarak hesaplanan model sabitleri ve istatistiksel veriler

a (W/g.dak)	b (birimsiz)	R^2	δ
86.96	-0.9747	0.9943	1.8223

BÖLÜM 9

SONUÇLAR VE ÖNERİLER

Bu çalışmada, dut yapraklarının mikrodalga yöntemi kullanılarak kurutulmasında uygulanan mikrodalga çıkış gücünün ve sabit mikrodalga çıkış gücünde kurutulan numune ağırlığının kuruma, renk değişimi ve rehidratasyon kinetiği üzerindeki etkileri incelenmiştir. Bununla birlikte, farklı sıcaklık değerlerinin rehidratasyon kapasitesi üzerine etkileri incelenmiştir. Ayrıca, Efektif Difüzivite Katsayısı ve aktivasyon enerjisi değerleri hesaplanmıştır. Kuruma süresine karşılık mikrodalga çıkış gücü/numune ağırlığı değerlerinin değişimi incelenmiştir. Son olarak, konvansiyonel kurutmanın da kuruma ve renk değişim kinetiği üzerindeki etkileri incelenmiştir ve elde edilen veriler mikrodalga yöntemi ile elde edilen veriler ile karşılaştırılmıştır. Yapılan çalışmalar sonucunda elde edilen veriler aşağıda özetlenmiştir.

Mikrodalga yöntemi ile gerçekleştirilen kurutma çalışmalarından elde edilen verilere göre:

1. ***Kuruma hızları incelendiğinde***; farklı mikrodalga çıkış güçlerinde ve numune ağırlıklarında kurutulan dut yaprağı numunelerinin kuruma sürelerinde mikrodalga çıkış gücü arttıkça ve kurutulan numune ağırlığı azaltıldıkça azalma olduğu saptanmıştır.

2. ***Kuruma kinetiği incelendiğinde;*** 4 farklı ince tabaka kurutma modeli; Page Model, Henderson ve Pabis Model, Lewis Model ve Logaritmik Model denklemleri kullanılmış ve uygulanan modeller arasında tüm koşullarda yüksek R^2 ve düşük standart sapma (δ) değerlerine sahip olan Page Model denkleminin kuruma kinetiğini açıklayan en iyi model denklemi olduğu tespit edilmiştir.

3. ***Efektif Difüzivite Katsayısı değerleri incelendiğinde*;** uygulanan tüm kurutma koşullarında hesaplanan Efektif Difüzivite Katsayısı (D_{eff}) değerlerinin 0.44 x 10^{-10} m^2/s değeri ile 5.34 x 10^{-10} m^2/s değeri arasında değiştiği belirlenmiştir.

4. ***Renk parametreleri incelendiğinde;*** yüksek mikrodalga çıkış güçlerinde ve düşük numune ağırlıklarında kurutulan dut yapraklarının rengi farklılaşmıştır. Bunun sebebi olarak yüksek sıcaklıklarda karoten, klorofil pigmentlerinin bozunması nedeniyle kahverengi bileşenlerin oluşması ve karamelizasyon reaksiyonları gösterilebilir. Elde edilen deneysel veriler, Sıfırıncı Dereceden Kinetik Model ve Birinci Dereceden Kinetik Model denklemleri ile modellenmiştir. Yapılan matematiksel modelleme çalışmaları sonucunda; L, a, b, Kroma (CV), Toplam Renk Değişimi (ΔE), Renk Açısı (HA) ve Kahverengileşme İndeksi (BI) değerlerinin kuruma süresine bağlı olarak değişimlerinin yüksek R^2 ve düşük standart sapma (δ) değerleri ile Sıfırıncı Dereceden Kinetik Model denklemine uygunluk gösterdiği belirlenmiştir.

5. ***Rehidratasyon kapasitesi değerleri incelendiğinde;*** kurutulmuş dut yaprakları 30, 45, 55 ve 70 °C sıcaklıklarda su banyosunda rehidratasyon işlemine tabi tutulmuş ve absorplanan su miktarları bulunmuştur. Kurutma sırasında dut yapraklarının yapısında oluştuğu düşünülen bozunmalardan dolayı kuru dut yapraklarının orijinal nem oranına ulaşacak kadar su absorplayamadığı belirlenmiştir. Sıcaklıkla birlikte absorplanabilen su miktarında arttığı görülmüştür. Kurutma sırasında dut yapraklarının yapısında oluştuğu düşünülen bozunmalardan dolayı kuru dut yapraklarının orijinal nem oranına ulaşacak kadar su absorplayamadığı belirlenmiştir. Absorplanan su miktarının rehidratasyon süresi ile değişimi için Peleg Model denklemi kullanılmış ve bu modelin dut yapraklarının rehidratasyon kapaistesi değerleri ile uyumlu olduğu bulunmuştur.

6. ***Aktivasyon enerjisi değerleri incelendiğinde;*** dut yapraklarının mikrodalga yöntemi ile kurutulması sırasında kuruma kinetiği için aktivasyon enerjisi değerinin 15.43 W/g olduğu belirlenmiştir. Renk değişim kinetiği için aktivasyon enerjileri hesaplanmış ve her bir renk değişim indisi için elde edilen aktivasyon enerjisi değerleri 11.11-12.07 W/g değerleri arasında olduğu tespit edilmiştir. 30 °C sıcaklıkta gerçekleştirilen rehidratasyon işlemi için aktivasyon enerjisi değeri 4.59 W/g, farklı sıcaklıklarda gerçekleştirilen rehidratasyonu işlemi için aktivasyon

enerjisi değeri ise 18.22 kJ/mol olarak bulunmuştur.

7. ***Kuruma süresine karşılık mikrodalga çıkış gücü/numune ağırlığı değerlerinin değişimi incelendiğinde;*** elde edilen deneysel veriler kullanılarak yapılan matematiksel modelleme çalışmaları sonucunda; kuruma süresine karşılık mikrodalga çıkış gücü/numune ağırlığı değerlerinin Power Model denklemi ile uyumlu olduğu sonucuna varılmıştır.

<u>Konvansiyonel yöntem ile gerçekleştirilen kurutma çalışmalarından elde edilen verilere göre:</u>

1. 40 °C sıcaklıkta konvansiyonel kurutma için gereken sürenin 20 g numune için 90 dakika olduğu, minimum 180 W mikrodalga çıkış gücü kullanıldığında (11.5 dakika) bu sürenin 7.8 katı olduğu bulunmuştur. Renk değişimi incelendiğinde, dut yapraklarının renginin farklılaştığı görülmüştür. Bunun sebebi olarak yüksek sıcaklıklarda karoten, klorofil pigmentlerinin bozunması nedeniyle kahverengi bileşenlerin oluşması ve karamelizasyon reaksiyonları gösterilebilir. Elde edilen deneysel veriler kullanılarak yapılan matematiksel modelleme çalışmaları sonucunda; L, a, b, Kroma (CV), Toplam Renk Değişimi (ΔE), Renk Açısı (HA) ve Kahverengileşme İndeksi (BI) değerlerinin değişimlerinin yüksek R^2 ve düşük standart sapma (δ) değerleri ile Sıfırıncı Dereceden Kinetik Model denklemine uyumluluk gösterdiği saptanmıştır.

Bundan sonraki çalışmalarda gıdaların mikrodalga tekniği ile kurutulmasında;

1. Toplam fenolik madde ve flavonoid miktarı değişimi incelenebilir.

2. Vitamin A, B, E ve C kayıpları incelenebilir.

3. Su aktivitesi ve büzüşme oranları incelenebilir.

4. Kurutma sırasında dokuda meydana gelen değişimler incelenebilir.

KAYNAKLAR

[1] United Nations Industrial Development Organization (2004a), “Preservation of Fruits and Vegetables by Drying”, III UNISWORK, UNIDO Uluslararası Gıda Güvenliği ve Saklama Yöntemleri Çalısma Programı Raporu, Gebze-Kocaeli.

[2] Nummer, A. B., National Center for Home Food Preservation, http://nchfp.uga.edu/publications/nchfp/factsheets/food_pres_hist.html, 13 Ekim 2019.

[3] Yılmaz, H., (2000). Güneş Pili Tahrikli Model Bir Güneşli Kurutucunun Geliştirilmesi ve Kurutulmuş Domates Üretiminde Teorik ve Deneysel İncelenmesi, Doktora Tezi, Ege Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, İzmir.

[4] Schoolworkhelper, Food Preservation: History, Methods, Types, https://schoolworkhelper.net/food-preservation-history-methods-types/, 13 Ekim 2019.

[5] Barbosa - Canovas, G. ve Vega - Mercado, H., (1996). Dehydration of Foods, First Edition, Chapman & Hall, New York.

[6] Kanat, A. (2001), .T.Ü. KOSGEB'de Geliştirilmekte Olan Mikrodalga Fırında Elma Meyvesinin Kurutulmasına Yönelik Bir Çalışma, Yüksek Lisans Tezi, İTÜ Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.

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

[8] Teymur, N., (1999). Maydanoz ve Dereotunun Kurutulması ve Kuruma Karakteristiklerinin İncelenmesi, Yüksek Lisans Tezi, Yıldız Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.

[9] Yoğurtçu, H., (2015). “Determination of Drying Kinetics of Tunceli Garlic with Microwave Drying Technique”. Tarım Bilimleri Dergisi, 237-248.

[10] Krokida, M.K., Karathanos, V.T., Maroulis, Z.B. ve Marinos-Kouris, D. (2002), “Drying Kinetics of Some Vegetables”, Journal of Food Engineering, 59:391-403.

[11] Baker, G.J.C. (1997), Industrial Drying of Foods, 1st Edition, Chapman & Hall Publication, New York, Amerika.

[12] Toledo, R.T. (1991), Fundamentals of Food Proces Engineering, 2nd Edition. Von Nostrand Reinhold, New York.

[13] Evranuz, Ö., (1989). “Gıda Maddelerinin Kurutulması Sırasında Kuruma Kinetiğini Kontrol Eden Faktörler ve Kalite Üzerine Etkileri”, Gıda, 13:50-58.

[14] Krokida, M.K., Karathanos, V.T., Maroulis, Z.B. ve Marinos-Kouris, D. (2002), “Drying Kinetics of Some Vegetables”, Journal of Food Engineering, 59:391-403.

[15] Pratt, G.H. (1974), Timber Drying Manual, Building Research Establishment

Report, Her Majesty's Stationary Office, Londra.
[16] Page, G.E., (1949). Factors influencing the maximum rates of air drying shelled corn in thin layers, M. Sc. Thesis, Purdue University, Lafayette.
[17] Cemeroğlu, B., Karadeniz F. ve Özkan M., (2003). "Meyve ve Sebze İşleme Teknolojisi, Bölüm: Kurutma Teknolojisi". Gıda Teknolojisi Derneği Yayınları, 28:541-675
[18] Potter, N.N. ve Hotchkiss, H., (1998), Food Science, Chapman & Hall Publication, New York.
[19] Dadalı, G., (2007). Bamya ve Ispanağın Mikrodalga Tekniğini Kullanarak Kurutulması, Doku ve Renk Özelliklerinin İncelenmesi ve Modellenmesi, Yüksek Lisans Tezi, YTÜ Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.
[20] Keey, R.B. (1978), Introduction to Industrial Drying Operations, Pergamon Press, Londra.
[21] Lee, C. (1994), "Enzymatic Browning and Its Prevention", 208. Amerika Kimya Birliği Toplantısı, Washington D.C.
[22] Lewicki, P. (1998), "Some remarks on rehydration of dried foods", Journal of Food Engineering, 36: (1), 81-87.
[23] Fenemma, O.R. (1975), Principles of Food Science, Marcel Dekker Inc, New York, Amerika.
[24] United Nations Industrial Development Organization (2004c), "Deteriorative Reactions in Dried Fruits and Vegetables", III UNISWORK, UNIDO Uluslararası Gıda Güvenliği ve Saklama Yöntemleri Çalışma Programı Raporu, Gebze-Kocaeli.
[25] Panyawong, S. ve Devahastin, S., (2007), "Determination of deformation of a food product undergoing different methods and conditions via evolution of a shape factor", Journal of Food Engineering, 78:151-161.
[26] Fellows, P.J., (2000). Food Processiıng Technology, 2nd Edition, Woodhead Publishing, Cambridge.
[27] Maskan, M. (2001), "Drying, shrinkage and rehydration characteristics of kiwifruits during hot air and microwave drying", Journal of Food Engineering, 48:(2), 177-182.
[28] United Nations Industrial Development Organization (2004), "Quality of Dried Foods and Deteriorative Reactions during Drying", III UNISWORK, UNIDO Uluslararası Gıda Güvenliği ve Saklama Yöntemleri Çalısma Programı Raporu, Gebze-Kocaeli.
[29] Galiboglu, O. (1990), Gıda Kimyası, İstanbul Teknik Üniversitesi Fen-Edebiyat Fakültesi Yayını, İstanbul.
[30] Eskin, N.A.M., Henderson, H.M. ve Townsend, R.J. (1971), Biochemistry of Foods, Academic Press, New York.
[31] Ames, J., M. (1998), "Applications of the Maillard reaction in the food industry", Food Chemistry, 62:(4), 431-439.
[32] Van Boekel, M.A.J.S., (2001). "Kinetic Aspects of the Maillard Reaction: a Critical Review, Nahrung, 45: 150–159.
[33] DeMan, J., M. (1990), Principles of Food Chemistry, Apsen Publication, 2nd Edition, New York, Amerika.
[34] Maskan, M. (2001), "Kinetics of colour change of kiwifruits during hot air and microwave drying", Journal of Food Engineering, 48:169-175.
[35] Hernandez, Y. Lobo, M.G. ve Gonzalez, M. (2006)," Determination of vitamin C

in tropical fruits: A comparative evaluation of methods", Food Chemistry, 96:654–664.
[36] Santos, P.H.S. ve Silva, M.A., (2008). "Retention of vitamin c in drying processes of fruits and vegetables: A review", Drying Technol., 26(12):1421–1437.
[37] Allison, S.D., Theodore, W.R., Mark, C.M., Kim, M., Ashley, D. ve John, F.C., (1998). "Effects of Drying Methods and Additives on Structure and Function of Actin: Mechanisms of Dehydration-Induced Damage and Its Inhibition", Archives ofBiochemıstry And Biophysics, 358(1):171–181.
[38] Gürses, A.Ü. (1986). Ders Kitabı: Gıda İşleme Mühendisliği, Ankara Üniversitesi Ziraat Fakültesi Yayınları, Ankara.
[39] Türk Tesisat Mühendisleri Derneği, (2016). Endüstriyel Kurutma Sistemleri. Türk Tesisat Mühendisleri Derneği Dergisi, Issue 13, 1-11.
[40] United Nations Industrial Development Organization (2004), "Classification of Dryers", III UNISWORK, UNIDO Uluslararası Gıda Güvenliği ve Saklama Yöntemleri Çalışma Programı Raporu, Gebze-Kocaeli.
[41] Çalıskan, M.K. (2002), Mikrodalga enerjisi ile kurutma, Yüksek Lisans Tezi, İTÜ Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.
[42] Decareau, V.R. (1985), Microwaves in the Food Processing Industry, Academic Press, Inc., London.
[43] Decareau, V.R. (1992), "Encyclopaedia of Food Science and Technology", 3:1772-1778.
[44] Strumillo, C. ve Kudra, T., (1986). Drying: Principles, Applications and Design, Gordon and Breach Science Publishers, New York.
[45] Kurutma Teknolojileri Sistemleri, http://www.dryerturk.com/?L=TR&mid=256, 13 Ekim 2019.
[46] Grabowski, S., Mujumdar A.S., Ramaswamy H.S. ve Strumillo, C., (1997). Evaluation of fluidized versus spouted bed drying of baker's yeast, drying technology, 15:625-634.
[47] Gölcü, M. ve Şen, F., (2014). Mikrodalga İle Islak Viyolün Kurutulabilirliğinin Deneysel Olarak İncelenmesi. Pamukkale Üniversitesi Mühendislik Bilimleri Dergisi, 20(4), 111-115.
[48] Osepchuk, J. M., (1984). A History of Microwave Heating Applications. IEEE Transactions on Microwave Theory and Techniques, 32(9), 1200-1224.
[49] Jones, D.A., Lelyveld, T.P., Mavrofidis, S.D. ve Kingman, S.W., (2002). "Microwave Heating Applications in Environmental Engineering: A Review, Conservation and Recycling, 34:75-95.
[50] Microwave Oven, http://www.smecc.org/microwave_oven.htm, 13 Ekim 2019.
[51] Konak, Ü. İ., Certel, M. ve Helhel, S., (2009). Gıda Sanayisinde Mikrodalga Uygulamaları. Gıda Teknolojileri Elektronik Dergisi, 4(3), 20-31.
[52] Yurdagel, Ü., Baysal, T. ve Hepçimen, A.Z. (1994), Gıda İşlemede Mikrodalga Enerji, II. Gıda Mühendisligi Kongresi, Gaziantep, 21-23 Eylül, 294, TMMOB, Kimya Mühendisliği Odası.
[53] İstanbul Sanayi Odası-İstanbul Teknik Üniversitesi, (2010). Gıda İşlemede Kurutma Teknolojilerinin Temel İlkeleri. 1 dü. İstanbul: İstanbul Sanayi Odası.
[54] Schubert, H. ve Reiger, M. (2005), The Microwave Processing of Foods, Woodhead Publishing Limited, Abington Hall, Abington.
[55] Singh R.P. ve Holdman D.R., (2001). Introduction to Food Engineering, 2nd

Edition, Academic Press, London.
[56] http://www.upv.es/gcm/docente/magnetron.html, 12 Ekim 2019.
[57] Soysal, Y. ve Öztekin, S. (2001), "Comparison of seven equilibrium moisture content equations for some medicinal and aromatic plants", Journal of Agricultural Engineering Research, 78:(1), 57-63.
[58] Maskan, M. (2000), "Microwave/air and microwave finish drying of banana", Journal of Food Engineering, 44:(2), 71-78.
[59] Platts, J. (1991), Microwave Ovens, M.C Print, Londra, İngiltere.
[60] Ancos, B., Cano, M.P., Hernandez, A. ve Monreal, M. (1999), "Effects of microwave heating on pigment composition and colour of fruit purest", Journal of the Science of Food and Agriculture, 79: 663-670.
[61] Anonim (2013), Dut Yetiştiriciliği Millî Eğitim Bakanlığı. Ankara.
[62] TUİK, Meyveler, İçecek ve Baharat Bitkileri, https://biruni.tuik.gov.tr/medas/?kn=92&locale=tr, 13 Ekim 2019
[63] Kim, J.W., Kim, S.U., Lee, H.S., Kim, I., Ahn, M.Y. and Ryu, K.S. (2003). "Determination of 1-deoxynojirimycin in Morus alba L. leaves by derivatization with 9 fluorenylmethyl chloroformate followed by reversed-phase high-performance liquid chromatography." Journal of Chromatography A, 1002: 93–99.
[64] Srivastava, S.,Kapoor,R.,Thathola,A.,Prakash,R. (2006). "Nutritional quality of leaves of some genotypes of mulberry (*Morus alba*)" International Journal of Food Sciences and Nutrition, 57(5/6):305-313
[65] Altay, K., Hayaloglu, A.A ve Dirim, S. N., (2019). "Determination of the drying kinetics and energy efficiency of purple basil (Ocimum basilicum L.) leaves using different drying methods", Heat and Mass Transfer, 55:2173–2184.
[66] Jebri, M., Desmorieux, H., Maaloul, A., Saadaoui, E., Romdhane, M. (2019). "Drying of Salvia officinalis L. by hot air and microwaves: dynamic desorption isotherms, drying kinetics and biochemical quality", Heat and Mass Transfer, 55:1143–1153.
[67] El-Hussein, E.A.A ve Şahin, S. (2018). "Drying behaviour, effective diffusivity and energy of activation of olive leaves dried by microwave, vacuum and oven drying methods", Heat and Mass Transfer, 54:1901–1911.
[68] Demirhan, E., Sert, G., Harmanlı, S.H., Özbek, B. (2018). "Estimation of tea leaves mass transfer parameters undergoing microwave heat treatment", Latin American Applied Research, 48:107-112.
[69] Hihat, S., Remini, H. ve Madani, K. (2017). "Effect of oven and microwave drying on phenolic compounds and antioxidant capacity of coriander leaves", International Food Research Journal, 24(2): 503-509.
[70] Lule, F. ve Koyuncu, T. (2017). "Convective and microwave drying characteristics, energy requirement and color retention of dehydrated nettle leaves (Urtica diocia L.)", Legume Research, 40(4): 649-654.
[71] Bualuang, O., Onwude, D. ve Pracha, K., (2017). "Microwave drying of germinated corn and its effect on phytochemical properties", Journal of the Science of Food and Agriculture.
[72] Correa, J., Junqueira, J. ve Ernesto, D., (2017). "Microwave, convective and intermittent microwave–convective drying of pulsed vacuum osmodehydrated pumpkin slices", Journal of Food Processing and Preservation, 0:e13250.

[73] Darvishi, H, Farhudi, Z. ve Behroozi-Khazaei N. (2016). "Mass Transfer Parameters and Modeling of Hot Air Drying Kinetics of Dill Leaves", Chemical Product and Process Modeling,

[74] Alibas, I. ve Kacar, O. (2016). "Microwave Drying Kinetics, Hypericin Content, Effective Moisture Diffusivity and Activation Energy of Hypericum perforatum L.", Journal of Essential Oil Bearing Plants, 19:2, 454-465.

[75] Abano, E., (2016). "Kinetics and Quality of Microwave-Assisted Drying of Mango (Mangifera indica)", International Journal of Food Science, Vol. 2016.

[76] Günhan, T., Demir, V., Yağcioğlu, A. (2014). "Mathematical Modelling of Convection Drying Characteristics of Artichoke (Cynara scolymus L.) Leaves", Journal of Agricultural Sciences, 20:415-426.

[77] Alibaş, I. ve Köksal, N. (2014). "Convective, vacuum and microwave drying kinetics of mallow leaves and comparison of color and ascorbic acid values of three drying methods", Food Sci. Technol, Campinas, 34(2): 358-364.

[78] Alibaş, İ., (2014). "Mathematical Modeling of Microwave Dried Celery Leaves and Determination of the Effective Moisture Diffusivities and Activation Energy", Food Science and Technology, 34(2):394:401.

[79] Sarımeşeli, A., (2011). "Microwave drying characteristics of coriander (Coriandrum sativum L.) leaves, Energy Conversion and Management, 52:1449-1453.

[80] Demirhan, E. ve Ozbek, B. (2011). "Color Change Kinetics of Celery Leaves Undergoing Microwave Heating", Chem. Eng. Comm., 198:1189–1205.

[81] Demirhan, E. ve Özbek, B., (2009). "Color Change Kinetics of Microwave-Dried Basil", Drying Technologies, 27: 156-166.

[82] Konica Minolta, Renk işareti ölçer CR-400 / CR-410, https://www.konicaminolta.eu/tr/measuring-instruments/products/colour-measurement/chroma-meters/cr-400-410/specifications.html, 13 Ekim 2019.

[83] Hunter Lab, Application Notes, http://www.hunterlab.com/application-notes.html, 13 Ekim 2019.

[84] Crank, J. (1975), The mathematics of diffusion, 2nd Ed. Oxford, UK: Clarendon Press.

[85] Bingöl, G. ve Devres, O., (2010). "Üzümlerin mikrodalga kurutma eğrilerinin ve sıcaklık değişiminin matematiksel modellenmesi", itüdergisi/d mühendislik, 4:63-71.

[86] Demiray, E., (2009). Kurutma İşleminde Domatesin Likopen, β-Karoten, Askorbik Asit ve Renk Değişim Kinetiğinin Belirlenmesi, Yüksek Lisans Tezi, Pamukkale Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Gıda Mühendisliği Anabilim Dalı, Denizli.

[87] Demirhan, E. and Ozbek, B. (2010). "Rehydration kinetics of microwave-dried basil", Journal of Food Processing and Preservation, 34: 664–680.

[88] Lopez, A., Pique, M.T., Boatella, J., Romero, A., Ferran, A. ve Garcia, J., (1997). "Influence of drying conditions on the hazelnut quality: III. Browning", Drying Technology 15:989-1002.

[89] Palou, E., Lopez-Malo, A., Barbosa-Canovas, G.V., Welti-Chanes, J. ve Swanson, B.G., (1999), "Polyphenoloxidase activity and colour of blanched and high hydrostatic pressure treated banana puree", Journal of Food Science, 64:42-45.

[90] Mclellan, M. R., Lind, L. R. ve Kıme, R. W., (1994), "Hue angle determinations

and statistical analysis for multiquadrant Hunter L,a,b Data", Journal of Food Quality, 18(3):235- 40.

[91] Krokida, M. K. ve Philippopoulos, C., (2005). "Rehydration of Dehydrated Foods", Drying Technology, 23:799-830.

[92] Weemaes, C., Ooms, V., Indrawati, L., Ludikhuyze, Broeck, V., Loey, V. ve Hendrickx, M., (1999), "Pressure-Temperature Degradation of Green Colour in Broccoli Juice", Journal of Food Science, 64(3):504-508.

[93] Sanjuan, N., Simal, S., Bon, J. ve Mulet, A., (1999). "Modelling of broccoli stems rehydration process", Journal of Food Engineering, 42:27-31.

EK 1

Dut yaprağı numunesinin kurutulması sırasında mikrodalga çıkış gücünün kuruma kinetiği üzerindeki etkisine ait deneysel veriler

Çizelge E1.1 180 W mikrodalga çıkış gücünde 20 g dut yaprağı numunesinin kurutulmasına ait deneysel veriler

Kuruma Süresi (dak)	Numune (g)	Nem İçeriği (g su/g kuru madde)	Nem Oranı (MR)
0	20.09	2.37	1.00
2	17.79	1.99	0.84
4	14.56	1.45	0.61
6	10.66	0.79	0.33
7	9.11	0.53	0.22
8	8.01	0.34	0.15
9	7.32	0.23	0.10
10	6.83	0.15	0.06
11	6.55	0.10	0.04
11.5	6.40	0.08	0.03

Çizelge E1.2 360 W mikrodalga çıkış gücünde 20 g dut yaprağı numunesinin kurutulmasına ait deneysel veriler

Kuruma Süresi (dak)	Numune (g)	Nem İçeriği (g su/g kuru madde)	Nem Oranı (MR)
0	20.43	2.37	1.00
1	17.18	1.84	0.77
3	11.00	0.82	0.34
3.5	9.39	0.55	0.23
4	7.87	0.29	0.13
4.5	7.42	0.23	0.09
5	7.06	0.17	0.07
5.5	6.87	0.13	0.06
6	6.62	0.09	0.04

Çizelge E1.3 540 W mikrodalga çıkış gücünde 20 g dut yaprağı numunesinin kurutulmasına ait deneysel veriler

Kuruma Süresi (dak)	Numune (g)	Nem İçeriği (g su/g kuru madde)	Nem Oranı (MR)
0	20.03	2.37	1.00
0.5	17.36	1.92	0.81
1	14.16	1.38	0.58
1.5	10.4	0.75	0.32
2	7.75	0.31	0.13
2.5	6.68	0.12	0.05
3	6.52	0.10	0.04

Çizelge E1.4 720 W mikrodalga çıkış gücünde 20 g dut yaprağı numunesinin kurutulmasına ait deneysel veriler

Kuruma Süresi (dak)	Numune (g)	Nem İçeriği (g su/g kuru madde)	Nem Oranı (MR)
0	20.47	2.37	1.00
0.5	17.15	1.83	0.77
1	12.80	1.11	0.47
1.5	9.04	0.49	0.21
2	6.74	0.11	0.05
2.5	6.61	0.09	0.04

Çizelge E1.5 900 W mikrodalga çıkış gücünde 20 g dut yaprağı numunesinin kurutulmasına ait deneysel veriler

Kuruma Süresi (dak)	Numune (g)	Nem İçeriği (g su/g kuru madde)	Nem Oranı (MR)
0	20.11	2.37	1.00
0.33	17.44	1.93	0.81
0.66	14.04	1.35	0.57
1	10.27	0.72	0.30
1.33	7.69	0.29	0.12
1.5	7.03	0.18	0.08
1.83	6.66	0.12	0.05
2	6.56	0.10	0.04

EK 2

Dut yaprağı numunesinin kurutulması sırasında mikrodalga çıkış gücünün renk değişimi üzerindeki etkisine ait deneysel veriler

Çizelge E2.1 180 W mikrodalga çıkış gücünde kurutulan 20 g dut yaprağı numunesinin renk değişimine ait deneysel veriler

Kuruma Süresi (dak)	L	a	b	ΔE
0	33.92	-12.67	14.68	0
3	32.58	-12.17	13.65	1.55
6	31.97	-11.63	12.68	2.73
9	30.84	-10.98	11.87	3.85
11	29.41	-10.22	11.49	5.56

Çizelge E2.2 360 W mikrodalga çıkış gücünde kurutulan 20 g dut yaprağı numunesinin renk değişimine ait deneysel veriler

Kuruma Süresi (dak)	L	a	b	ΔE
0	33.92	-12.67	14.68	0
1.5	31.94	-12.03	13.51	2.39
3	30.65	-11.43	12.63	4.05
4.5	29.74	-10.58	11.71	5.54
6	28.16	-10.09	11.32	7.15

Çizelge E2.3 540 W mikrodalga çıkış gücünde kurutulan 20 g dut yaprağı numunesinin renk değişimine ait deneysel veriler

Kuruma Süresi (dak)	L	a	b	ΔE
0	33.92	-12.67	14.68	0
1	31.71	-11.85	-11.31	2.68
1.5	30.55	-11.31	12.27	3.95
2	28.91	-10.67	11.64	5.67
3	27.32	-9.91	11.04	7.40

Çizelge E2.4 720 W mikrodalga çıkış gücünde kurutulan dut yaprağı numunesinin renk değişimine ait deneysel veriler

Kuruma Süresi (dak)	L	a	b	ΔE
0	33.92	-12.67	14.68	0
0.5	31.98	-11.69	13.15	2.66
1	30.18	-10.94	12.06	4.88
2	28.64	-10.21	11.37	6.70
2.5	26.47	-9.74	10.86	8.87

Çizelge E2.5 900 W mikrodalga çıkış gücünde kurutulan 20 g dut yaprağı numunesinin renk değişimine ait deneysel veriler

Kuruma Süresi (dak)	L	a	b	ΔE
0	33.92	-12.67	14.68	0
0.66	30.89	-11.52	13.04	3.63
1.33	28.45	-10.84	11.82	6.44
1.83	26.39	-10.06	11.06	8.75
2	25.98	-9.54	10.65	9.44

EK 3

Dut yaprağı numunesinin kurutulması sırasında mikrodalga çıkış gücünün rehidratasyon kapasitesi üzerindeki etkisine ait deneysel veriler

Çizelge E3.1 180 W mikrodalga çıkış gücünde kurutulan 20 g dut yaprağı numunesinin rehidratasyon kapasitesine ait deneysel veriler

Rehidratasyon Süresi (dak)	Numune (g)	Nem İçeriği (g su/g kuru madde)
0	2	0.10
0.5	2.07	0.14
1	2.15	0.18
3	2.28	0.25
5	2.52	0.39
10	2.97	0.63
20	3.11	0.71
60	3.48	0.91
120	3.65	1.01
180	3.76	1.07
240	3.84	1.11
300	3.93	1.16

Çizelge E3.2 360 W mikrodalga çıkış gücünde kurutulan 20 g dut yaprağı numunesinin rehidratasyon kapasitesine ait deneysel veriler

Rehidratasyon Süresi (dak)	Numune (g)	Nem İçeriği (g su/g kuru madde)
0	2	0.10
0.5	2.08	0.14
1	2.16	0.18
3	2.29	0.25
5	2.45	0.39
10	2.83	0.63
20	3.22	0.71
60	3.68	1.02
120	3.85	1.12
180	3.99	1.19
240	4.07	1.24
300	4.13	1.27

Çizelge E3.3 540 W mikrodalga çıkış gücünde kurutulan 20 g dut yaprağı numunesinin rehidratasyon kapasitesine ait deneysel veriler

Rehidratasyon Süresi (dak)	Numune (g)	Nem İçeriği (g su/g kuru madde)
0	2	0.10
0.5	2.09	0.15
1	2.18	0.19
3	2.32	0.28
5	2.56	0.41
10	3.12	0.72
20	3.37	0.85
60	3.93	1.16
120	4.11	1.26
180	4.21	1.32
240	4.29	1.36
300	4.37	1.40

Çizelge E3.4 720 W mikrodalga çıkış gücünde kurutulan 20 g dut yaprağı numunesinin rehidratasyon kapasitesine ait deneysel veriler

Rehidratasyon Süresi (dak)	Numune (g)	Nem İçeriği (g su/g kuru madde)
0	2	0.10
0.5	2.19	0.20
1	2.31	0.27
3	2.48	0.36
5	2.59	0.43
10	3.14	0.73
20	3.41	0.88
60	4.02	1.21
120	4.26	1.34
180	4.47	1.46
240	4.53	1.49
300	4.62	1.54

Çizelge E3.5 900 W mikrodalga çıkış gücünde kurutulan 20 g dut yaprağı numunesinin rehidratasyon kapasitesine ait deneysel veriler

Rehidratasyon Süresi (dak)	Numune (g)	Nem İçeriği (g su/g kuru madde)
0	2	0.10
0.5	2.28	0.25
1	2.39	0.32
3	2.56	0.41
5	2.79	0.54
10	3.34	0.84
20	3.61	0.99
60	4.19	1.30
120	4.42	1.43
180	4.57	1.51
240	4.71	1.59
300	4.80	1.64

EK 4

Sabit mikrodalga çıkış gücünde kurutulan dut yaprağı numunesinin ağırlığının kuruma kinetiği üzerindeki etkisine ait deneysel veriler

Çizelge E4.1 360 W sabit mikrodalga çıkış gücünde 20 g dut yaprağı numunesinin kurutulmasına ait deneysel veriler

Kuruma Süresi (dak)	Numune (g)	Nem İçeriği (g su/g kuru madde)	Nem Oranı (MR)
0	20.43	2.37	1.00
1	17.18	1.84	0.77
3	11.00	0.82	0.34
3.5	9.39	0.55	0.23
4	7.87	0.29	0.13
4.5	7.42	0.23	0.09
5	7.06	0.17	0.07
5.5	6.87	0.13	0.06
6	6.62	0.09	0.04

Çizelge E4.2 360 W sabit mikrodalga çıkış gücünde 40 g dut yaprağı numunesinin kurutulmasına ait deneysel veriler

Kuruma Süresi (dak)	Numune (g)	Nem İçeriği (g su/g kuru madde)	Nem Oranı (MR)
0	40.14	2.37	1.00
2	32.88	1.76	0.74
4	26.47	1.22	0.52
5	23.28	0.96	0.40
6	20.24	0.70	0.30
7	16.74	0.41	0.17
8	15.42	0.30	0.12
9	14.05	0.18	0.08
9.5	13.15	0.10	0.04

Çizelge E4.3 360 W sabit mikrodalga çıkış gücünde 60 g dut yaprağı numunesinin kurutulmasına ait deneysel veriler

Kuruma Süresi (dak)	Numune (g)	Nem İçeriği (g su/g kuru madde)	Nem Oranı (MR)
0	60.08	2.37	1.00
2	53.06	1.98	0.83
4	45.12	1.53	0.65
5	40.73	1.29	0.54
7	33.35	0.87	0.37
8	29.59	0.66	0.28
9	24.72	0.39	0.16
9.5	22.95	0.29	0.12
10.5	21.25	0.19	0.08
11	20.68	0.16	0.07
12	19.86	0.11	0.05
13	19.75	0.10	0.05

Çizelge E4.4 360 W sabit mikrodalga çıkış gücünde 80 g dut yaprağı numunesinin kurutulmasına ait deneysel veriler

Kuruma Süresi (dak)	Numune (g)	Nem İçeriği (g su/g kuru madde)	Nem Oranı (MR)
0	80.01	2.37	1.00
3	71.73	2.03	0.86
6	59.29	1.50	0.63
9	44.58	0.88	0.37
11	33.28	0.41	0.17
14	27.39	0.16	0.07
15	26.82	0.13	0.06
16	26.44	0.12	0.05
17	26.12	0.10	0.04

Çizelge E4.5 360 W sabit mikrodalga çıkış gücünde 100 g dut yaprağı numunesinin kurutulmasına ait deneysel veriler

Kuruma Süresi (dak)	Numune (g)	Nem İçeriği (g su/g kuru madde)	Nem Oranı (MR)
0	100.02	2.37	1.00
3	91.56	2.09	0.88
6	78.26	1.64	0.69
9	64.44	1.17	0.49
12	52.46	0.77	0.33
14	48.22	0.63	0.26
16	43.61	0.47	0.19
18	40.53	0.37	0.16
19	37.76	0.27	0.12
20	35.29	0.19	0.08
21	34.23	0.15	0.07
22	33.68	0.14	0.06
23	33.17	0.12	0.05
24	32.58	0.10	0.04

EK 5

Sabit mikrodalga çıkış gücünde kurutulan dut yaprağı numunesinin ağırlığının renk değişimi üzerindeki etkisine ait deneysel veriler

Çizelge E5.1 360 W sabit mikrodalga çıkış gücünde kurutulan 20 g dut yaprağı numunesinin renk değişimine ait deneysel veriler

Kuruma Süresi (dak)	L	a	b	ΔE
0	33.92	-12.67	14.68	0
1.5	31.94	-12.03	13.51	2.39
3	30.65	-11.43	12.63	4.05
4.5	29.74	-10.58	11.71	5.54
6	28.16	-10.09	11.32	7.15

Çizelge E5.2 360 W sabit mikrodalga çıkış gücünde kurutulan 40 g dut yaprağı numunesinin renk değişimine ait deneysel veriler

Kuruma Süresi (dak)	L	a	b	ΔE
0	33.92	-12.67	14.68	0
2	32.24	-12.16	13.59	2.07
4	31.34	-11.62	12.94	3.28
6	29.89	-10.74	12.28	5.07
9	28.76	-10.57	11.68	6.33

Çizelge E5.3 360 W sabit mikrodalga çıkış gücünde kurutulan 60 g dut yaprağı numunesinin renk değişimine ait deneysel veriler

Kuruma Süresi (dak)	L	a	b	ΔE
0	33.92	-12.67	14.68	0
3	32.47	-12.19	13.67	1.83
7	31.59	-11.87	12.89	3.05
10	30.14	-11.14	12.38	4.68
13	29.08	-10.83	11.89	5.88

Çizelge E5.4 360 W sabit mikrodalga çıkış gücünde kurutulan 80 g dut yaprağı numunesinin renk değişimine ait deneysel veriler

Kuruma Süresi (dak)	L	a	b	ΔE
0	33.92	-12.67	14.68	0
4	32.56	-12.03	13.75	1.82
8	31.79	-11.79	13.14	2.77
12	31.12	-11.46	12.89	3.54
17	29.85	-11.09	12.08	5.08

Çizelge E5.5 360 W sabit mikrodalga çıkış gücünde kurutulan 100 g dut yaprağı numunesinin renk değişimine ait deneysel veriler

Kuruma Süresi (dak)	L	a	b	ΔE
0	33.92	-12.67	14.68	0
6	32.68	-12,15	13.62	1.71
12	31.82	-11.94	13.22	2.66
18	31.41	-11.34	13.02	3.29
24	30.25	-11.29	12.36	4.56

EK 6

Sabit mikrodalga çıkış gücünde kurutulan dut yaprağı numunesinin ağırlığının rehidratasyon kapasitesi üzerindeki etkisine ait deneysel veriler

Çizelge E6.1 360 W sabit mikrodalga çıkış gücünde kurutulan 20 g dut yaprağı numunesinin rehidratasyon kapasitesine ait deneysel veriler

Rehidratasyon Süresi (dak)	Numune (g)	Nem İçeriği (g su/g kuru madde)
0	2	0.10
0.5	2.07	0.14
1	2.15	0.18
3	2.28	0.25
5	2.52	0.39
10	2.97	0.63
20	3.11	0.71
60	3.68	1.02
120	3.85	1.12
180	3.99	1.19
240	4.07	1.24
300	4.13	1.27

Çizelge E6.2 360 W sabit mikrodalga çıkış gücünde kurutulan 40 g dut yaprağı numunesinin rehidratasyon kapasitesine ait deneysel veriler

Rehidratasyon Süresi (dak)	Numune (g)	Nem İçeriği (g su/g kuru madde)
0	2	0.1
0.5	2.06	0.13
1	2.14	0.18
3	2.26	0.24
5	2.53	0.39
10	2.85	0.57
20	3.01	0.66
60	3.61	0.98
120	3.79	1.08
180	3.84	1.11
240	3.91	1.15
300	3.98	1.19

Çizelge E6.3 360 W sabit mikrodalga çıkış gücünde kurutulan 60 g dut yaprağı numunesinin rehidratasyon kapasitesine ait deneysel veriler

Rehidratasyon Süresi (dak)	Numune (g)	Nem İçeriği (g su/g kuru madde)
0	2	0.10
0.5	2.04	0.12
1	2.11	0.16
3	2.25	0.24
5	2.48	0.36
10	2.6	0.43
20	2.96	0.63
60	3.46	0.90
120	3.62	0.99
180	3.69	1.03
240	3.76	1.07
300	3.85	1.12

Çizelge E6.4 360 W sabit mikrodalga çıkış gücünde kurutulan 80 g dut yaprağı numunesinin rehidratasyon kapasitesine ait deneysel veriler

Rehidratasyon Süresi (dak)	Numune (g)	Nem İçeriği (g su/g kuru madde)
0	2	0.10
0.5	2.05	0.13
1	2.1	0.16
3	2.23	0.23
5	2.45	0.35
10	2.55	0.40
20	2.88	0.58
60	3.36	0.85
120	3.49	0.92
180	3.55	0.95
240	3.61	0.99
300	3.71	1.04

Çizelge E6.5 360 W sabit mikrodalga çıkış gücünde kurutulan 100 g dut yaprağı numunesinin rehidratasyon kapasitesine ait deneysel veriler

Rehidratasyon Süresi (dak)	Numune (g)	Nem İçeriği (g su/g kuru madde)
0	2	0.10
0.5	2.05	0.13
1	2.08	0.14
3	2.22	0.22
5	2.4	0.32
10	2.46	0.35
20	2.78	0.53
60	3.19	0.75
120	3.31	0.82
180	3.44	0.89
240	3.51	0.93
300	3.59	0.97

EK 7

Sabit mikrodalga çıkış gücünde kurutulan dut yaprağı numunesinin rehidratasyon sıcaklığının rehidratasyon kapasitesi üzerindeki etkisine ait deneysel veriler

Çizelge E7.1 45 °C rehidratasyon sıcaklığında sabit mikrodalga gücünde kurutulan 20 g dut yaprağı numunesinin rehidratasyon kapasitesine ait deneysel veriler (Mikrodalga çıkış gücü = 360 W)

Rehidratasyon Süresi (dak)	Numune (g)	Nem İçeriği (g su/g kuru madde)
0	2	0.10
0.5	2.11	0.16
1	2.22	0.22
3	2.37	0.30
5	2.56	0.41
10	3.22	0.77
20	3.53	0.94
60	3.91	1.15
120	4.11	1.26
180	4.23	1.33
240	4.28	1.35
300	4.32	1.38

Çizelge E7.2 55 °C rehidratasyon sıcaklığında sabit mikrodalga gücünde kurutulan 20 g dut yaprağı numunesinin rehidratasyon kapasitesine ait deneysel veriler (Mikrodalga çıkış gücü = 360 W)

Rehidratasyon Süresi (dak)	Numune (g)	Nem İçeriği (g su/g kuru madde)
0	2	0.10
0.5	2.17	0.19
1	2.34	0.29
3	2.47	0.36
5	2.66	0.46
10	3.31	0.82
20	3.67	1.02
60	4.12	1.27
120	4.31	1.37
180	4.39	1.41
240	4.46	1.45
300	4.51	1.48

Çizelge E7.3 70 °C rehidratasyon sıcaklığında sabit mikrodalga gücünde kurutulan 20 g dut yaprağı numunesinin rehidratasyon kapasitesine ait deneysel veriler (Mikrodalga çıkış gücü = 360 W)

Rehidratasyon Süresi (dak)	Numune (g)	Nem İçeriği (g su/g kuru madde)
0	2	0.10
0.5	2.29	0.26
1	2.41	0.33
3	2.58	0.42
5	2.79	0.53
10	3.64	1.00
20	4.11	1.26
60	4.42	1.43
120	4.62	1.54
180	4.77	1.62
240	4.81	1.65
300	4.83	1.67

EK 8

Dut yaprağı numunesinin konvansiyonel yöntem ile kurutulmasının kuruma kinetiği üzerindeki etkisine ait deneysel veriler

Çizelge E8.1 Konvansiyonel yöntem ile kurutulan 20 g dut yaprağı numunesinin nem içeriğine ve nem oranına ait deneysel veriler (Sıcaklık = 40 °C)

Kuruma Süresi (dak)	Numune (g)	Nem İçeriği (g su/g kuru madde)	Nem Oranı (MR)
0	20.09	2.37	1.00
5	19.09	2.21	0.93
10	17.86	1.99	0.84
15	16.12	1.71	0.72
20	14.11	1.37	0.58
30	12.09	1.03	0.43
40	9.46	0.59	0.25
50	7.85	0.32	0.13
60	7.16	0.20	0.09
70	6.96	0.17	0.07
80	6.84	0.14	0.06
90	6.72	0.11	0.05

EK 9

Dut yaprağı numunesinin konvansiyonel yöntem ile kurutulmasının renk değişimi üzerindeki etkisine ait deneysel veriler

Çizelge E9.1 Konvansiyonel yöntem ile kurutulan 20 g dut yaprağı numunesinin renk değişimine ait deneysel veriler (Sıcaklık = 40 °C)

Kuruma Süresi (dak)	L	a	b	ΔE
0	33.92	-12.67	14.68	0
5	33.35	-12.39	14.22	0.78
10	32.86	-12.11	13.84	1.46
20	32.43	-11.86	13.54	2.04
30	32.08	-11.64	13.13	2.62
45	31.68	-11.29	12.72	3.28
60	31.06	-11.07	12.34	4.03
75	30.24	-10.84	11.92	4.95
90	29.68	-10.43	11.39	5.82

ÖZGEÇMİŞ

KİŞİSEL BİLGİLER

Adı Soyadı : Berat YILMAZ

Doğum Tarihi ve Yeri : 07.05.1987 – İstanbul

Yabancı Dili : İngilizce

E-posta : beratyilmaz@gmail.com

ÖĞRENİM DURUMU

Derece	**Alan**	**Okul/Üniversite**	**Mezuniyet Yılı**
Lisans	Kimya Mühendisliği	Yıldız Teknik Üniversitesi	2007
Lise	Fen Bilimleri	Beşiktaş Atatürk Anadolu Lisesi	2003

İŞ TECRÜBESİ

Yıl	**Firma/Kurum**	**Görevi**
2018 - Halen	Bilim İlaç A.Ş.	Steril Kalite Kontrol Yöneticisi
2017-2018	Deva Holding A.Ş.	Ar-Ge Analitik Geliştirme Şefi
2013-2017	PharmaVision A.Ş.	Ar-Ge Grup Sorumlusu
2009-2013	Abdi İbrahim İlaç A.Ş.	Kalite Kontrol Uzmanı