T.C.

YILDIZ TEKNİK ÜNİVERSİTESİ

FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

MİKRODALGA TEKNİĞİ İLE KURUTULAN GÜVEM ERİĞİ KABUKLARININ KURUMA, RENK DEĞİŞİM VE REHİDRATASYON ÖZELLİKLERİNİN İNCELENMESİ VE MODELLENMESİ

Eda ÖZDEN

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Kimya Mühendisliği Anabilim Dalı

Kimya Mühendisliği Programı

Danışman

Prof. Dr. Belma ÖZBEK

Şubat, 2021

T.C.
YILDIZ TEKNİK ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

MİKRODALGA TEKNİĞİ İLE KURUTULAN GÜVEM ERİĞİ KABUKLARININ KURUMA, RENK DEĞİŞİM VE REHİDRATASYON ÖZELLİKLERİNİN İNCELENMESİ VE MODELLENMESİ

Eda ÖZDEN tarafından hazırlanan tez çalışması 01.02.2021 tarihinde aşağıdaki jüri tarafından Yıldız Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Kimya Mühendisliği Anabilim Dalı, Kimya Mühendisliği Programı **YÜKSEK LİSANS TEZİ** olarak kabul edilmiştir.

Prof. Dr. Belma ÖZBEK
Yıldız Teknik Üniversitesi
Danışman

Jüri Üyeleri

Prof. Dr. Belma ÖZBEK, Danışman
Yıldız Teknik Üniversitesi _____

Prof. Dr. Dilek KAZAN, Üye
Marmara Üniversitesi _____

Doç. Dr. Elçin YILMAZ, Üye
Yıldız Teknik Üniversitesi _____

Danışmanım Prof. Dr. Belma ÖZBEK sorumluluğunda tarafımca hazırlanan Mikrodalga Tekniği İle Kurutulan Güvem Eriği Kabuklarının Kuruma, Renk Değişim ve Rehidratasyon Özelliklerinin İncelenmesi ve Modellenmesi başlıklı çalışmada veri toplama ve veri kullanımında gerekli yasal izinleri aldığımı, diğer kaynaklardan aldığım bilgileri ana metin ve referanslarda eksiksiz gösterdiğimi, araştırma verilerine ve sonuçlarına ilişkin çarpıtma ve/veya sahtecilik yapmadığımı, çalışmam süresince bilimsel araştırma ve etik ilkelerine uygun davrandığımı beyan ederim. Beyanımın aksinin ispatı halinde her türlü yasal sonucu kabul ederim.

Eda ÖZDEN

İmza

Aileme

ve

biricik eşime

TEŞEKKÜR

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,

Her türlü soruma içtenlikle cevap veren çok değerli Doç. Dr. Elçin DEMİRHAN YILMAZ'a, gerek deneysel çalışmalarım gerekse modelleme çalışmaları sırasında her aşamada yanımda olan, bilgisini ve desteğin esirgemeyen, her soruma gece gündüz demeden cevap vermeye çalışan Arş. Gör. Pelin YILMAZ ÇETİNER'e, tez çalışmam süresince manevi desteğini biran bile olsun esirgemeyen değerli eşime, her daim yanımda olan oğluma, kızıma, aileme ve tüm sevdiklerime,

Sonsuz teşekkürlerimi sunarım.

Eda ÖZDEN

İÇİNDEKİLER

SİMGE LİSTESİ viii

KISALTMA LİSTESİ ix

ŞEKİL LİSTESİ x

TABLO LİSTESİ xiii

ÖZET xix

ABSTRACT xxi

1 GİRİŞ 1

1.1 Literatür Özeti 1

1.2 Tezin Amacı 1

1.3 Orijinal Katkı 2

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 9

2.4.1 Fiziksel Değişimler 9

2.4.2 Kimyasal Değişimler 10

2.4.2 Biyokimyasal Değişimler 12

3 ENDÜSTRİYEL KURUTMA SİSTEMLERİ 14

3.1 Endüstriyel Kurutucuların Sınıflandırılması 14

3.1.1 Kabin Kurutucular 14

3.1.2 Tünel Kurutucular 15

3.1.3 Püskürtmeli Kurutucular 16

3.1.4 Döner Kurutucular 17

3.1.5 Mikrodalga Kurutucular 18

3.1.6 Dondurarak Kurutan Kurutucular 18
3.1.7 Flaş Kurutucular 18
3.1.8 Akışkan Yataklı Kurutucular 19
4 MİKRODALGA VE GIDA ENDÜSTRİSİNDE KULLANIMI 20
4.1 Mikrodalganın Tarihçesi 20
4.2 Mikrodalga Kurutucuların İşleyiş Mekanizması 21
4.3 Mikrodalga Tekniği İle Kurutmaya Etki Eden Parametreler 22
4.3.1 Kurutulan Gıdanın Miktarı 22
4.3.2 Gıdanın Su İçeriği 22
4.3.3 Isı Transferi 22
4.3.4 Mikrodalga Çıkış Gücü 23
4.4 Mikrodalga Fırının Bileşenleri 23
4.5 Mikrodalga Tekniği ile Kurutmanın Avantajları ve Dezavantajları 24
4.6 Mikrodalga Cihaz Kullanımında Güvenlik Standardı 25
5 GÜVEM ERİĞİ HAKKINDA GENEL BİLGİ 26
5.1 Güvem Eriği 26
5.2 Antosiyaninler 27
5.3 Güvem Eriği Hakkında Genel Bilgi 28
6 GIDALARIN KURUTULMASINA İLİŞKİN LİTERATÜR ARAŞTIRMASI 29
7 MATERYAL VE YÖNTEM 35
7.1 Kullanılan Materyaller 35
7.2 Kullanılan Cihazlar 37
7.2.1 Mikrodalga Fırın 37
7.2.2 Su Banyosu 38
7.2.3 Renk Ölçüm Cihazı 39
7.2.4 UV Visible Spektrofotometre 41
7.3 Deneylerin Yapılışı 42
7.3.1 Kuruma Hızlarının Belirlenmesi 42
7.3.2 Renk Değişimlerinin İncelenmesi 42
7.3.3 Rehidratasyon Kapasitelerinin Belirlenmesi 43
7.3.4 pH Diferansiyel Methodu ile Monomerik Antosiyanin Tayini 44
7.4 Hesaplamalar 45
7.4.1 Kuruma Hızının Belirlenmesi İçin Yapılan Hesaplamalar 45
7.4.2 Renk Değişiminin Hesaplanması 47

7.4.3 Rehidratasyon Kapasitesinin Hesaplanması 48
7.4.4 Antosiyanin Miktarının Hesaplanması 48
7.5 Modelleme Çalışmaları 48
7.5.1 Kuruma Kinetiğine Ait Modelleme Çalışmaları 48
7.5.2 Renk Değişim Kinetiğine Ait Yapılan Modelleme Çalışmaları 50
7.5.3 Rehidratasyon Kinetiğine Ait Modelleme Çalışmaları 51
7.5.4 Aktivasyon Enerjisinin Hesaplanması 52
7.5.5 İstatistiksel Hesaplamalar 52
8 ARAŞTIRMA BULGULARI 54
8.1 Mikrodalga Çıkış Gücünün Güvem Eriği Kabuklarının Kurutulması Üzerindeki Etkisi 54
8.1.1 Mikrodalga Çıkış Gücünün Güvem Eriği Kabuklarının Kuruma Kinetiği Üzerindeki Etkisi 54
8.1.2 Mikrodalga Çıkış Gücünün Güvem Eriği Kabuklarının Renk Değişimi Üzerindeki Etkisi 60
8.1.3 Mikrodalga Çıkış Gücünün Güvem Eriği Kabuklarının Rehidratasyon Kapasitesi Üzerindeki Etkisi 73
8.1.4 Mikrodalga Çıkış Gücünün Güvem Eriği Kabuk Numunesinin Antosiyanin Kayıpları Üzerindeki Etkisi 76
8.2 Sabit Mikrodalga Çıkış Gücünde Kurutulan Güvem Eriği Kabuk Numunesinin Ağırlığının Kuruma Üzerindeki Etkisi 77
8.2.1 Güvem Eriği Kabuklarının Ağırlığının Kuruma Kinetiği Üzerindeki Etkisi 77
8.2.2 Güvem Eriği Kabuk Numunesinin Ağırlığının Renk Değişimi Üzerindeki Etkisi 84
8.2.3 Güvem Eriği Kabuk Numunesinin Ağırlığının Rehidratasyon Kapasitesi Üzerindeki Etkisi 96
8.2.4 Güvem Eriği Kabuk Numunesi Ağırlığının Antosiyanin Kayıpları Üzerindeki Etkisi 99
8.2.5 Sıcaklığın Güvem Eriği Kabuk Numunesinin Rehidratasyon Kapasitesi Üzerindeki Etkisi 99
8.3 Güvem Eriği Kabukarına Ait Aktivasyon Enerjisinin Hesaplanması 103
8.3.1 Kuruma Kinetiğine Ait Aktivasyon Enerjisinin Hesaplanması 103
8.3.2 Renk Değişimi Kinetiğine Ait Aktivasyon Enerjisinin Hesaplanması 103
8.3.3 Rehidratasyon Kinetiğine Ait Aktivasyon Enerjisinin Hesaplanması 104
8.4 Güvem Eriği Kabuklarının Konvansiyonel Yöntem ile Kurutulması 105
8.4.1 Güvem Eriği Kabuklarının Konvansiyonel Yöntem ile Kurutulmasının Kuruma Kinetiği Üzerindeki Etkisi 105

8.4.2 Güvem Eriği Kabuklarının Konvansiyonel Yöntem ile Kurutulmasının Renk Değişimi Üzerindeki Etkisi 107

8.5 Kuruma Süresine Karşılık Mikrodalga Çıkış Gücü/Numune Ağırlığı Değerlerinin Modellenmesi 117

9 SONUÇ VE ÖNERİLER 120

KAYNAKÇA 123

A GÜVEM ERİĞİ NUMUNESİNİN KURUTULMASI SIRASINDA MİKRODALGA ÇIKIŞ GÜCÜNÜN KURUMA KİNETİĞİ ÜZERİNDEKİ ETKİSİNE AİT DENEYSEL VERİLER 131

B GÜVEM ERİĞİ KABUK NUMUNESİNİN KURUTULMASI SIRASINDA MİKRODALGA ÇIKIŞ GÜCÜNÜN RENK DEĞİŞİMİ ÜZERİNDEKİ ETKİSİNE AİT DENEYSEL VERİLER 134

C GÜVEM ERİĞİ KABUK NUMUNESİNİN KURUTULMASI SIRASINDA MİKRODALGA ÇIKIŞ GÜCÜNÜN REHİDRATASYON KAPASİTESİ ÜZERİNDEKİ ETKİSİNE AİT DENEYSEL VERİLER 137

D SABİT MİKRODALGA ÇIKIŞ GÜCÜNDE KURUTULAN GÜVEM ERİĞİ KABUK NUMUNESİNİN AĞIRLIĞININ KURUMA KİNETİĞİ ÜZERİNDEKİ ETKİSİNE AİT DENEYSEL VERİLER 140

E SABİT MİKRODALGA ÇIKIŞ GÜCÜNDE KURUTULAN GÜVEM ERİĞİ KABUK NUMUNESİNİN AĞIRLIĞININ RENK DEĞİŞİMİ ÜZERİNDEKİ ETKİSİNE AİT DENEYSEL VERİLER 145

F SABİT MİKRODALGA ÇIKIŞ GÜCÜNDE KURUTULAN GÜVEM ERİĞİ KABUK NUMUNESİNİN AĞIRLIĞININ REHİDRATASYON KAPASİTESİ ÜZERİNDEKİ ETKİSİNE AİT DENEYSEL VERİLER 147

G SABİT MİKRODALGA ÇIKIŞ GÜCÜNDE KURUTULAN GÜVEM ERİĞİ KABUK NUMUNESİNİN REHİDRATASYON SICAKLIĞININ REHİDRATASYON KAPASİTESİ ÜZERİNDEKİ ETKİSİNE AİT DENEYSEL VERİLER 150

H GÜVEM ERİĞİ KABUK NUMUNESİNİN KONVANSİYONEL YÖNTEM İLE KURUTULMASININ KURUMA KİNETİĞİ ÜZERİNDEKİ ETKİSİNE AİT DENEYSEL VERİLER 152

I GÜVEM ERİĞİ KABUK NUMUNESİNİN KONVANSİYONEL YÖNTEM İLE KURUTULMASININ RENK DEĞİŞİMİ ÜZERİNDEKİ ETKİSİNE AİT DENEYSEL VERİLER 153

TEZDEN ÜRETİLMİŞ YAYINLAR 154

SİMGE LİSTESİ

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

KISALTMA LİSTESİ

kJ	Kilo Joule
MHz	Mega Hertz
TPC	Toplam Fenolik İçeriği

ŞEKİL LİSTESİ

Şekil 2.1 Gıdaların kuruma hızına ait eğri [17] 6

Şekil 2.2 Gıdaların genel sorpsiyon izotermi [25] 7

Şekil 2.3 Gıdaların kurutulması sırasında meydana gelen askorbik asit oksidasyonu [38] 13

Şekil 3.1 Kabin kurutucu [43] 15

Şekil 3.2 Tünel kurutucular [6] 16

Şekil 3.3 Siklon tipi bir püskürtmeli kurutucu sistemi [44] 17

Şekil 3.4 Döner kurutucu [43] 18

Şekil 4.1 Elektromanyetik dalga spektrumu [48] 20

Şekil 5.1 Güvem eriği ağacı 26

Şekil 7.1 a) Taze güvem eriği ve b) Kurutulmuş güvem eriği kabukları 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 [86] 40

Şekil 7.5 Hunter Lab renk skalası [86] 40

Şekil 7.6 Shimadzu marka UV-vis spektrofotometre 41

Şekil 8.1 Farklı mikrodalga çıkış güçlerinde kurutulan güvem eriği kabuk numunelerine ait nem içeriği değerlerinin kuruma süresi ile değişimi (Numune ağırlığı = 20 g) 55

Şekil 8.2 Farklı mikrodalga çıkış güçlerinde kurutulan güvem eriği kabuk numunelerine ait kuruma hızı değerlerinin nem içeriği değerleri ile değişimi (Numune ağırlığı = 20 g) 56

Şekil 8.3 Farklı mikrodalga çıkış güçlerinde kurutulan güvem eriği kabuk numunelerine ait nem oranı değerlerinin kuruma süresi ile değişimi (Numune ağırlığı = 20 g) 58

Şekil 8.4 Farklı mikrodalga çıkış güçlerinde kurutulan güvem eriği kabuk numunelerine ait ln(MR) değerlerinin kuruma süresi ile değişimi (Numune ağırlığı = 20 g) 60

Şekil 8.5 Farklı mikrodalga çıkış güçlerinde kurutulan güvem eriği kabuk numunelerine ait L değerlerinin kuruma süresi ile değişimi (Numune ağırlığı = 20 g) 62

Şekil 8.6 Farklı mikrodalga çıkış güçlerinde kurutulan güvem eriği kabuk numunelerine ait a değerlerinin kuruma süresi ile değişimi (Numune ağırlığı = 20 g) 63

Şekil 8.7 Farklı mikrodalga çıkış güçlerinde kurutulan güvem eriği kabuk numunelerine ait b değerlerinin kuruma süresi ile değişimi (Numune ağırlığı = 20 g) 65

Şekil 8.8 Farklı mikrodalga çıkış güçlerinde kurutulan güvem eriği kabuk numunelerine ait Toplam Renk Değişimi (ΔE) değerlerinin kuruma süresi ile değişimi (Numune ağırlığı = 20 g) 66

Şekil 8.9 Farklı mikrodalga çıkış güçlerinde kurutulan güvem eriği kabuk numunelerine ait Kroma (CV) değerlerinin kuruma süresi ile değişimi (Numune ağırlığı = 20 g) 68

Şekil 8.10 Farklı mikrodalga çıkış güçlerinde kurutulan güvem eriği kabuk numunelerine ait Renk Açısı (HA) değerlerinin kuruma süresi ile değişimi (Numune ağırlığı = 20 g) 70

Şekil 8.11 Farklı mikrodalga çıkış güçlerinde kurutulan güvem eriği kabuk numunelerine ait Kahverengileşme İndeksi (BI) değerlerinin kuruma süresi ile değişimi (Numune ağırlığı = 20 g) 72

Şekil 8.12 Farklı mikrodalga çıkış güçlerinde kurutulan güvem eriği kabuk numunelerine ait elde edilen rehidratasyon kapasitesi değerlerinin rehidratasyon süresi ile değişimi (Numune ağırlığı = 20 g, Rehidratasyon sıcaklığı = 30 °C) 75

Şekil 8.13 Farklı ağırlıklarda kurutulan güvem eriği kabuk numunelerinin nem içerik değerlerinin kuruma süresi ile değişimi (Mikrodalga çıkış gücü = 360 W) 78

Şekil 8.14 Farklı ağırlıklarda kurutulan güvem eriği kabuk numunelerine ait kuruma hızlarının nem içeriği ile değişimi (Mikrodalga çıkış gücü = 360 W) 79

Şekil 8.15 Farklı ağırlıklarda kurutulan güvem eriği kabuk numunelerine ait nem oranı değerlerinin kuruma süresi ile değişimi (Mikrodalga çıkış gücü = 360 W) 78

Şekil 8.16 Farklı ağırlıklarda kurutulan güvem eriği kabuk numunelerine ait ln(MR) değerlerinin kuruma süresi ile değişimi (Mikrodalga çıkış gücü = 360 W) 80

Şekil 8.17 Farklı ağırlıklarda kurutulan güvem eriği kabuk numunelerine ait L değerlerinin kuruma süresi ile değişimi (Mikrodalga çıkış gücü = 360 W) 85

Şekil 8.18 Farklı ağırlıklarda kurutulan güvem eriği kabuk numunelerine ait a değerlerinin kuruma süresi ile değişimi (Mikrodalga çıkış gücü = 360 W) 87

Şekil 8.19 Farklı ağırlıklarda kurutulan güvem eriği kabuk numunelerine ait b değerlerinin kuruma süresi ile değişimi (Mikrodalga çıkış gücü = 360 W) 88

Şekil 8.20 Farklı ağırlıklarda kurutulan güvem eriği kabuk numunelerine ait Toplam Renk Değişimi (ΔE) değerlerinin kuruma süresi ile değişimi (Mikrodalga çıkış gücü = 360 W) 90

Şekil 8.21 Farklı ağırlıklarda kurutulan güvem eriği kabuk numunelerine ait Kroma (CV) değerlerinin kuruma süresi ile değişimi (Mikrodalga çıkış gücü = 360 W) 91

Şekil 8.22 Farklı ağırlıklarda kurutulan güvem eriği kabuk numunelerine ait Renk Açısı (HA) değerlerinin kuruma süresi ile değişimi (Mikrodalga çıkış gücü = 360 W) 93

Şekil 8.23 Farklı ağırlıklarda kurutulan güvem eriği kabuk numunelerine ait Kahverengileşme İndeksi (BI) değerlerinin kuruma süresi ile değişimi (Mikrodalga çıkış gücü = 360 W) 95

Şekil 8.24 Farklı ağırlıklarda kurutulan güvem eriği kabuk numunelerine ait elde edilen rehidratasyon kapasitesi değerlerinin rehidratasyon süresi ile değişimi (Mikrodalga çıkış gücü = 360 W, Rehidratasyon sıcaklığı = 30 °C) 98

Şekil 8.25 Güvem eriği kabuk numunelerinin farklı sıcaklıklarda elde edilen rehidratasyon kapasitesi değerlerinin rehidratasyon süresi ile değişimi (Mikrodalga çıkış gücü = 360 W, Numune ağırlığı = 20 g) 99

Şekil 8.26 Konvansiyonel yöntem ile kurutulan güvem eriği kabuk numunesinin nem içeriğinin kuruma süresi ile değişimi (Numune ağırlığı = 20 g, Sıcaklık = 40 °C) 106

Şekil 8.27 Konvansiyonel yöntem ile kurutulan güvem eriği kabuk numunesinin nem oranının kuruma süresi ile değişimi (Numune ağırlığı = 20 g, Sıcaklık = 40 °C) 107

Şekil 8.28 Konvansiyonel yöntem ile kurutulan güvem eriği kabuk numunesine ait L değerlerinin kuruma süresi ile değişimi (Numune ağırlığı = 20 g, Sıcaklık = 40 °C) 109

Şekil 8.29 Konvansiyonel yöntem ile kurutulan güvem eriği kabuk numunesine ait a değerlerinin kuruma süresi ile değişimi (Numune ağırlığı = 20 g, Sıcaklık = 40 °C) 110

Şekil 8.30 Konvansiyonel yöntem ile kurutulan güvem eriği kabuk numunesine ait b değerlerinin kuruma süresi ile değişimi (Numune ağırlığı = 20 g, Sıcaklık = 40 °C) 111

Şekil 8.31 Konvansiyonel yöntem ile kurutulan güvem eriği kabuk numunesine ait Toplam Renk Değişimi (ΔE) değerlerinin kuruma süresi ile değişimi (Numune ağırlığı = 20 g, Sıcaklık = 40 °C) 113

Şekil 8.32 Konvansiyonel yöntem ile kurutulan güvem eriği kabuk numunesine ait Kroma (CV) değerlerinin kuruma süresi ile değişimi (Numune ağırlığı =20 g, Sıcaklık = 40 °C 114

Şekil 8.33 Konvansiyonel yöntem ile kurutulan güvem eriği kabuk numunesine ait Renk Açısı (HA) değerlerinin kuruma süresi ile değişimi (Numune ağırlığı = 20 g, Sıcaklık = 40 °C) 115

Şekil 8.34 Konvansiyonel yöntem ile kurutulan güvem eriği kabuk numunesine ait Kahverengileşme İndeksi (BI) değerlerinin kuruma süresi ile değişimi (Numune ağırlığı = 20 g, Sıcaklık = 40 °C) 116

Şekil 8.35 Mikrodalga yöntemi ile kurutulan güvem eriği kabuk numunesine ait mikrodalga çıkış gücü/numune ağırlığı değerlerinin kuruma süresi ile değişimi 119

TABLO LİSTESİ

Tablo 2.1 Kurutma sırasında gıdada meydana gelen bozulmalar [26] 9

Tablo 5.1 Erik örneklerinde bulunan farklı antosiyaninlerin yapıları [70] 27

Tablo 6.1 Gıdaların kurutulması çalışmalarına dair literatür taraması..... 33

Tablo 7.1 Arçelik MD 594 mikrodalga fırının teknik özellikleri 37

Tablo 7.2 Konica Minolta CR - 400 ve DP - 400 cihazlarının teknik özellikleri [86] 39

Tablo 7.3 Hunter Lab renk skalasında kullanılan renk indislerinin anlamı [87] 41

Tablo 8.1 Farklı mikrodalga çıkış güçlerinde kurutulan güvem eriği kabuk numunelerine ait kuruma kinetiğinin modellenmesi için kullanılan matematiksel modeller ve hesaplanan istatistiksel veriler (Numune ağırlığı = 20 g) 57

Tablo 8.2 Farklı mikrodalga çıkış güçlerinde kurutulan güvem eriği kabuk 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) 58

Tablo 8.3 Farklı mikrodalga çıkış güçlerinde kurutulan güvem eriği kabuk numunelerine ait hesaplanan Efektif Difüzivite Katsayısı değerleri ve istatistiksel veriler (Numune ağırlığı = 20 g) 59

Tablo 8.4 Farklı mikrodalga çıkış güçlerinde kurutulan güvem eriği kabuk numunelerine ait kuruma süresine karşılık elde edilen L değerlerine uyan Birinci Dereceden Kinetik Model denklemi kullanılarak hesaplanan model sabitleri ve istatistiksel veriler (Numune ağırlığı = 20 g) 61

Tablo 8.5 Farklı mikrodalga çıkış güçlerinde kurutulan güvem eriği kabuk 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) 63

Tablo 8.6 Farklı mikrodalga çıkış güçlerinde kurutulan güvem eriği kabuk 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) 65

Tablo 8.7 Farklı mikrodalga çıkış güçlerinde kurutulan güvem eriği kabuk numunelerine ait kuruma süresine karşılık elde edilen Toplam Renk Değişimi (ΔE) değerlerine uyan Sıfırıncı Dereceden Kinetik Model denklemi kullanılarak hesaplanan model sabitleri ve i istatistiksel veriler (Numune ağırlığı = 20 g) 67

Tablo 8.8 Farklı mikrodalga çıkış güçlerinde kurutulan güvem eriği kabuk numunelerine ait kuruma süresine karşılık elde edilen Kroma (CV) değerlerine uyan Birinci Dereceden Kinetik Model denklemi kullanılarak hesaplanan model sabitleri ve istatistiksel veriler (Numune ağırlığı = 20 g) 68

Tablo 8.9 Farklı mikrodalga çıkış güçlerinde kurutulan güvem eriği kabuk numunelerine ait kuruma süresine karşılık elde edilen Renk Açısı (HA) değerlerine uyan Birinci Dereceden Kinetik Model denklemi kullanılarak hesaplanan model sabitleri ve istatistiksel veriler (Numune ağırlığı = 20 g) 70

Tablo 8.10 Farklı mikrodalga çıkış güçlerinde kurutulan güvem eriği kabuk numunelerine ait kuruma süresine karşılık elde edilen Kahverengileşme İndeksi (BI) değerlerine uyan Birinci Dereceden Kinetik Model denklemi kullanılarak hesaplanan model sabitleri ve istatistiksel veriler (Numune ağırlığı = 20 g) 72

Tablo 8.11 Farklı mikrodalga çıkış güçlerinde kurutulan güvem eriği kabuk numunelerine ait rehidratasyon kinetiğinin modellenmesi için kullanılan matematiksel modeller ve hesaplanan istatistiksel veriler (Numune ağırlığı = 20 g) 74

Tablo 8.12 Farklı mikrodalga çıkış güçlerinde kurutulan güvem eriği kabuk 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) 75

Tablo 8.13 Farklı mikrodalga çıkış güçlerinde güvem eriği kabuk numunesine ait siyanidin-3-glukozit değerinin değişimi (Numune ağırlığı = 20 g) ... 76

Tablo 8.14 Farklı numune ağırlıklarında kurutulan güvem eriği kabuk numunelerinin kuruma kinetiğinin modellenmesi için kullanılan matematiksel modeller ve hesaplanan istatistiksel veriler (Mikrodalga çıkış gücü = 360 W) 77

Tablo 8.15 Farklı ağırlıklarda kurutulan güvem eriği kabuk 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) 79

Tablo 8.16 Farklı ağırlıklarda kurutulan güvem eriği kabuk numunelerine ait hesaplanan Efektif Difüzivite Katsayısı değerleri ve istatistiksel veriler (Mikrodalga çıkış gücü = 360 W) 83

Tablo 8.17 Farklı ağırlıklarda kurutulan güvem eriği kabuk numunelerine ait kuruma süresine karşılık elde edilen L değerlerine uyan Birinci Dereceden Kinetik Model denklemi kullanılarak hesaplanan model sabitleri ve istatistiksel veriler (Mikrodalga çıkış gücü = 360 W) 85

Tablo 8.18 Farklı ağırlıklarda kurutulan güvem eriği kabuk 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) 87

Tablo 8.19 Farklı ağırlıklarda kurutulan güvem eriği kabuk 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) 89

Tablo 8.20 Farklı ağırlıklarda kurutulan güvem eriği kabuk 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)..... 90

Tablo 8.21 Farklı ağırlıklarda kurutulan güvem eriği kabuk numunelerine ait kuruma süresine karşılık elde edilen Kroma (CV) değerlerine uyan Birinci Dereceden Kinetik Model denklemi kullanılarak hesaplanan model sabitleri ve istatistiksel veriler (Mikrodalga çıkış gücü = 360 W) 92

Tablo 8.22 Farklı ağırlıklarda kurutulan güvem eriği kabuk numunelerine ait kuruma süresine karşılık elde edilen Renk Açısı (HA) değerlerine uyan Birinci Dereceden Kinetik Model denklemi kullanılarak hesaplanan model sabitleri ve istatistiksel veriler (Mikrodalga çıkış gücü = 360 W) 93

Tablo 8.23 Farklı ağırlıklarda kurutulan güvem eriği kabuk numunelerine ait kuruma süresine karşılık elde edilen Kahverengileşme İndeksi (BI) değerlerine uyan Birinci Dereceden Kinetik Model denklemi kullanılarak hesaplanan model sabitleri ve istatistik veriler (Mikrodalga çıkış gücü = 360 W)..... 95

Tablo 8.24 Farklı numune ağırlıklarında kurutulan güvem eriği kabuk numunelerine ait rehidratasyon kinetiğinin modellenmesi için kullanılan matematiksel modeller ve hesaplanan istatistiksel veriler (Mikrodalga çıkış gücü = 360 W)..... 97

Tablo 8.25 Farklı ağırlıklarda kurutulan güvem eriği kabuk 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)..... 98

Tablo 8.26 Farklı mikrodalga çıkış güçlerinde güvem eriği kabuk numunesine ait siyanidin -3- glukozit değerinin değişimi (Numune ağırlığı = 20 g) . 99

Tablo 8.27 Güvem eriği kabuk numunelerinin farklı sıcaklıklardaki rehidratasyon kinetiğinin modellenmesi için kullanılan matematiksel modeller ve hesaplanan istatistiksel veriler (Mikrodalga çıkış gücü = 360 W, Numune ağırlığı = 20 g) 101

Tablo 8.28 Güvem eriği kabuk 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)..... 102

Tablo 8.29 Mikrodalga tekniği ile kurutulan güvem eriği kabuk numunelerinin renk indisi parametrelerine göre hesaplanan aktivasyon enerjisi değerleri 104

Tablo 8.30 Konvansiyonel yöntem ile kurutulan güvem eriği kabuk 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) 104

Tablo 8.31 Konvansiyonel yöntem ile kurutulan güvem eriği kabuk 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) 106

Tablo 8.32 Konvansiyonel yöntem ile kurutulan güvem eriği kabuk 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) 110

Tablo 8.33 Konvansiyonel yöntem ile kurutulan güvem eriği kabuk numunesine ait kuruma süresine karşılık elde edilen b değerlerine uyan Birinci Dereceden Kinetik Model denklemi kullanılarak hesaplanan model sabitleri ve istatistiksel veriler (Numune ağırlığı = 20 g, Sıcaklık = 40 °C) 112

Tablo 8.34 Konvansiyonel yöntem ile kurutulan güvem eriği kabuk 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) 112

Tablo 8.35 Konvansiyonel yöntem ile kurutulan güvem eriği kabuk 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) 114

Tablo 8.36 Konvansiyonel yöntem ile kurutulan güvem eriği kabuk 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) 115

Tablo 8.37 Konvansiyonel yöntem ile kurutulan güvem eriği kabuk 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) 114

Tablo 8.38 Kuruma süresine karşılık mikrodalga çıkış gücü/numune ağırlığı değerleri 118

Tablo 8.39 Kuruma sürelerine karşılık mikrodalga çıkış gücü/numune ağırlığı (P/m) değerlerine uyan Power Model denklemi kullanılarak hesaplanan model sabitleri ve istatistiksel veriler 119

Tablo A.1 180 W mikrodalga çıkış gücünde 20 g güvem eriği kabuk numunesinin kurutulmasına ait deneysel veriler 131

Tablo A.2 360 W mikrodalga çıkış gücünde 20 g güvem eriği kabuk numunesinin kurutulmasına ait deneysel veriler 132

Tablo A.3 540 W mikrodalga çıkış gücünde 20 g güvem eriği kabuk numunesinin kurutulmasına ait deneysel veriler 132

Tablo A.4 720 W mikrodalga çıkış gücünde 20 g güvem eriği kabuk numunesinin kurutulmasına ait deneysel veriler 133

Tablo A.5 900 W mikrodalga çıkış gücünde 20 g güvem eriği kabuki numunesinin kurutulmasına ait deneysel veriler 133

Tablo B.1 180 W mikrodalga çıkış gücünde kurutulan 20 g güvem eriği kabuk numunesinin renk değişimine ait deneysel veriler 134

Tablo B.2 360 W mikrodalga çıkış gücünde kurutulan 20 g güvem eriği kabuk numunesinin renk değişimine ait deneysel veriler 134

Tablo B.3 540 W mikrodalga çıkış gücünde kurutulan 20 g güvem eriği kabuk numunesinin renk değişimine ait deneysel veriler 135

Tablo B.4 720 W mikrodalga çıkış gücünde kurutulan güvem eriği kabuk numunesinin renk değişimine ait deneysel veriler 135

Tablo B.5 900 W mikrodalga çıkış gücünde kurutulan 20 g güvem eriği kabuki numunesinin renk değişimine ait deneysel veriler 136

Tablo C.1 180 W mikrodalga çıkış gücünde kurutulan 20 g güvem eriği kabuk numunesinin rehidratasyon kapasitesine ait deneysel veriler..... 137

Tablo C.2 360 W mikrodalga çıkış gücünde kurutulan 20 g güvem eriği kabuk numunesinin rehidratasyon kapasitesine ait deneysel veriler..... 138

Tablo C.3 540 W mikrodalga çıkış gücünde kurutulan 20 g güvem eriği kabuk numunesinin rehidratasyon kapasitesine ait deneysel veriler..... 138

Tablo C.4 720 W mikrodalga çıkış gücünde kurutulan 20 g güvem eriği kabuk numunesinin rehidratasyon kapasitesine ait deneysel veriler..... 139

Tablo C.5 900 W mikrodalga çıkış gücünde kurutulan 20 g güvem eriği kabuk numunesinin rehidratasyon kapasitesine ait deneysel veriler..... 139

Tablo D.1 360 W sabit mikrodalga çıkış gücünde 20 g güvem eriği kabuk numunesinin kurutulmasına ait deneysel veriler 140

Tablo D.2 360 W sabit mikrodalga çıkış gücünde 40 g güvem eriği kabuk numunesinin kurutulmasına ait deneysel veriler 141

Tablo D.3 360 W sabit mikrodalga çıkış gücünde 60 g güvem eriği kabuk numunesinin kurutulmasına ait deneysel veriler 142

Tablo D.4 360 W sabit mikrodalga çıkış gücünde 80 g güvem eriği kabuk numunesinin kurutulmasına ait deneysel veriler 143

Tablo D.5 360 W sabit mikrodalga çıkış gücünde 100 g güvem eriği kabuk numunesinin kurutulmasına ait deneysel veriler 144

Tablo E.1 360 W sabit mikrodalga çıkış gücünde kurutulan 20 g güvem eriği kabuk numunesinin renk değişimine ait deneysel veriler..... 145

Tablo E.2 360 W sabit mikrodalga çıkış gücünde kurutulan 40 g güvem eriği kabuk numunesinin renk değişimine ait deneysel veriler..... 145

Tablo E.3 360 W sabit mikrodalga çıkış gücünde kurutulan 60 g güvem eriği kabuk numunesinin renk değişimine ait deneysel veriler..... 146

Tablo E.4 360 W sabit mikrodalga çıkış gücünde kurutulan 80 g güvem eriği kabuk numunesinin renk değişimine ait deneysel veriler..... 146

Tablo E.5 360 W sabit mikrodalga çıkış gücünde kurutulan 100 g güvem eriği kabuk numunesinin renk değişimine ait deneysel veriler..... 146

Tablo F.1 360 W sabit mikrodalga çıkış gücünde kurutulan 20 g güvem eriği kabuk numunesinin rehidratasyon kapasitesine ait deneysel veriler..... 147

Tablo F.2 360 W sabit mikrodalga çıkış gücünde kurutulan 40 g güvem eriği kabuk numunesinin rehidratasyon kapasitesine ait deneysel veriler 148

Tablo F.3 360 W sabit mikrodalga çıkış gücünde kurutulan 60 g güvem eriği kabuk numunesinin rehidratasyon kapasitesine ait deneysel veriler 148

Tablo F.4 360 W sabit mikrodalga çıkış gücünde kurutulan 80 g güvem eriği..... 149

Tablo F.5 360 W sabit mikrodalga çıkış gücünde kurutulan 100 g güvem eriği kabuk numunesinin rehidratasyon kapasitesine ait deneysel veriler 149

Tablo G.1 45 °C rehidratasyon sıcaklığında sabit mikrodalga gücünde kurutulan 20 g güvem eriği kabuk numunesinin rehidratasyon kapasitesine ait deneysel veriler (Mikrodalga çıkış gücü = 360 W) 150

Tablo G.2 55 °C rehidratasyon sıcaklığında sabit mikrodalga gücünde kurutulan 20 g güvem eriği kabuk numunesinin rehidratasyon kapasitesine ait deneysel veriler (Mikrodalga çıkış gücü = 360 W) 151

Tablo G.3 70 °C rehidratasyon sıcaklığında sabit mikrodalga gücünde kurutulan 20 g güvem eriği kabuk numunesinin rehidratasyon kapasitesine ait deneysel veriler (Mikrodalga çıkış gücü = 360 W) 151

Tablo H.1 Konvansiyonel yöntem ile kurutulan 20 g güvem eriği numunesinin nem içeriğine ve nem oranına ait deneysel veriler (Sıcaklık = 40 °C) 152

Tablo I.1 Konvansiyonel yöntem ile kurutulan 20 g güvem eriği kabuk numunesinin renk değişimine ait deneysel veriler (Sıcaklık = 40 °C) 153

ÖZET

Mikrodalga Tekniği İle Kurutulan Güvem Eriği Kabuklarının Kuruma, Renk Değişim ve Rehidratasyon Özelliklerinin İncelenmesi ve Modellenmesi

Eda ÖZDEN

Kimya Mühendisliği Bölümü

Yüksek Lisans Tezi

Danışman: Prof. Dr. Belma ÖZBEK

Kurutulmuş gıdalar; kimyasal, enzimatik ve mikrobiyolojik bozunmalara karşı dayanıklı hale gelir. Sanayileşmeyle; güneşte kurutma yerini, fırın kurutucular, püskürtmeli kurutucular, vakum kurutucular, mikrodalga kurutucular gibi kurutuculara yerini bırakmıştır. Mikrodalga kurutma, daha az kuruma süresi gerektirdiği için tercih edilmektedir. Bu çalışmada, gıda sanayinde doğal renklendirici, medikal ürünlerde katkı maddesi ve çay olarak kullanılabilecek olan güvem eriği kabuklarının mikrodalga tekniğiyle kurutularak kuruma, renk değişim ve rehidratasyon özelliklerinin incelenmesi ve modellenmesi amaçlanmıştır.

Mikrodalga çıkış gücünün numune ağırlığı üzerine etkisini incelemek için 20 g ağırlığındaki güvem eriği kabukları beş farklı mikrodalga çıkış gücünde (180, 360, 540, 720 ve 900 W) kurutulmuştur. Numune ağırlığının etkisini incelemek için güvem eriği kabukları farklı miktarlarda (20, 40, 60, 80 ve 100 g) 360 W mikrodalga çıkış gücünde kurutulmuştur. Mikrodalga çıkış gücü arttıkça ve numune miktarı azaldıkça kuruma süresinin azaldığı görülmüştür. Ayrıca, konvansiyonel kurutma yöntemi ile güvem eriği kabukları 40 °C'de kurutulmuştur. Konvansiyonel

kurutma için gereken sürenin 20 g numune için 450 dakika olduğu, bu sürenin en düşük mikrodalga çıkış gücünde gerçekleştirilen kurutma için gereken sürenin 44.63 katı olduğu bulunmuştur.

Deneysel veriler kullanılarak yapılan matematiksel modelleme çalışmalarında; uygulanan modeller arasında yüksek R^2 ve düşük standart sapma (δ) değerlerine sahip olan Page Model denkleminin kuruma kinetiğine; Sıfırıncı ve Birinci Dereceden Kinetik Model denkleminin renk değişim kinetiğine ve Peleg Model denkleminin rehidratasyon kinetiğine uygunluk gösterdiği bulunmuştur. Mikrodalga yöntemiyle kurutulan numunelere ait hesaplanan Efektif Difüzivite Katsayısı değerlerinin 0.85 x 10^{-8} m^2/s - 5.56 x 10^{-8} m^2/s arasında değiştiği saptanmıştır. Kuruma kinetiğine ait aktivasyon enerjisi değeri 10.82 W/g, renk değişim kinetiğine ait aktivasyon enerjisi değeri 7.36-8.61 W/g, 30 °C sıcaklıkta gerçekleştirilen rehidratasyon kinetiğine ait aktivasyon enerjisi değeri 2.35 W/g bulunmuştur.

Sonuç olarak; elde edilen veriler değerlendirildiğinde, güvem eriği kabuklarının mikrodalga tekniği ile kurutulmasının uygun olduğu sonucuna varılmıştır. Ancak, elde edilen verilerin bu çalışmada kullanılan ev-tipi mikrodalga fırının özellikleriyle sınırlı olduğu dikkate alınmalıdır.

Anahtar Kelimeler: Güvem eriği kabuğu, mikrodalga kurutma, kurutma kinetiği, renk değişim kinetiği, rehidratasyon kinetiği

ABSTRACT

Experimental Investigation of Drying, Colour Change and Rehydration Kinetics of Microwave-dried Blackthorn Fruit Epicarps and Modelling Studies

Eda ÖZDEN

Department of Chemical Engineering

MSc. Thesis

Adviser: Prof. Dr. Belma ÖZBEK

Dried foods become durable against chemical, enzymatic and microbiological degradation. As a consequence of industrialization, the sun-drying method is replaced by various drying methods such as oven-drying, spray-drying, vacuum-drying, microwave drying and etc. In the present study, it was aimed to investigate the effects of microwave heat treatment on drying of blackthorn fruit epicarps as these dried samples can be used as a natural colorant in the food industry, an ingredient in medical products and tea.

In order to investigate the effect of microwave output power on sample weight, 20 g of blackthorn fruit epicarps were dried at various microwave output powers (180, 360, 540, 720 and 900 W). Besides, the various amounts of blackthorn fruit epicarps (20, 40, 60, 80 and 100 g) were dried at 360 W microwave output power. As the microwave output power increases and the sample amount decreases, the drying period becomes short. Additionally, the blackthorn epicarps were dried at 40

°C with a conventional method. It was found that the drying of 20 g of sample with the conventional method takes 450 minutes. This data is 44.63 times higher than the data obtained for drying of the same amount of the sample at the lowest microwave output power.

After evaluation of the the mathematical modelling data; it was found that Page Model equation show compatibility with dehydrating kinetics, colour change kinetics of Zero and First Order Kinetics Model Equations, and rehydration kinetics of Peleg Model equations. The values of Effective Diffusivity Coefficient calculated were varied between 0.85 x 10^{-8} m^2/s and 5.56 x 10^{-8} m^2/s. The values of activation energy for drying, colour change and rehydration performed at 30 °C were calculated as 10.82 W/g, 7.36-8.61 W/g and 2.35 W/g, respectively.

As a result, microwave technique is found to be a suitable method for drying of the blackthorn fruit epicarps. But, it should be noted that the results obtained are limited with the features of domestic microwave oven used.

Keywords: Blackthorn fruit epicarp, microwave drying, drying kinetic, colour change kinetic, rehydration kinetic

1
GİRİŞ

1.1 Literatür Özeti

Kurutma, gıdaları daha uzun süre saklamak amacıyla yüzyıllardır uygulanan en önemli gıda proseslerinden biridir. Gıda kurutma, bozunma mikroorganizmalarının büyümesini aynı şekilde kimyasal reaksiyonların oluşumunu yavaşlatmak veya durdurmak için suyun uzaklaştırılması işlemidir.

Çok eski zamanlardan beri gıda üretiminin ya da kullanılabilirliğinin sınırlı olduğu zamanlarda, gıdalar kurutularak uzun süre muhafaza edilmiştir. Gıdaların kurutulması ilk çağlara kadar dayanmaktadır. Güneş ışığı altında kurutma, bilinen en eski ve ekonomik açıdan elverişli bir yöntem olmasına karşın; kirlilik ve böceklenme sorunları ve kurutma süresinin çok uzun olması nedeniyle tercih edilmemektedir. Bu dezavantajlara çözüm olarak endüstriyel kurutma sistemleri geliştirilmiştir. Bilinen en eski yapay ortamda endüstriyel kurutma işlemi, 1975 yılında Fransa'da fırın kullanılarak gerçekleştirilmiştir. Teknolojinin gün geçtikçe gelişmesi sayesinde püskürtmeli kurutucular, vakum kurutucular, mikrodalga kurutucular gibi daha hızlı kurutucuların ortaya çıkmasını sağlamıştır. Bu teknolojilerden biri olan mikrodalga ile kurutma yöntemi ile daha kısa işlem süresi, 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 ve aynı zamanda kabuğunda yoğun renk bulunduran güvem eriği kabuklarının kuruma, renk değişim ve rehidratasyon özelliklerinin incelenmesi ve modellenmesi hedeflenmiştir.

1.3 Orijinal Katkı

Ülkemizde pek çok bölgede yabani olarak yetişebilmekte olan güvem eriği ve güvem eriği kabuklarının sağlık açısından çok önemli faydaları bulunmaktadır. Güvem eriği çeşitli psikolojik yararlarının yanı sıra kardiyovasküler hastalıklar, kanser ve damar tıkanıklığına karşı olumlu etkiler içerir. Güvem eriğinin kabukları etli kısma göre daha yoğun renge sahiptir. Mavimsi mor renk aralığındaki kabuklar antosiyanin açısından zengindir. Antosiyaninler, flavanoid sınıfından fenolik bileşikler grubuna ait doğal renk pigmentleridir.

Bu çalışma ile güvem eriği kabuklarının mikrodalga tekniği ile kurutulması, renk değişim parametreleri ve rehidratasyon kapasiteleri incelenmiştir. Gıdaların işlenmesi sonucunda ortaya çıkan atıkların ucuz antosiyanin kaynağı olarak değerlendirilebilme potansiyeli vardır. Sonuç olarak, mikrodalga yöntemi ile kurutulan güvem eriği kabukları gıda sanayinde doğal renklendirici, medikal ürünlerde katkı maddesi ve çay olarak kullanılabilecek ve böylece hem bilime hem de ekonomiye katkı sağlanacaktır.

2
GIDALARIN KURUTULMASI

Gıdaları muhafaza etmenin en kolay yolu içerisinden suyun uzaklaştırılmasıdır. Gıdaların kurutulması, raf ömrünün artarak daha uzun süre gıda arzının sağlanabilmesine, ürünün hacminde ve ağırlığındaki düşüş sayesinde nakliye giderlerinin azalmasına ve daha az ambalaj malzemesi kullanılmasına imkân sağlar [1]. Kurutma ile birlikte gıdada bulunan su, kimyasal ve mikrobiyolojik tepkimelerin minimum veya sıfır olduğu su aktivitesine kadar buharlaştırıldığı için mikroorganizmalar aktif değildir [2]. Böylece, gıdanın kurutulması sayesinde mikroorganizmalar yaşayacağı ortam olmayacağı için gıdalardaki çürüme gibi istenmeyen durumlar gerçekleşmez ve mikrobiyal güvenlilik sağlanır[3].

Eski çağlarda güneş ve rüzgâr gıdaları doğal olarak kuruturdu. Antik çağdan beri pek çok gıdanın kurutulduğuna dair bilgiler mevcuttur. Milattan önce Orta doğu kültürleri sıcak güneşte gıdaları kurutmuştur [4]. Çinliler eski çağlarda çay yapraklarını kuruturken yine Fenikeli ve Akdenizli balıkçıların da avlarını doğal olarak kuruttukları bilinmektedir. Aynı şekilde arkeolojik kazılar sonucunda Eski Mısır'da kümbetlerin içinde kurutulmuş buğday taneleri bulunmuştur [5].

17. yüzyılda, savaşlar sırasında gıda ürünlerinin uzun süreli korunmasına ihtiyaç duyulduğundan, gıdaların kurutulması endüstride kullanılmaya başlandı. Fransızlar ilk fırın kurutucuyu üreterek, sebze ve meyvelerin endüstriyel ölçekte kurutulmasının temellerini atmışlardır. Hem alan hem de ağırlıkça tasarruf sağladığı için gıdaların kurutulması, askeri amaçlar için kullanılmaya başlandıktan sonra gıda işleme endüstrisinin büyüyen bir dalına dönüşmüştür. Kırım Savaşı sırasında İngiliz ordusu ülkelerinden kurutulmuş sebze taşımış, Kanadalılar kurutulmuş sebzeleri Boer Savaşı sırasında Güney Afrika'ya gemilerle nakletmiştir. 1. Dünya Savaşı sırasında yaklaşık 4500 ton kurutulmuş sebze Amerika Birleşik Devletleri'nden gemi ile yollandı. Amerika Birleşik Devletleri'nde işlenen ürünler arasında yeşil fasulye, lahana, havuç, kereviz,

patates, ıspanak, tatlı mısır, şalgam ve çorba karışımları vardı. Bu döngü sonraki savaşlarda da tekrarlandı ve İkinci Dünya Savaşı'ndan önce güneşte kurutmanın yerini alacak olan püskürtmeli kurutucular geliştirilmiştir. Bu tip kurutucular daha çok yumurtaları ve süt ürünlerini kurutmada kullanılır [6],[7]. Sprey kurutucuların geliştirilmesinden sonra, 1960'lı yıllarda yaygın olarak kullanılan tünel kurutucular geliştirilmiştir[4].

Mikrodalgaların ısı kaynağı olarak ticari ve evsel kullanımı II. Dünya Savaşı'ndan sonra başlamıştır [8]. Mikrodalganın ilk büyük uygulamalarına patates cipslerinin son kurutmasında yararlanılmıştır. Gıda endüstrisinde mikrodalga ışıma; kurutma, haşlama, pişirme, pastörizasyon, sterilizasyon ve donmuş gıdaların çözülmesi gibi amaçlarla uygulanmaktadır [9].

2.1 Kurutma Yöntemleri

2.1.1 Doğal Kurutma

Güneş ısısıyla yapılan kurutmaya doğal kurutma denir. Ucuz ve kolay bir yöntem olmasına rağmen açık alanlar kullanılarak yapılan bu kurutma yönteminde ürünler toz, toprak, kuş ve böcek gibi bazı hayvanlarla etkileşim halindedir. Bu durum kirlilik ve hijyen sorununu doğurur [10], [11]. Doğal kurutmanın diğer dezavantajları ise büyük miktarlarda kurutmanın zorluğu ve tutarlı kalite standartlarının yakalayamamak şeklinde sıralanabilir [12]. Güneş ısısı malzemelerin dışından içine doğru etki eder bu durum da ürünün çok daha uzun sürede kurumasına sebep olur ve her gıdanın her mevsim güneşte kurutulma imkânı yoktur. Bu olumsuzluklar dikkate alındığında, daha hijyenik ve daha hızlı olacak endüstriyel boyutta farklı kurutma yöntemlerinin geliştirilmesi gerekliliği ortaya çıkmıştır [13].

2.1.2 Yapay Kurutma

Kapalı alanda ve şartların kontrol edilebildiği koşullarda yapılan kurutmaya yapay kurutma denir. En önemli kriter, kurutulmuş ürünün rehidratasyon nedeniyle önceki durumuna yaklaşması veya eski hal ile su emildikten sonraki hal arasında küçük bir farkın olmasıdır[14].

2.2 Kurutmanın Prensipleri ve Aşamaları

Gıdaların kurutulması ürüne ısı verilip içerideki nemin uzaklaştırılmasıdır. Proses süresince kurutma hızı çok önemlidir. Çünkü kütle ve ısı transfer hızını etkiler [15]. Kütle ve ısı transferi gıdanın kurutulması sırasında şöyle gerçekleşir [16];

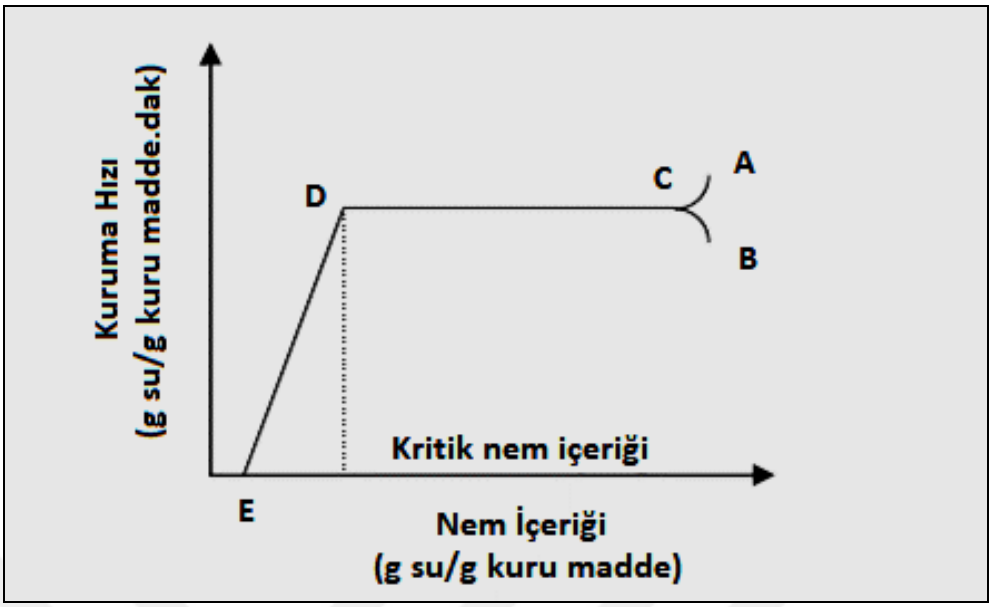
- İlk aşamada; gıda etrafındaki sıcak hava ile gıda etkileşime geçerek ısınmaya başlar.
- İkinci aşamada; yüzeydeki nem tamamen giderildikten sonra gıdanın içindeki nem difüzyon ile yüzeye getirilir.
- Üçüncü aşamada; nemin yüzeyden buharlaşması sağlanır.

Gıdaların farklı koşullarda kurutulmaları sırasında farklı kuruma eğrileri elde edilmesine karşın genel olarak kuruma sürecinde 2 farklı kuruma periyodu gözlemlenir. Bunlar; sabit hız periyodu ve azalan hız periyodudur(Şekil 2.1) [17]. Sabit hız periyodunda, yüksek hızlı kurutma ile gıdalardaki suyun çoğu giderilirken; azalan hız periyodunda ise, gıdanın içerisindeki su miktarı azaldığı için kuruma hızı yavaşlar ve böylece bu periyod, daha az suyun daha uzun sürede buharlaştığı periyod olarak tanımlanır.

Şekil 2.1'de [17] gösterildiği gibi gıdaların kurutulması sırasında elde edilen tipik kuruma eğrisinde, CD arasındaki kısım sabit hız periyodunu gösterirken, DE arasındaki bölüm ise azalan hızda periyodu ifade eder. Gıda sıcakken kurutma işlemine başlandığı durumda AC arasındaki periyod gerçekleşir. BC arasındaki durum ise, gıdanın soğuk olarak kuruma işlemine başlandığı halde meydana gelir. C noktasında sistem dengeye ulaşır ve kuruma işlemi kararlı halde devam eder [18],[19].

2.3 Kurutma Hızına Etki Eden Parametreler

Kurutma hızı hem malzemenin hem de kurutma havasının özelliklerine bağlıdır. Ortamın sıcaklığı ve nemi kurutma havasının hızı ve malzemenin boyutu kurutma hızını etkiler [20].



Şekil 2.1 Gıdaların kuruma hızına ait eğri [17]

2.3.1 Sıcaklık

Kuruma hızını etkileyen parametrelerden en önemlisi sıcaklıktır. Kullanılan sıcak havanın kuru ve yaş termometre dereceleri arasındaki fark arttıkça kurutma hızı artar, kuruma süresi kısalır [21]. Gıda kurutma işlemi esnasında yüksek sıcaklıkla muamelenin getirdiği avantajlar şu şekildedir [22]:

- Havanın nem tutma kapasitesi yüksek sıcaklıklarda artıracağından, buhar basıncı yükselir böylelikle kuruma işlemi daha seri gerçekleşir.
- Isı kaybı minimuma iner.
- Gıdanın erişeceği denge nem içeriği artar.

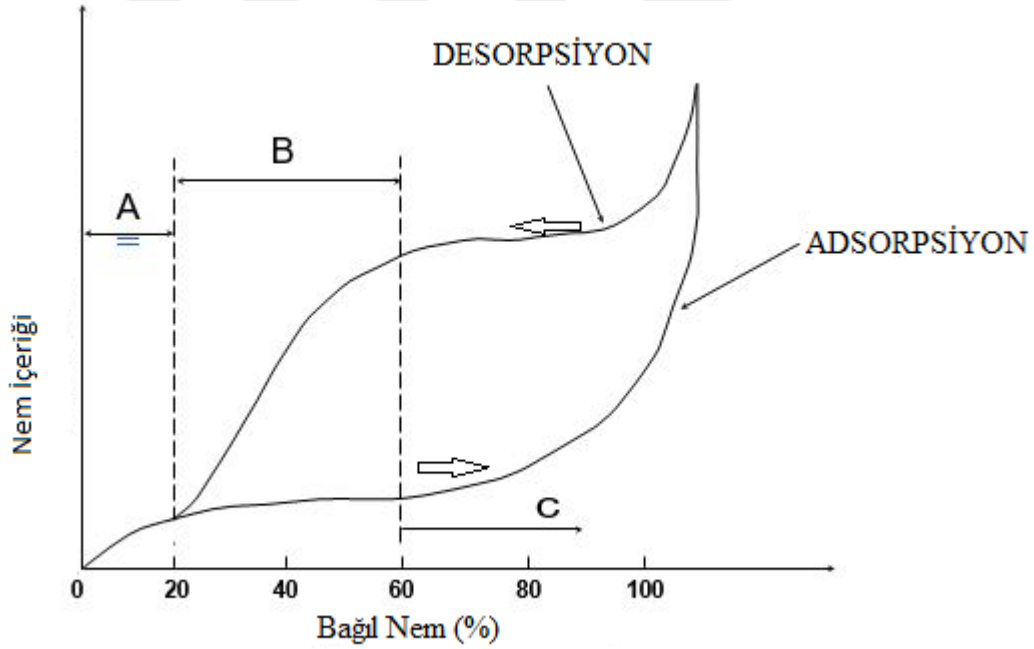
Bu avantajların yanı sıra kurutmayı yüksek sıcaklıklarda gerçekleştirmenin dezavantajalar da vardır. İnce tabakalı gıdalarda yanma ve yanmaya bağlı besin kaybı bu olumsuzluklara örnek verilebilir [23].

2.3.2 Ortamın Nemi

Kurutma havasının nem içeriği ne kadar az ise kurutma o kadar hızlı gerçekleşir. Kuru havanın nem tutma kapasitesi daha çoktur. [24].

Gıda maddesinin sabit bir sıcaklıkta dengeye ulaştıktan sonra adsorbe ettiği su miktarının atmosferin bağıl neminin fonksiyonu olarak çizilen grafiğe sorpsiyon izotermi denir (Şekil 2.2) [25]. Kurutulmuş bir gıda bağıl nemi sabit atmosfer altında dengeye gelene kadar kazandığı neme adsorpsiyon (kuru gıdanın gittikçe nem kazanması), yaş bir gıdanın sabit sıcaklık ve bağıl nemi azalan atmosfer altında su kaybetmesi desorpsiyon (yaş gıdanın su içeriğinin gittikçe azalması) olarak adlandırılır.

Şekil 2.2'de, A bölgesindeki su gıdanın kuru yüzeyine güçlü bir şekilde tek katlı su molekülünden meydana gelen bir örtü gibi sarmıştır. Bu suyun bağlandığı yerden koparılması oldukça güçtür. B bölgesi multimoleküler katmanı gösterir. Bu katmanda su gevşek bir özelliktedir. Bu kısımda eğer gıdanın su içeriğinde bir değişim olursa su aktivitesi önemli ölçüde değişir. C bölgesindeki su; serbest sudur. Kurutma sırasında kolay bir şekilde buharlaşır [25].



Şekil 2.2 Gıdaların genel sorpsiyon izotermi [25]

2.3.3 Kurutulan Gıdaların Özellikleri

Kuruma hızını etkileyen en önemli parametre kurutulacak gıdanın kendine özgü nitelikleridir. Özellikle de kimyasal bileşim büyük önem taşır. Şeker, tuz ve buna benzer çözünmüş maddeler içeren bir gıda, bunları içermeyenlere göre daha zor

kurur. Bunun sebebi ise bu çözünmüş maddelerin suyun buhar basıncını düşürmesi dolayısıyla suyun buharlaştırılmasını zorlaştırmasıdır. Kurutulacak gıdanın yağ içermesi de kuruma hızını olumsuz etkiler. Çünkü yağ, su damlacıklarının etrafını sarar böylece suyun buharlaştırılarak uzaklaştırılmasını zorlaşır.

Kurutulacak gıdanın içerdiği materyalin suya bağlanma gücü de kuruma hızını etkileyen bir diğer parametredir. Meyve ve sebzelerdeki su hem hücrenin içerisinde hem de hücreler arasında bulunur. Hücreler arasında bulunan su kolay uzaklaştırılır, hücre içerisindeki su da hücre öldüğü zaman daha kolay uzaklaştırılır bu yüzen de haşlanmış gıdalar daha hızlı kurur [25].

Genellikle kurutulacak gıda ısı ve kütle transferini hızlandırmak için küçük parçalara bölünür ya da ince tabakalar halinde dilimlenir. Isıyla temas eden yüzey alanı ne kadar büyük olursa uzaklaştırılan nem miktarı o kadar çok olur. Daha küçük parçacıklar ya da daha ince tabakalar gıdanın merkezine ulaşacak ısının uzaklığını azaltır. Böylece merkezden yüzeye ulaşması gereken nemin uzaklığı azalır. Hemen hemen bütün gıda kurutucu tipleri kurutulacak gıdaya büyük yüzey alanı sağlar [15].

2.3.4 Kurutma Havasının Hızı

Kurutucudaki hava hızı arttıkça kuruma hızı da artar. Kurutulan gıdanın üzerinde sürekli olarak oluşan durgun film uzaklaştırıldığı takdirde suyun buharlaşması da artar. Hava hızının bu filmi sürüklemesi etkisiyle kuruma hızını artırıcı yönde etki yapar. Hava hızı belirli bir noktadan sonra etki göstermez. Daha sonraki aşamalarda kuruma hızı, daha aşağıdaki tabakalardaki suyun yüzeye taşınma sürati ile sınırlıdır bu yüzden de hava hızının yüksek olması etkili değildir [25].

Düşük hava hızında gıdanın yüzeyindeki nem kurutma havasını doygunlaştırır. Doymamış kurutma havasıyla değişmesi zaman aldığından gıdanın kuruma süresi artar. Tam tersi durumda yüksek hava hızlarında doygun hava, doygun olmayan hava ile çok çabuk yer değiştireceği için kuruma süresi azalır ve bu yüzden de yüksek kurutma havası hızı tercih edilir [23].

2.4 Kurutma Sırasında Meydana Gelen Değişimler

Gıdalarla ilgili proseslerde kalite durumu özel dikkat gerektirir. Kurutulan gıdalar için birçok kalite parametresi tanımlanabilir. Tablo 2.1'de, kalite parametreleri fiziksel, kimyasal ve mikrobiyolojik olmak üzere üç ana grupta kategorize edilmiştir [26]. Bu değişimler gıdanın besin değerinin azalmasına kalite kaybına ve tüketicilerin kötü yorumuna sebep olmaktadır. Gıdalardaki bozunma miktarı; gıdanın tipine, içeriğine, kurutma şartlarına ve depolama ortamına göre değişiklik göstermektedir [23].

Tablo 2.1 Kurutma sırasında gıdada meydana gelen bozulmalar [26]

Fiziksel	Kimyasal veya besinsel	Mikrobiyolojik
Gözenek yapısındaki değişiklik	Enzimatik reaksiyon	Mikrobiyal yaşam
Büzülme	Lipid oksidasyonu	Aktivite kaybı
Çözünürlüğün değişmesi	Vitamin ve protein kaybı	
Rehidratasyonun azalması	Esmerleşme reaksiyonu	
Sertleşme ve çatlama	Nutrasötik bileşiklerin bozunması	
Aroma ve tad kaybı	Renk değişimi	
Dokusal değişim		

2.4.1 Fiziksel Değişimler

2.4.1.1 Rehidratasyon ve Büzülme

Rehidratasyon, kurutulmuş ürünün su ile temas etmesiyle kurutmadan önceki özelliklerine geri dönmesini amaçlayan kompleks bir prosestir. Kurutma sırasında gıdaların yapı ve dokularında birçok değişiklik meydana gelir. Bu yüzden rehidratasyona absorplanan su miktarı ile kurutma sırasında gıdadan uzaklaştırılan su miktarı aynı değildir. Rehidratasyon oranı; gıdanın geri absorpladığı su miktarının, kurutma sırasında kaybedilen suya oranı olarak tanımlanır. Rehidratasyon oranı; gıdanın nem içeriğine, hücresel ve dokusal

tahrip miktarına, kurutma ortamının sıcaklığına ve türüne bağlı olarak değişmektedir [27].

Meyve ve sebzelerin kurutulması sırasında kurutmanın ilk aşamalarında su kaybıyla beraber meydana gelen hacimdeki azalmaya büzülme denir. Sertleşme, büzülme sonucunda oluşur. Mikrodalga ile kurutma normal sıcak hava ile kurutma prosesleriyle kıyaslandığında gıda maddesinin hacminin büyük oranda korur [26,28]. Kurutma metodu ve kurutma şartları kurutulacak gıdanın hacmini ve şeklinde meydana gelecek değişikliği etkiler. Hacimsel büzülme, hava hızından etkilenir [29].

Büzülme ile sıcaklık arasında ters orantı vardır. Yüksek sıcaklıklarda yapılan kurutma işlemi sırasında gıdadan ayrılan su miktarının artmasıyla birlikte büzülme de artar. Ancak gıda nem içeriği yüksek bir havayla veya düşük bir sıcaklıkta kurutulursa kuruma hızı azalacağından büzülmenin etkisi de azalır[1].

2.4.1.2 Dokusal Değişimler

Gıdaların dokusu daha çok nem, yağ içeriği, yapısal karbonhidratların (selüloz, nişasta, pektin malzemeler) miktarı ve türü ile içerdiği proteinlerce belirlenir. Dokudaki değişikliklere nem ve yağ kaybı, emülsiyonların ve jellerin oluşması veya bozunması, polimerik karbonhidratların hidrolizi, proteinlerin hidrolizi ya da pıhtılaşması sebep olur. Dokusal değişimler sıcaklık ve kurutma hızı arttıkça artmaktadır [30].

2.4.2 Kimyasal Değişimler

2.4.2.1 Esmerleşme Reaksiyonları

Gıdalardaki esmerleşme reaksiyonları, proses öncesi ve sırasında ve de depolama aşamasında gerçekleşen değişimlerdir. Esmerleşme gıdanın tadını, görünüşünü ve içerdiği besin değerini etkiler [31]. Kurutma sırasında gıdanın kalitesini olumsuz etkilediği için esmerleşme reaksiyonlarının gerçekleşmesi istenmeyen bir özelliktir [32].

Esmerleşme reaksiyonlarının hızı; kurutma sıcaklığı, pH, ürünün nem içeriği, kurutma süresi, reaktanların yapısı ve konsantrasyonlarına bağlıdır. Sıcaklık

arttıkça, gıdanın içerisindeki şeker miktarı arttıkça esmerleşme hızı da artar. Enzimatik ve enzimatik olmayan olmak üzere iki tür esmerleşme reaksiyonu vardır. Enzimatik olmayan reaksiyonlar ise 3 gruba ayrılır [33]:

- Maillard reaksiyonu
- Karamelizasyon
- Askorbik asit oksidasyonu

Maillard Reaksiyonları: Maillard reaksiyonu, gıdanın rengini, lezzetini, tadını ve besinsel kalitesini etkileyen önemli bir reaksiyondur [34]. Glikoz gibi indirgeyici şeker, aminoasit gibi serbest bir amino grubu yoğuşma ürünü vermek için işleyen bir bileşik ile yoğunlaşır. Daha sonra birtakım reaksiyonlar oluşur. En sonunda da melanoidin olarak bilinen kahverengi azotlu polimer ve kopolimerler oluşur [35].

Karamelizasyon Reaksiyonları: Karamelizasyon reaksiyonları, aminoasit veya protein yokluğunda şekerin yüksek sıcaklıklarda bozunmasını içeren enzimatik olmayan esmerleşme reaksiyonudur. Anhidrit ortamda şeker ısıl işlem gördüğünde karamelizasyon oluşur [33].

2.4.2.2 Renk Değişimleri

Meyve ve sebzelerde bulunan önemli doğal pigmentler, ısıya maruz kaldıklarında büyük ölçüde bozunur. Isıl işlem sırasında yeşil sebzelerin renk kalitesini etkileyen en önemli kimyasal reaksiyonlardan biri klorofillerin bozunmasıdır. Antosiyaninler de ısıyla beraber özellikle pH değiştiğinde renk değişimine uğrarlar. Antosiyanin kayıpları enzimatik olarak gerçekleşir [36].

Bir gıdayı satın alırken tüketiciler tarafından yapılan ilk kalite değerlendirmesi onun görünüşü üzerinedir. Anormal renkler özellikle de bozunma ile ilgiliyse tüketiciler tarafından kabul edilemez. Kurutma süresinin uzaması yüksek sıcaklıklar gıdadaki renk değişimini daha çok artırır. Bu renk değişiminin önüne geçmek için kurutulacak gıdanın türüne bağlı olarak sülfürleme ya da askorbik asit ile ön işlem yapılır [37].

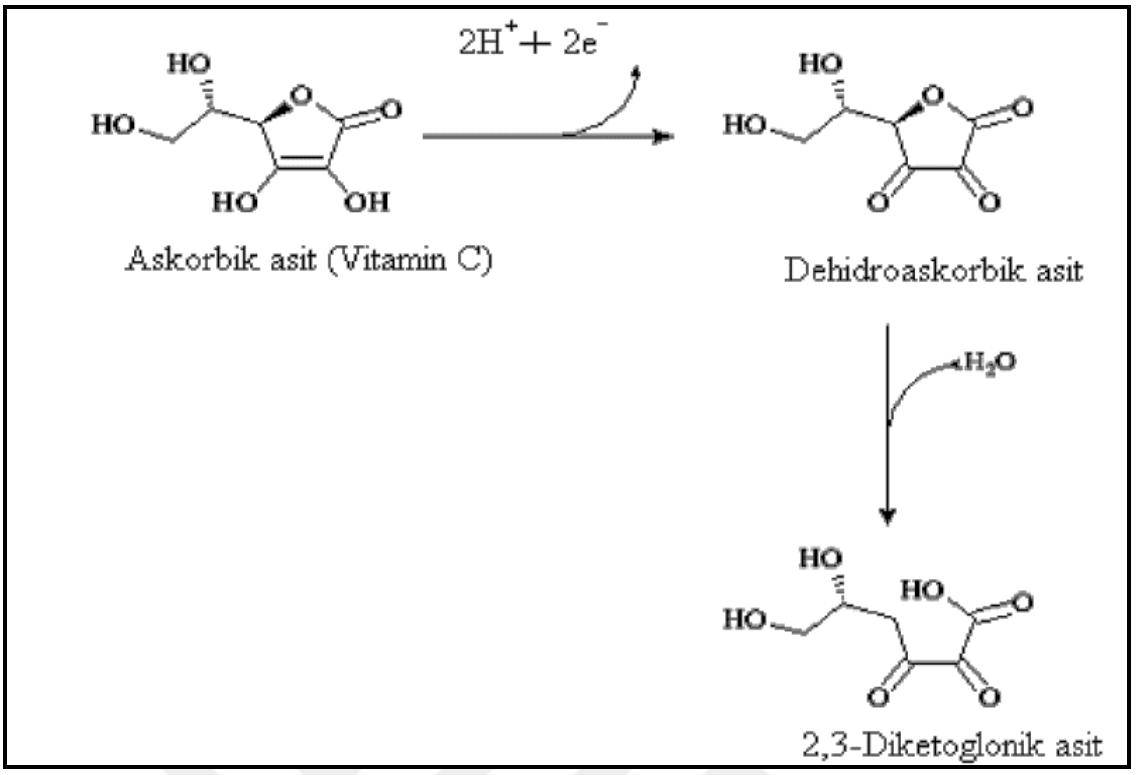
2.4.2.3 Lipid Oksidasyonu

Lipid oksidasyonu; gıdada acılaşma, istenmeyen tatların oluşması, yağda çözünen vitamin ve pigmentlerin kaybından sorumludur. Oksidasyon hızını; gıdanın nem içeriği, substratın türü, reaksiyon derecesi, oksijen içeriği, sıcaklık, metallerin ve doğal antioksidanların varlığı, enzim aktivitesi, ultraviole ışığı, protein içeriği, serbest aminoasit içeriği ve diğer kimyasal reaksiyonlar etkiler. Proses ve depolama sırasında oksijen seviyesinin düşürülmesi ve antioksidant eklenmesi lipid oksidasyonunu önler [33].

2.4.3 Biyokimyasal Değişimler

2.4.3.1 Vitamin Kayıpları

Gıdalar kurutulurken yapılarında bulunan yağda çözünebilen (A,D,E,K) ve suda çözünebilen (B ve C) vitaminler oksidasyon ürünleri ile reaksiyona girmeleri neticesinde bu vitaminlerin miktarı azalır. Vitamin C'nin biyolojik olarak aktif oluşumu L-askorbik asittir. Askorbik asit tersinir olarak L-dehidroaskorbik asit oluşturmak için okside olur. Daha fazla oksidasyon biyolojik fonksiyonu olmayan diketoglonik asit üretir (Şekil 2.3). İnsan vücudunda L-dehidroaskorbik asit kolayca askorbik aside dönüştüğü için vitamin C aktvitesini bilmek için meyve ve sebzelerdeki askorbik asit ve dehidroaskorbik asidin ikisini ölçmek önemlidir [38]. Vitamin kayıplarını azaltmak için kurutma süresi kısa tutulmalı, depolama süresince sıcaklık ve nem miktarı ve oksijen düzeyi düşük olmalıdır [39].



Şekil 2.3 Gıdaların kurutulması sırasında meydana gelen askorbik asit oksidasyonu [38]

2.4.3.2 Protein Kayıpları

Proteinlerin endüstride ya da ilaçta kullanımının ve geliştirilmesinin önündeki en büyük engel doğasında olan kararsızlıktır. Proteinler hem fiziksel hem de kimyasal bozunma proseslerine karşı duyarlıdır. Teorik olarak, proteinler su yokluğunda kararlıdır. Bu nedenle gıda kurutma işlemi sırasında, proteinlerin sindirim özelliği ve biyolojik değeri kaybolmamaktadır [40].

2.4.3.3 Mikroorganizma İnaktivasyonu

Canlılar susuz ortamda yaşayamaz. Gıdalardaki nemin miktarı ile hangi mikroorganizmaların büyümelerine olanak sağlanacağı arasında bağlantı vardır. Bu yüzden eskiden beri mikroorganizmaların bozunmalarını sağlamak için gıdalar kurutulmaktadır. Gıdadan su uzaklaştırıldığı için kurutulmuş ürünlerde bakteri üremesi olmaz [23],[33].

3
ENDÜSTRİYEL KURUTMA SİSTEMLERİ

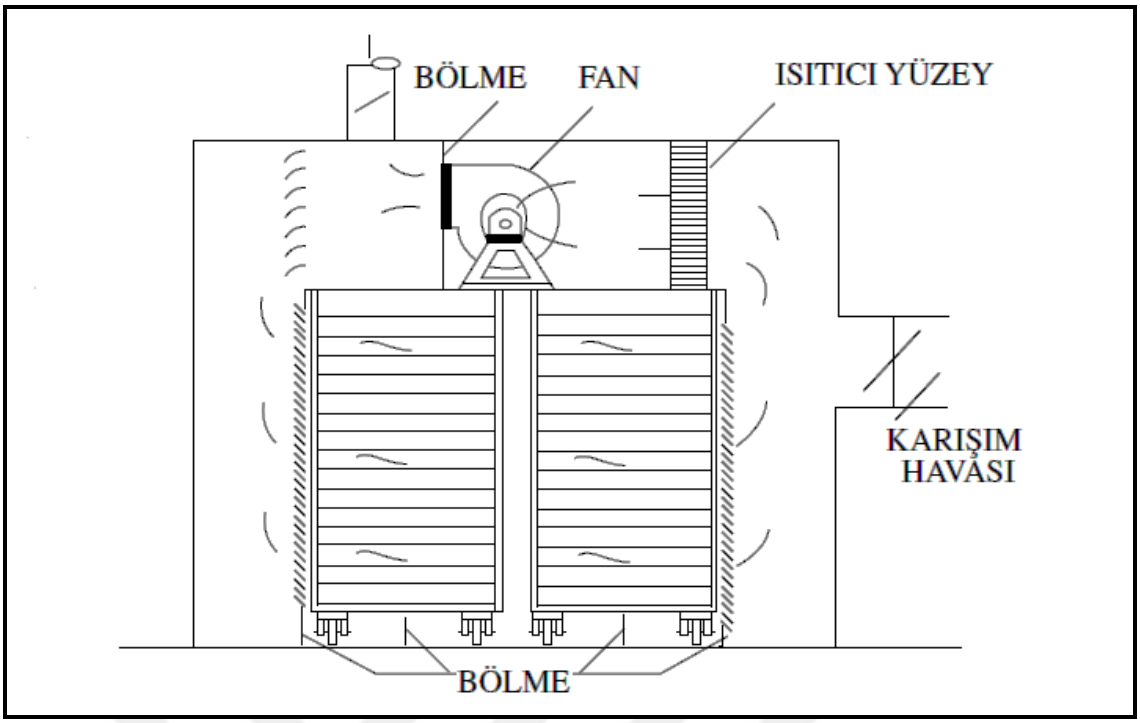
3.1 Endüstriyel Kurutucuların Sınıflandırılması

Literatürde yaklaşık 400 çeşit kurutucu tipi olduğu belirtilse de, gıda sanayisinde pratik olarak yaklaşık 50 tip kurutucu yaygın olarak kullanılmaktadır [41]. Kurutucu seçimi büyük oranda ürünün tipine ve ürünün niyet edilen kullanımı ile beklenen kalitesine bağlıdır [30]. Gıda endüstrisinde kullanılan kurutucu tipleri aşağıda verilmiştir [42]:

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

3.1.1 Kabin Kurutucular

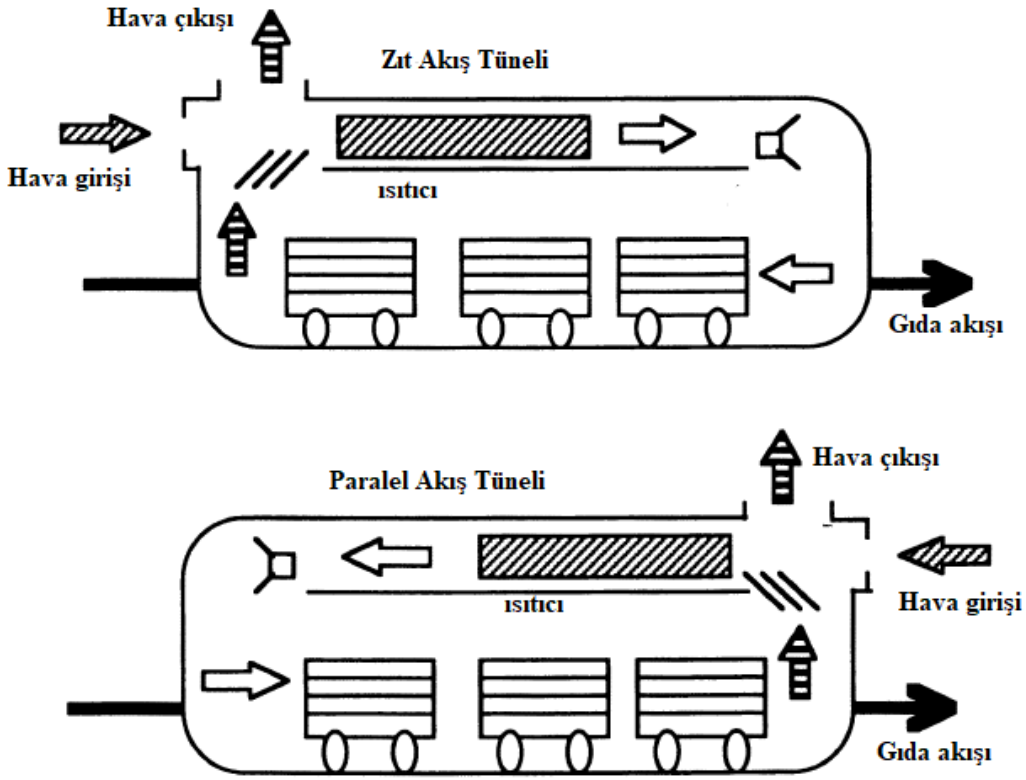
Endüstride çok çeşitli kabin kurutma sistemleri vardır ancak çalışma prensipleri aynıdır. Sabit yatırımları az ve çalıştırılmaları oldukça kolaydır. Kabin kurutucular az miktarda yaklaşık birkaç tonluk meyve ve sebze kurutacak şekilde tasarlanır [25]. Kurutulacak ürün tepsilerin üzerine yerleştirilir ve kurutma kabinine gönderilerek ısıtıcıyla ısıtılan sıcak havaya maruz bırakılır. Bu kurutucu tipi izole edilmiş bir kabin, tepsiler ve sıcak havayla çevrelenmesi için bir ısıtıcı kaynağından oluşur. Şekil 3.1'de kabin kurutucuların bir örneği verilmiştir [43].



Şekil 3.1 Kabin kurutucu [43]

3.1.2 Tünel Kurutucular

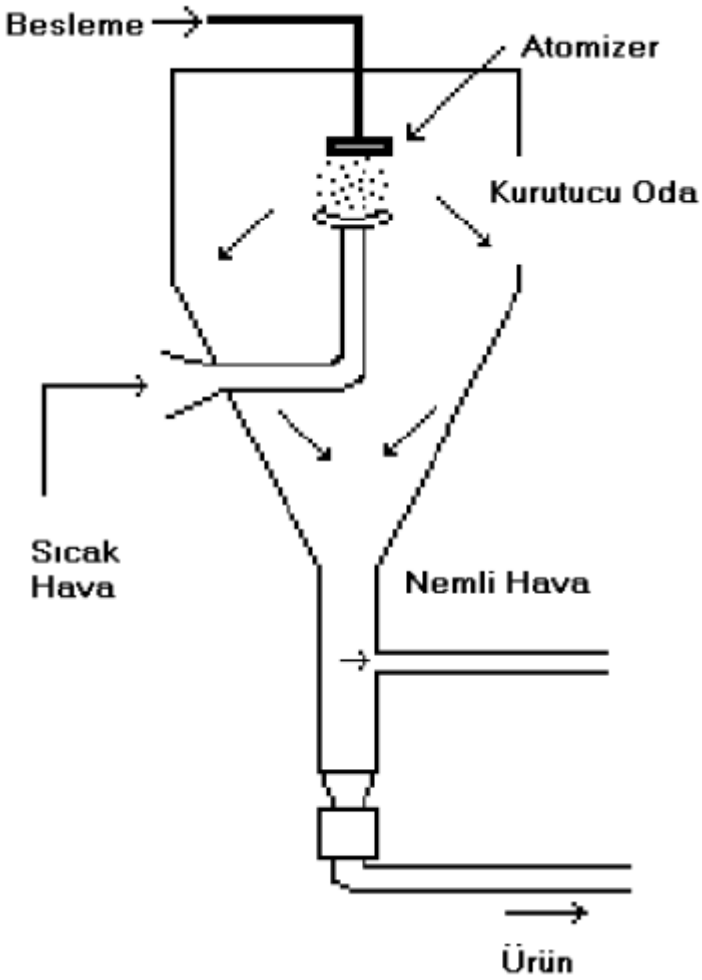
Sürekli ya da yarı sürekli olarak çalıştırılan tünel kurutucular, kabin kurutucuların gelişmiş şeklidir. Kurutuma ortamı olarak sıcak hava yanma gazlarının sirkülasyonu bir fan yardımıyla sağlanır. Kurutulacak gıdalar arabalar, tepsiler yahut bölmeler içerisinde tünel boyunca hareket eder. Taze ürün taşıyan araba tünele girerken diğer uçtan kuruyan ürün tünel sonuna ulaşır. Tünel kurutucularda hava ve gıdanın hareket yönler aynı ise bu tip tünellere paralel akış tüneli, zıt ise zıt akış tüneli denir [25]. Tünel kurutucular kare veya dikdörtgen şeklinde olup 24 metre kadar uzunluğa sahip olabilir (Şekil 3.2) [6].



Şekil 3.2 Tünel kurutucular [6]

3.1.3 Püskürtmeli Kurutucular

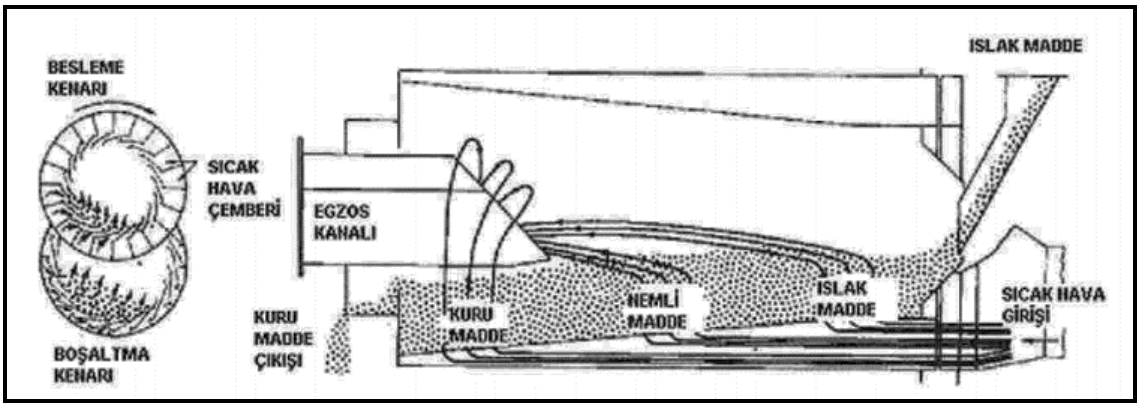
Püskürterek kurutma, sıvı haldeki veya çamur kıvamındaki maddelerin kurutulmasında kullanılan yöntemlerden birisidir. Sıvı maddeler sisteme püskürtülür ve sıcak hava akımı ile karşılaşan damlacıklar kuruyarak toz şekline dönüşür. Püskürterek kurutma; kurutulacak ürüne geniş bir yüzey kazandırma ilkesine dayanır. Böylece atomize edilen ürün sıcak hava içinde hızı bir şekilde kurur. En önemli avantajı kısa sürede kurutmanın gerçekleşmesi ve on sıcaklıkların düşük olmasıdır [44]. Kuruma süresi kısa olduğu için ısıya duyarlı malzemelerin kurutulmasında uygundur. Püskürterek kurutma daha çok kahve, deterjan, süt tozu ve sabun üretiminde kullanılır [43]. Şekil 3.3'te siklon tipi bir püskürtmeli kurutucu örneği verilmiştir [44].



Şekil 3.3 Siklon tipi bir püskürtmeli kurutucu sistemi [44]

3.1.4 Döner Kurutucular

Döner kurutucu sisteminde, kurutulacak gıdadan suyu uzaklaştırmak için gerekli ısı malzemeye iletimle verilir. Döner kurutucular silindirler içerir ve silindirler buhar veya sıvı ile ısıtılır. Kurutulacak gıda yüzeye film şeklinde serilir. Silindirin dönmesiyle kuruma gerçekleşir, kuruyan madde sıyrılarak alınır [44]. Şekil 3.4'de döner kurutucunun bir örneği gösterilmiştir [43]. Bu tip kurutucularda patates püresi gibi sebze püreleri ve domates salçası kurutulur. Sıvı ya da yarı sıvı ürünlerin kurutulması için uygundur. Elde edilen kurutulmuş ürün pulcuklar halindedir [25].



Şekil 3.4 Döner kurutucu [43]

3.1.5 Mikrodalga Kurutucular

300 MHz ile 30 GHz frekans aralığındaki elektromanyetik dalgalar mikrodalga olarak tanımlanır. Kurutulacak gıda mikrodalgaya maruz kalınca; su gibi dipol molekülleri, hızla değişen elektrik alanı ile beraber dipolleri sıraya sokma eğilimi gösterir. Oluşan sürtünmeyle ısı oluşur ve bu ısı komşu moleküllere iletilir. Serbest nem hızla buharlaşır. Uzaklaştırılan nem oranı taşınımla kurutmaya göre daha yüksektir [45].

3.1.6 Dondurarak Kurutan Kurutucular

Bu kurutma metodunda; gıdanın içerisindeki donmuş nem sübliminasyonla buhar haline dönüşür. Gerekli olan ısı radyasyon ya da iletim yoluyla sağlanır. Gıdaların konulduğu tepsi sıcaklığı 0 ^{0}C'nin üzerine çıkartılmaz. Süblimleşen nem kurutma odasında bulunan soğutulmuş tepsilerde ya da ayrı bir yoğuşturucuda yoğuşturulur [46]. Bu yöntem, et ve süt üretiminin yanı sıra bakteri kültürleri, sebze, farmakolojik ürün, meyve suları, serum, kahve ve çay özlerinin eldesinde kullanılabilir. Dondurarak kurutma her ne kadar pahalı ve yavaş yürüyen bir sistem olsa da ısıya duyarlı maddeler için uygundur [43].

3.1.7 Flaş Kurutucular

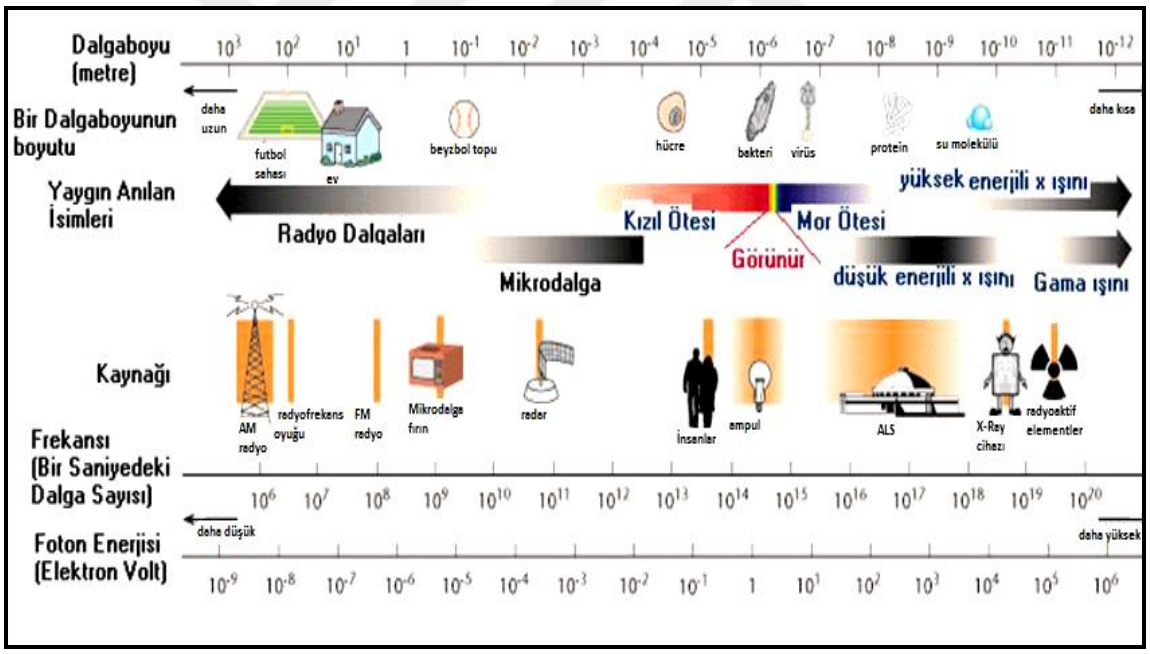
Flaş kurutucular; pigment (boya maddesi), sentetik reçine, gıda ürünleri ve kağıt üretimi için uygundur. Çok küçük yapıdaki malzeme, sıcak gaz akımına dağıtılarak hızlı ve düzgün biçimde kurutulabilir [43].

3.1.8 Akışkan Yataklı Kurutucular

Akışkanlaştırılmış yatakta, tanecik yapısındaki malzemenin arasından gaz akımı geçirilir. Aralarındaki temas iyi olduğundan taşınım ile ısı transferi etkin şekilde gerçekleşir. Kurutma işlemi kısadır, kütle ve ısı transfer hızı yüksek olduğundan malzeme aşırı ısınmaz. Kömür, kireçtaşı, kiltaşı, fosfat, plastik ilaç tabletlerinin kurutulması için uygundur [43].

4
MİKRODALGA VE GIDA ENDÜSTRİSİNDE KULLANIMI

Mikrodalgalar; radyo frekansları ile kızıl ötesi arasındaki bölgede 1 mm-1 m dalga boyu aralığında bulunur ve elektromanyetik spektrumda 0.3-300 GHz frekans aralığındaki bölgeyi işgal eder (Şekil 4.1) [48]. 2. Dünya Savaşı öncesinde ve sırasında çeşitli malzemelerin dielektrik özelliklerinin ölçülmesi çabası radyo frekansı ve mikrodalga ısıtma için yapılan çalışmalara büyük katkı sağlamıştır. Bu gelişmelerden sonra ticari ve evsel kullanımlar için mikrodalga fırınlar üretilmeye başlanmıştır. 1960'lı yıllarda endüstriyel uygulamalarda mikrodalganın kullanılması ile mikrodalga güç kaynağı aranan bir pazar haline gelmiştir [8],[45].



Şekil 4.1 Elektromanyetik dalga spektrumu [48]

4.1 Mikrodalganın Tarihçesi

Radar kullanımının yaygınlaştığı 2. Dünya Savaşı sırasında ısıtma uygulamaları için mikrodalgaların kullanımına başlanmış ve büyük gelişmeler göstermiştir [49]. Mikrodalgaların kullanımının endüstriyel uygulamaları 1940'lı yıllarda araştırılmaya başlanmıştır. Kömürdeki organik kükürtün giderilmesinde

mikrodalga ile muamele edilmesi, dondurulmuş gıdaların temperlenmesi ve kauçuğun vulkarizasyonu ile makarnanın kurutulmasında kullanılan yöntemler örnek gösterilebilir [50]. Mikrodalga enerjisinin üretimini sağlayan ilk elektrik tüpleri Sir John Randall ve Dr. H. A. Boot tarafından 1940'da İngiltere'de bulunmuştur [45].

Büyük icatların pek çoğu gibi mikrodalga fırın da başka bir teknolojinin yan ürünü olarak gelişti. 1946 yılında Rayhteon şirketi mühendislerinden Percy Spencer, magnetron adındaki yeni bir vakum tüpünü test ederken cebindeki şekerin eridiğini fark etti. Daha sonra tüpün yanına cin mısırı koydu ve mısırların patladığını gördü [51]. Raytheon firması lisansı ile sanayi mutfakları için tasarlanan ilk mikrodalga fırın 340 kg ağırlığındaki ve pişirdiklerini yakmaması için dik tutulması gereken bir fırındı. Ev tipi mikrodalganın üretimi ise 1952 yılında yapıldı [45].

İlk mikrodalga uygulamaları gıda sanayisinde görülse de farklı endüstrilerde de kullanılmıştır. İnşaat malzemeleri, metalürji sanayi, kağıt, çevre ile ilgili radyoaktif atık ve hastane artıklarının zararsız hale getirilmesi gibi alanlar örnek gösterilebilir [44].

4.2 Mikrodalga Kurutucuların İşleyiş Mekanizması

Bir malzemeye mikrodalga prosesi uygulandığında iki türlü ısıtma mekanizması söz konusudur. Birincisi uygulanan elektrik alan şiddetinin sonucu olarak iyonik bileşenlerin hareketi ile iyonik indüksyon gerçekleşir. İkincisi ise dipolar rotasyondur. Bu da uygulanan elektrik alanın genlik değişimine göre moleküllerin polarize ve depolarize olurken çıkardıkları salınım hareketinin sonucudur. Hacimsel ısıtma, mikrodalga ile ısıtmanın en önemli özelliğidir. Malzeme mikrodalga enerjisini ilk olarak iç kısımlarda absorplar ve bu enerjiyi ısıya dönüştürür [52].

4.3 Mikrodalga Tekniği İle Kurutmaya Etki Eden Parametreler

4.3.1 Kurutulan Gıdanın Miktarı

Kurutulacak gıdanın miktarı arttıkça uzaklaştırılması gereken nem miktarı da artar. Buna bağlı olarak harcanması gereken enerji miktarı da artacağından kuruma süresi uzar. Toplam kütle göz önüne alınırsa, kütle ile mikrodalga gücünün miktarı arasında direkt bir ilişki vardır [53],[54].

4.3.2 Gıdanın Su İçeriği

Su, mikrodalga enerjinin absorplanmasında önemli bir etkendir. Gıdanın yüksek su içeriğine sahip olması yüksek dielektrik kayıp faktörüne sahip olmasını dolayısıyla daha iyi ısınmasını sağlar. Düşük nem içeriğine sahip gıdalar da mikrodalgada işlenebilir. Bu işlem spesifik ısıdaki azalma ile mümkün olur. Mikrodalga ısıtma sırasında materyalin kurumasıyla daha nemli bölgelerin mikrodalga enerjiyi absorplamaları kolay olur. Bu süreç kurutma işleminde önemli bir avantajdır. Yüksek nem içeriğine sahip gıdaların dielektrik sabiti yüksek olur. Dielektrik kayıp faktörü, nem içeriği %20-30 olana kadar artar, bazen bu orandan sonra azalma olabilir. Karışımın dielektrik sabiti, karışımı oluşturan bileşenlerin dielektrik sabitleri arasında yer almaktadır [54].

4.3.3 Isı Transferi

Kurutma prosesinde en etkili ve en önemli faktördür. Isı transferi birden çok değişkene bağlıdır. Bunlar [55]:

- Isıtma ortamı ile sıvı yüzeyi arasındaki ısı transferi,
- Ürünün katı bölgelerinden ürün içindeki sıvı olan bölgelere ısı transferi,
- Isıtma ortamından hemen hemen kurumuş olan malzemeye ısı transferi,
- Üründeki sıvının ısıl iletkenlik katsayısı ve gizli ısı kapasitesi,
- Nemli malzemenin veya hemen hemen kurumuş malzemenin ısıl iletkenlik katsayısı,
- Kurutulacak malzemenin sıcaklığa bağlı sıvılaştırılabilme özelliği.

4.3.4 Mikrodalga Çıkış Gücü

Güç akışının yüksek olması sıcaklığın hızla yükselmesine sebep olur. Buna bağlı olarak gerçekleştirilecek işlem süresi kısalmaktadır [54].

4.4 Mikrodalga Fırının Bileşenleri

Her mikrodalga sistemi beş ana bölümden oluşur [56]:

- Güç Ünitesi
- Mikrodalga kaynağı (Magnetron)
- Dalga Kılavuzu
- Aplikatör
- Karıştırıcı fan

Güç Ünitesi: Magnetronların ihtiyaç duyduğu yükek voltajları elektrik enerjsinden çeviren kaynaktır [57].

Magnetron: Ev tipi ve endüstriyel mikrodalga fırınlarda enerji kaynağı olarak kullanılan cihaz magnetrondur. Magnetron, anod ve katod olmak üzere iki kısımdan oluşan bir asilatör tüpüdür. Magnetron, anoda beslenen düşük akım ve yüksek voltajdaki doğru akım elektrik enerjisini mikrodalga enerjisine dönüştürür. Kesikli ve sürekli dalga olmak üzere iki çeşit magnetron vardır. Kesikli magnetronlar radar uygulamaları için kullanılırken, sürekli magnetronlar mikrodalga fırınlarda kullanılır [55].

Dalga Kılavuzu: Elektromanyetik bir dalgayı yönlendirmek için iletim hatları ve dalga kılavuzları kullanılabilir. Daha yüksek frekanslarda daha düşük dalga kılavuzu kayıpları olduğu için mikrodalga güç uygulamalarında kullanılabilir. Prensip olarak dalga kılavuzları; çapraz kesit, üçgen veya silindir şeklindeki oyuk iletkenlerdir [56].

Aplikatör: Aplikatör, mikrodalga fırın içerisinde malzemenin konulduğu hacimdir. Alan konfgürasyon çeşidine göre; yakın alan, tekli mod ve çoklu mod olmak üzere 3'e ayrılır. Gıda ısıtmada kullanılan aplikatörler çoklu mod tipindedir ve daha büyük malzemeleri işlemek için boyutları da büyüktür [56].

Karıştırıcı Fan: Karıştırıcı fan, aplikatöre gönderilen mikrodalga enerjisini eşit bir şekilde dağıtmak amacıyla kullanılır [56].

4.5 Mikrodalga Tekniği ile Kurutmanın Avantajları ve Dezavantajları

Geleneksel güneşte kurutma yönteminde, gıdadan nemi uzaklaştırmak için yüksek sıcaklık ve uzun kuruma sürelerinin gerekli olması gıda kalitesinde istenmeyen bozulmalara sebep olur. Kalite kaybını önlemek, hızlı ve etkili ısıl prosesi gerçekleştirmek için gıdaların kurutulmasında mikrodalgaların kullanımı artmıştır. Mikrodalga kurutma, geleneksel sıcak hava ile kurutmaya kıyasla daha hızlı, daha düzgün ve enerji verimliliği açısından daha avantajlıdır [58].

Mikrodalga ile kurutmanın avantajları aşağıda sıralanmıştır [53], [59], [60];

1. Mikrodalga ile kurutmada ısı malzemenin içinde üretilir bu yüzden ısıtma hızı yüksek ve işlem süresi kısadır.
2. Mikrodalga ile kurutma işlemi kapalı bir ortamda yapıldığı için geleneksel kurutmaya göre son ürün daha temiz ve sterildir.
3. Mikrodalga fırınlar, geleneksel sistemlere kıyasla az yer kaplar, kullanımı, bakımı ve temizliği kolaydır.
4. Isıtma çevrimi hızlıdır. Bu yüzden gıda maddeleri için çok fazla depolama alanı gerektirmez.
5. Malzemede meydana gelen büzüşmeler daha azdır.
6. Mikrodalga enerjisinin kurutmada tek başına kullanılmasıyla oluşacak kısıtlamaları ortadan kaldırmak için diğer kurutma yöntemleriyle birleştirilebilir.
7. Mikrodalga ile kurutmada, gıdayı çevreleyen hava ve fırın ısınmadığı için ısıtma etkindir, zaman ve enerji kaybı gerçekleşmemektedir.
8. Mikrodalgaların ısıya dönüşüm verimi %40'lara kadar çıkarken, bu oran geleneksel fırınlarda %7-14 arasında değişmektedir.
9. Mikrodalgalar, malzemeleri içten ısıttığı için sıcaklık dağılımları daha düzgün olmakta ve yüzeyin aşırı ısınması önlenebilmektedir.

Mikrodalga ile kurutmanın dezavantajları aşağıda sıralanmıştır [53], [59], [60];

1. Sabit yatırım masrafları yüksektir; magnetronlar geleneksel ısıtma ekipmanlarına kıyasla pahalıdır, bu yüzden sanayide kullanımı yavaş gelişmektedir.
2. Mikrodalgaların absorplanması 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 köşelerde ve ince tabakalı gıdalarda aşırı pişme ve yanma oluşabilirken geniş parçalı gıdalarda merkezde pişme tam gerçekleşmeyebilir.
4. İnsan sağlığı açısından radyasyon sızıntısının önlenebilmesi için kapalı bir sistem olması zorunludur.
5. Mikrodalga fırınlar, geleneksel fırınlara göre farklı emniyet tedbirleri gerektirir.
6. Kullanılan kapların ve ambalaj malzemelerinin mikrodalga ortamına uygun olması gerekmektedir.

4.6 Mikrodalga Cihaz Kullanımında Güvenlik Standardı

Mikrodalgaların insan sağlığı üzerine olumsuz etkilerini önlemek amacıyla mikrodalga fırınların kullanımına ilişkin yasal düzenlemeler yapılmıştır. Buna göre fabrikalarda fırın yüzeyinden 5 cm uzaklıktaki sızıntı miktarının 5 mW/cm^{2}'yi aşmaması gerekmektedir. Mikrodalga ile çalışan bir kişi için gelen ışınım gücünün vücut ağırlığına oranı olarak ifade edilen özgül emilim oranı da maksimum 0.4 W/kg olmalıdır [55].

5
GÜVEM ERİĞİ HAKKINDA GENEL BİLGİ

5.1 Güvem Eriği

Erik birden çok değişik türe sahip olan *Prunus* cinsine ait meyveli bitkilerin ortak adıdır. Gülgiller familyasından çakal eriği ya da güvem eriği olarak bilinen *Prunus Spinosa* yabani bir meyvedir. Halk arasında güvem, gövem, dağ eriği, göğem, güğem, ayı eriği, kum eriği, domuz eriği, yaban eriği, çoban üzümü, deli erik ya da dağ eriği olarak anılmaktadır. Özellikle İç Anadolu, Kuzey, Batı ve Güney bölgelerde kendiliğinden yetişir. Güvem eriği; 3-4 metre uzunluğunda eni boyuna göre daha kalın, dikenli ve çalı şeklinde bir bitkidir (Şekil 5.1). Mavimsi mor renkte, buğulu, küre şeklindedir ve yeşilimsi sert etli kısma sahip çekirdekli bir meyvedir. Güvem eriğinin çiçekleri ilkbaharda açarken, meyveleri sonbaharda olgunlaşır [61],[62],[63],[64].

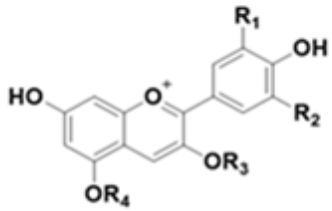


Şekil 5.1 Güvem eriği ağacı

5.2 Antosiyaninler

Antosiyaninler bitki dünyasında suda çözünen pigmentlerin en büyük grubunu oluşturur [65]. Kırmızı, mavi ve mor arasında bir renk skalasına sahip olan antosiyaninler flavonoid sınıfından fenolik bileşikler grubuna ait doğal pigmentler olup çeşitli meyve ve sebzelerde bulunur [63]. Tablo 5.1'de erik türlerinde bulunan farklı antosiyaninlerin yapıları gösterilmiştir. Işığa ve 120 ^{0}C sıcaklığa kadar dayanıklı ve zararsız pigmentler olan antosiyaninler gıda renklendiricisi olarak kullanılmada yüksek potansiyele sahiptir. Avrupa Birliği ülkelerinde gıda renk katkısı olarak kabul edilmiş olan antosiyaninler, alkolsüz içecek, reçel, dondurma, yoğurt, hazır çorba ve krem peynir gibi gıdalarda kullanılır [66],[67]. Son yıllarda renklendirici ajan olarak kullanılmalarının en önemli sebepleri arasında, rengi çekici hale getirmeleri, suda yüksek çözünürlükleri ve sağlık üzerine olumlu etkilerinin olmasından kaynaklanmaktadır [68]. Antosiyaninler, siyah üzüm kabuğu ve bazı erik türlerinin yalnızca meyve kabuğunda bulunurlar [69]. Diğer Prunus türlerinde olduğu gibi güvem eriğinde de yüksek oranlarda antosiyanin bileşikleri vardır. Özellikle de kabuğu, meyvesinden daha yoğun renge sahiptir [63].

Tablo 5.1 Erik örneklerinde bulunan farklı antosiyaninlerin yapıları [70]

	Erik Türlerindeki Antosiyaninler	**R_1**	**R_2**	**R_3**	**R_4**
	Siyanidin 3-O-glukozit	OH	H	$C_6H_{11}O_5$	H
	Siyanidin 3-O-rutinozit	OH	H	$C_{12}H_{22}O_{10}$	H
	Peonidin 3-O-glukozit	OCH_3	H	$C_6H_{11}O_5$	H
	Peonidin 3-O-rutinozit	OCH_3	H	$C_{12}H_{22}O_{10}$	H

5.3 Güvem Eriği Hakkında Genel Bilgi

Taze bir güvem eriği % 69.37 oranında su içermektedir ve enerji değeri 249 kcal/g olarak hesaplanmıştır. Bununla birlikte % 3.4 ham protein, % 4.6 ham lif, % 2.06 ham yağ içeriği bulunmaktadır [62]. Vitamin açısından ise 23.84 mg/100g Vitamin C, 599.2mg/100g polifenoller, 71.75mg/100g antosiyanin bileşikleri ve 0.04 mg/100g β-karoten içermektedir [71]. Potasyum, kalsiyum, magnezyum, fosfor, kükürt, sodyum ve demir mineralleri ise sırasıyla 9879.57mg/kg, 920.82 mg/kg, 916.68 mg/kg, 659.15 mg/kg, 122.69 mg/kg, 40.46 mg/kg ve 30.1 mg/kg olarak hesaplanmıştır [72]. Güvem eriği biyolojik olarak büyük miktarlarda tıbbi yağ, vitaminler, karoten, organik asit gibi aktif maddeler içerdiğinden dolayı ilaç ve gıda endüstrisi için önemli bir hammadde kaynağıdır [73].

Güvem eriği meyvesi taze iken yenilebildiği gibi reçel ve marmelatı da yapılır. Gıda endüstrisinde, meyve suyu, komposto ve çay gibi içeceklerin üretiminde kullanılır. Güvem eriği; şeker, bal ya da konyak ile yumuşatılarak genellikle yemek sonrasında müshil ve sindirime yararlı likör olarak tüketilir [74],[75].

Çok eski zamanlardan beri yabani erik türleri aromatik ve tedavi edici özelliklere sahip olmasıyla bilinir [72]. Çeşitli psikolojik yararlarının yanında güvem eriği meyvesi kardiyovasküler hastalıklar, kanser ve damar tıkanıklığına karşı etkiler içerir. Son zamanlarda ise renklendirici özelliklerinden dolayı antosiyanin bileşikleri içeren güvem eriğine karşı ilgi artmaktadır [63].

6
GIDALARIN KURUTULMASINA İLİŞKİN LİTERATÜR ARAŞTIRMASI

Gıdaların kurutulması en eski gıda koruma tekniklerinden birisidir. Bu sebeple bugüne kadar çok fazla çalışma yapılmıştır. Ancak literatürde; güvem eriği kabuklarının mikrodalga yöntemi ile kurutulmasına ilişkin yapılmış bir çalışmaya rastlanılmamıştır. Bu bölümde; konvansiyonel kurutucular veya mikrodalga tekniği ile gıdaların kabuklarının kurutulmasına ilişkin literatürde var olan çalışmalara yer verilmiştir.

Alibaş vd. (2020) [76] tarafından yapılan çalışmada; yeşil elma kabukları güneşte ve mikrodalga tekniği kullanılarak iki yöntemle kurutulmuştur. Mikrodalga çıkış güçleri 1000W, 800W, 600W VE 400W'da sırasıyla 17, 21 ,27 ve 33 dakikada kuruma gerçekleşmiştir. Doğal kurutma yönteminde ise bu süre 66 saat olarak hesaplanmıştır. Kurutma kinetiği hesabı için 21 farklı model kullanılmış ve 600 W ve 800 W çıkış gücü için en iyi model Henderson Pabis Modeli olurken, 400 W için Jena ve Das eşitliği, 1000 W için Alibaş eşitliği uygunluk göstermiştir. Renk parametreleri, klorofil ve besin içeriği açısından en uygun kurutma prosesi 400 W mikrodalga çıkış gücündeki kurutmada gözlemlenmiştir.

Manzoor vd. (2019) [77] tarafından yapılan çalışmada; papaya (kavunağacı meyvesi) kabukları konvansiyonel ve mikrodalgada kurutma yöntemi kullanılarak kurutulmuştur. Atık kabukları değerlendirmek için, kurutma kinetiği ve kuruma davranışı araştırılmıştır. Kabuklara 3 farklı kurutma sıcaklığı (45, 55, 65 ^{0}C) ve 3 farklı mikrodalga çıkış gücü (250, 440, 600 W) uygulanmıştır. Kurutma kinetiği için 7 farklı model arasından konvansiyonel kurutmada tüm sıcaklıklar için en uygun model Page model olmuştur. Mikrodalga kurutma içinse difüzyon model, 3 farklı mikrodalga çıkış gücünde kurutma için en uygun model olmuştur. Konvansiyonel kurutma için efektif difüzivite katsayısı $6.65x10^{-8}$ ile

$4.35x10^{-7}$ mikrodalga çıkış gücü için ise $2.43x10^{-7}$ ile $6.67x10^{-7}$ aralığında bulunmuştur.

Anuar vd. (2019) [78] tarafından yapılan çalışmada; muz kabuklarına doğal kurutma yöntemi ve 3 farklı mikrodalga çıkış gücü (100 W, 440 W, 1000 W) uygulayarak kurutmuştur. Kuruma süreleri sırasıyla 65 dakika, 33 dakika ve 6 dakika olarak hesaplanmıştır. En kısa kurutma süresi ve en düşük nem içeriği 1000 W mikrodalga çıkış gücünde gözlemlenmiştir. Gün ışığında kurutma ise en uzun kurutma süresi (7 gün) olmasına rağmen en fazla nem içeriğine sahip proses olmuştur.

Tuncer vd. (2019) [79] tarafından yapılan çalışmada; iki farklı kalınlıkta (1 cm ve 0.5 cm) hazırlanan Pomelo meyvesi kabuklarını 3 farklı yöntemle kurutarak kurutma özellikleri üzerine etkisi incelenmiştir. Kabuklar en kısa mikrodalga tekniği ile kurumuştur. İnce örnekler için mikrodalga kurutma 24 dakika, zorlanmış taşınımla kurutma 34 dakika, dondurarak kurutma 420 dakika sürmüştür. Kalın örnekler için ise sırasıyla 30 dakika, 44 dakika ve 540 dakika kuruma süresi hesaplanmıştır. Her iki kalınlık için de mikrodalga kurutma ve zorlanmış taşınımla kurutmada en iyi model Logaritmik model olmuştur. Dondurarak kurutmada ise ince kabuk için Difüzyon model kalın kabuk için Modified Henderson Pabis model uygunluk göstermiştir. Mikrodalga kurutmada 1 cm kalınlığındaki kabuk için aktivasyon enerjisi 115.03 W/g, 0.5 cm kalınlığındaki kabuk için 124.35 W/g olarak bulunmuştur. Efektif difüzivite katsayısı sırasıyla $7.295x10^{-8}$ m^2s^{-1} ve $1.925x10^{-8}$ m^2s^{-1} bulunmuştur. Taze ürüne en yakın renk değerleri ise dondurarak kurutmada elde edilmiştir.

Chew vd. (2019) [80] tarafından yapılan çalışmada; Ejder meyvesinin kabuklarını mikrodalga tekniğini kullanarak kurutmuştur. Kabukların mikrodalgayla kurutulması 75, 225, 375, 525 ve 750 W'da gerçekleştirmişlerdir. Nem difüzivitesi (De), toplam polifenol içeriği (TPC), betalain içeriği, DPPH süpürme yeteneği ve rehidratasyon yetenekleri incelenmiştir. Veriler, 4 saat süreyle 100 ° C'de sıcak havayla kurutma 24 saat boyunca dondurarak kurutma ile karşılaştırılmıştır. Veriler, ejder meyvesi kabuklarının Mikrodalga kurutma kinetiğinin Fick yasasına ve Arrhenius denklemine uygun olduğunu göstermiştir.

Aktivasyon enerjisi 34.08 W/g olurken, nem difüzivitesi $2.35*10^{-07}$ - $5.56*10^{-06}$ m^2 s^{-1} aralığında bulunmuştur. Sıcak hava ile kurutmada nem difüzivitesi $2.44*10^{-08}$ m^2 s^{-1} bulunurken bu değer dondurarak kurutmada $4.43*10^{-09}$ m^2 s^{-1} olarak hesaplanmıştır. Ejder meyvesi kabuklarının mikrodalga ile kurutulduğunda sıcak havaya göre daha yüksek rehidratasyon kapasitesi sağlayabileceği ve bunun da dondurarak kurutma ile karşılaştırılabileceği saptanmıştır. Mikrodalga ile kurutmada yüksek seviyelerde toplam fenolik içerik saptandığı ve DPPH inhibisyonunu koruduğu için etkili bir yöntemdir.

Galaz vd. (2017) [81] tarafından yapılan çalışmada; nar kabukları çift tamburlu kurutucuda kurutarak kurutma kinetiğini incelemiş ve kurutmanın polifenolik bileşiklere etkisini araştırmıştır. Nar kabukları 100, 110 ve 120 ^{0}C'de sıcaklıklarda sırasıyla 422, 400 ve 257 saniyede kurumuştur. Herhangi bir sıcaklıktaki kurutma sonucunda toplam polifenolik madde içeriğinde önemli bir azalış meydana gelmemiştir.

Chuyen vd. (2016) [82] tarafından yapılan çalışmada; Dört farklı kurutma yöntemi (sıcak hava, vakum, ısı pompası ve dondurarak kurutma), farklı sıcaklıklar ve kurutma sürelerini, karotenoid ekstraksiyonuna uygun kurutulmuş Gac meyvesi (Momordica cochinchinensis Spreng.) kabuğu üretmek için araştırmıştır. Kurutma yöntemleri ve kurutma sıcaklıklarının Gac kabuğunun kurutma süresini, karotenoid içeriğini ve antioksidan kapasitesini önemli ölçüde etkilediğini bulmuştur. Kurutma yöntemleri arasında, 80 °C'de sıcak hava ile kurutma ve 50 °C'de vakumlu kurutmanın en yüksek miktarda karorenoid tutuğunu ve en güçlü antioksidan kapasitesine sahip olduğunu hesaplamışlardır.

Kessy vd. (2016) [83] tarafından yapılan çalışmada; liçi (kral meyvesi) kabuklarının bioaktif fenolik bileşiklerinin antioksidan kapasitesi ve stabilitesi üzerine farklı uygulama yöntemlerinin etkilerini incelemişlerdir. Taze liçi kabukları açık havada kurutulmuş, 60 3 dakika buharda ağartılıp 60^{0}C ve 80 ^{0}C'de sıcak hava fırında kurutulmuştur. Ayrıca ağartılmamış olan kabuklar 40, 60, 70 ve 80 ^{0}C sıcak hava fırında dengeye gelene kadar kurutulmuştur. Bu uygulamalar sonucu toplam fenolik bileşikler, flavonoidler, antosiyaninler, proantosiyanidinler ve antioksidan aktivite analiz edilmiştir.

Ghanem vd. (2012) [84] tarafından yapılan çalışmada; üç farklı narenciye kabuklarını (limon, mandalin ve greyfurt) 5 farklı mikrodalga çıkış gücünde (100 W, 180 W, 300 W, 450 W VE 600 W) kurutarak fizikokimyasal ve teknolojik özelliklerindeki değişiklik ile kurutma davranışı incelenmiştir. Mikrodalga çıkış gücü arttıkça her üç narenciye türünün de kuruma süresi kısalmıştır. Büzülme, kabuk çeşidine ya da mikrodalga kurutma seviyesine bağlı değildir ancak buharlaşan nem miktarına bağlı olarak değişiklik göstermiştir. Mikrodalga kurutma, her üç kabuk türü için de su tutma kapasitesinde önemli bir artışa sebep olmuştur. 450 W'ın altındaki mikrodalga güçlerinde en iyi su tutma kapasitesi gözlemlenmiştir. Mikrodalga kurutma tüm narenciye kabuklarının yağ tutma kapasitesi ile mandalina ve limon kabuklarının fenolik madde içeriğini önemli ölçüde azaltmıştır. Maksimum kabuk fenolik madde içeriği 450 W'ın üzerindeki mikrodalga kurutmada korunmuştur. Bunun yanında mikrodalga kurutmanın greyfurt ve mandalina kabuklarının renk parametresi (L, a ve b değerleri) üzerinde önemli bir etkiye sahip olmadığı tespit edilmiştir. Ancak limon kabuğunda b parametresi önemli bir azalışa ve renk farkı ΔE 'de ise önemli bir artışa neden olmuştur.

Bejar vd. (2011) [85] tarafından yapılan çalışmada; portakal kabuğu ve yapraklarını farklı mikrodalga güçlerinde kurutularak mikrodalga kurutma kinetiği incelenmiştir. Mikrodalga gücünün renk değişimi, toplam fenolik madde içeriği ile su ve yağ tutma kapasitesine etkisi araştırılmıştır. 100W, 180W, 300W, 450W, 600W, 700W, 850W artan mikrodalga çıkış gücünde portakal kabuklarının 6960 saniye ile 420 saniye arasında azalan periyodda kuruma zamanı gözlemlenmiştir. Yaprakları da aynı şekilde 4800 ile 210 saniye periyodunda kurumuştur. Taze haliyle karşılaştırıldığında kabuk ve yaprakların fonksiyonel özellikleri mikrodalga ile kurutma sonrası azalmıştır. Ancak kabukların su tutma kapasitesi artmıştır. 450 W mikrodalga kurutma gücünde en iyi fenolik miktar (1.880 g kafeik asit/100 g kuru madde) bulunmuştur.

Tablo 6.1'de, konvansiyonel kurutucular veya mikrodalga tekniği ile gıdaların kabuklarının kurutulmasına ilişkin literatürde varolan çalışmalar özetlenmiştir.

Tablo 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
Alibaş vd. (2020) [76]	Yeşil elma kabukları	Mikrodalga, güneşte	-	Henderson Pabis Modeli (600W ve 800 W), Jena ve Das Eşitliği (400 W), Alibaş Eşitliği (1000 W)	-
Manzoor vd. (2019) [77]	Papaya (kavunağacı meyvesi) kabukları	Mikrodalga, Konvansi-yonel	Konvansiyonel Kurutma: $6.65x10^{-8}$ - $4.35x10^{-7}$ Mikrodalga Kurutma: çıkış gücü için ise $2.43x10^{-7}$ - $6.67x10^{-7}$	Mikrodalga Kurutma: Difüzyon Model, Konvansiyonel Kurutma: Page Model	-
Anuar vd. (2019) [78]	Muz kabukları	Güneşte, Mikrodalga	-	-	-
Tuncer vd. (2019) [79]	Pomelo meyvesi kabukları	Mikrodalga, Zorlanmış Taşınımla, Dondurarak Kurutma	Mikrodalga Kurutma: $7.295x10^{-8}$ (Kalın Kabuk) ve $1.925x10^{-8}$ (İnce Kabuk)	Mikrodalga Kurutma ve Zorlanmış Taşınımla Kurutma: Logaritmik Model, Dondurarak Kurutma: Difüzyon Model (İnce Kabuk), Modified Henderson Pabis Model (Kalın Kabuk)	-
Chew vd. (2019) [80]	Ejder meyvesi kabukları	Mikrodalga, Sıcak Hava, Dondurarak Kurutma	Mikrodalga Kurutma: $2.35x10^{-07}$ - $5.56x10^{-06}$ Sıcak Hava: $2.44x10^{-08}$ Dondurarak Kurutma: $4.43x10^{-09}$	-	-

Tablo 6.1 Gıdaların kurutulması çalışmalarına dair literatür taraması *(devamı)*

Kaynak	Kurutulan Gıda	Kurutma Yöntemi	Efektif Difüzivite Katsayısı (m^2/s)	Kuruma Kinetiği Modeli	Renk Kinetiği Modeli
Galaz vd. (2017) [81]	Nar kabukları	Çift Tamburlu Kurutucu (100, 110 ve 120 ^{0}C)	-	-	-
Chuyen vd. (2016) [82]	Gac meyvesi kabuğu	Sıcak Hava, Vakum, Isı Pompası ve Dondurarak Kurutma),	-	-	-
Kessy vd. (2016) [83]	Liçi (kral meyvesi) kabukları	Açık Hava, 3 Dakika Buharda Ağartılıp Sıcak Hava Fırın (60 ^{0}C ve 80 ^{0}C), Ağartılmamış Kabuklar Sıcak Hava Fırın (40, 60, 70 ve 80 ^{0}C)	-	-	-
Ghanem vd. (2012) [84]	Limon, Mandalin ve Greyfurt kabuğu	Mikrodalga	-	-	-
Bejar vd. (2011) [85]	Portakal kabuğu	Mikrodalga	-	-	-

7
MATERYAL VE YÖNTEM

7.1 Kullanılan Materyaller

Mikrodalga tekniği ile kurutulacak olan güvem eriği Türkiye'nin Trakya bölgesinde bulunan Tekirdağ ilinden temin edilmiştir. Erikler musluk suyuyla yıkandıktan sonra kabukları, etli kısım ve çekirdeklerinden özenle ayrılmıştır. Deneylere başlamadan önce güvem eriği kabukları 1 gün süre ile buzdolabında bekletilerek nem içeriklerinin dengeye gelmesi sağlanmıştır. Başlangıç nem içeriklerinin hesaplanması için 20 gramlık numuneler 70 °C sıcaklıktaki etüvde 24 saat süre ile kurutulmuştur ve elde edilen nem içeriği değerlerinin ortalaması alınmıştır. Çalışmada kullanılan taze güvem eriği kabuk numunesinin ortalama toplam nem değeri M_0 = 1.43 g su/g kuru madde olarak bulunmuştur. Taze güvem eriği ve kurutulmuş güvem eriği kabukları Şekil 7.1'de sunulmuştur.



a)



b)

Şekil 7.1 a) Taze güvem eriği ve b) Kurutulmuş güvem eriği kabukları

7.2 Kullanılan Cihazlar

7.2.1 Mikrodalga Fırın

Güvem eriği kabuklarının mikrodalga tekniği ile kurutulması çalışmaları, Arçelik firması tarafından üretilen MD 594 ürün koduna sahip mikrodalga fırın ile yapılmıştır. Deneylerde kullanılan mikrodalga fırına ait teknik özellikler Tablo 7.1'de, mikrodalga fırının görüntüsü ise Şekil 7.2'de verilmiştir.

Tablo 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 güvem eriği kabuklarının rehidratasyon çalışmaları için Memmert marka su banyosu kullanılmıştır (Şekil 7.3).



Şekil 7.3 Memmert marka su banyosu

7.2.3 Renk Ölçüm Cihazı

Güvem eriği kabuklarının kurutulması sırasında farklı mikrodalga çıkış güçlerinin renk değişimine etkisinin gözlemlenebilmesi için Konica Minolta firması tarafından üretilmiş olan CR-400 (renk okuma cihazı) ve DP-400 (veri işlemcisi) kullanılmıştır (Şekil 7.4) ve cihaza ait teknik özellikler Tablo 7.2'de verilmiştir [86].

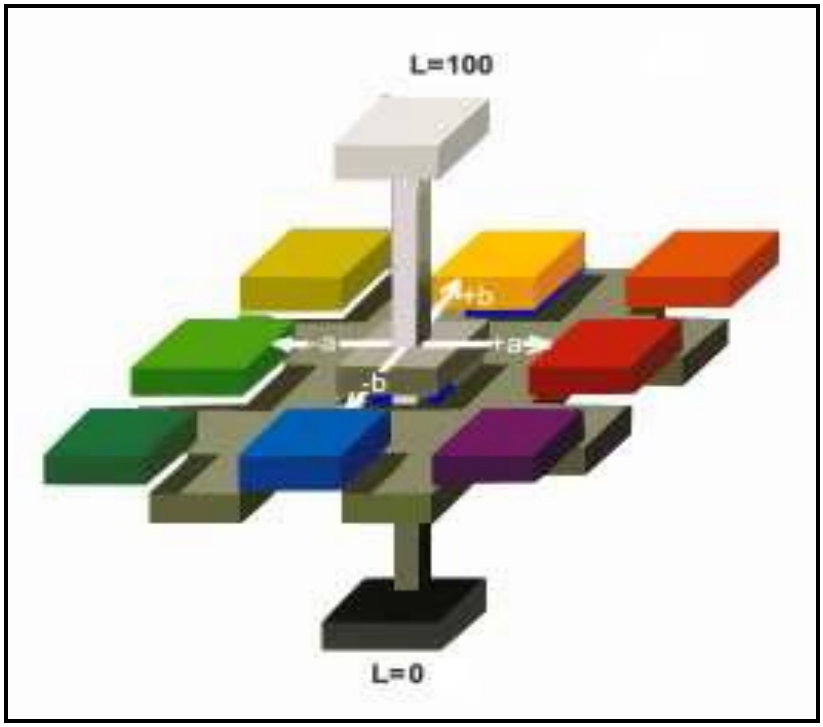
Deneyler yapılırken "Hunter Lab Renk Skalası (L, a, b)"yöntemi kullanılarak renk ölçüm aletinden veriler elde edilmiştir. R.S Hunter, 1948 yılında Hunter Lab Renk Skalasını tasarlamıştır. Bu tasarımda, fotoelektrik renk ölçme cihazıyla doğrudan okunabilen düzenli renk skalası dizayn edilmiştir. Deneyler esnasında kullanılmış olan renk skalası Şekil 7.5'te [86]; L, a ve b indislerinin renk skalasındaki anlamlarını gösteren açıklama ise Tablo 7.3'te verilmiştir [87].

Tablo 7.2 Konica Minolta CR-400 ve DP-400 cihazlarının teknik özellikleri [86]

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



Şekil 7.4 Konica Minolta CR-400 ve DP-400 cihazlarının genel görünümü [86]



Şekil 7.5 Hunter Lab renk skalası [86]

Tablo 7.3 Hunter Lab renk skalasında kullanılan renk indislerinin anlamı [87]

Renk İndisi	Anlamı
L	L değeri; gıdanın renginin beyazlık, parlaklık ve matlık göstergesine göre ölçülmesiyle bulunan bir değer olup, 0 ile 100 aralığındadır. Bu indekse göre, gıdaların başlangıç rengine yakın olup olmadığı ve tazelikteki değişimi gösteren parlaklığa ne kadar yakın olduğu belirlenir.
a	a değeri; kırmızı ile yeşil renk skalasında gıdanın renginin konumunu gösterir. Bu değer gıdalarda L değerinden sonraki önemli bir parametredir.
b	b değeri, mavi ile sarı renk skalasında gıdanın renginin konumunu gösterir.

7.2.4 UV Visible Spektrofotometre

Mikrodalga tekniği ile kurutulan güvem eriği kabuklarındaki antosiyanin miktarındaki değişimi incelemek için Shimadzu marka UV-Vis spektrofotometre kullanılmıştır (Şekil 7.6).



Şekil 7.6 Shimadzu marka UV-vis spektrofotometre

7.3 Deneylerin Yapılışı

7.3.1 Kuruma Hızlarının Belirlenmesi

Mikrodalga tekniği ile kurutma yöntemiyle güvem eriği kabuklarının kurutulmasına ait deneylerin ilk bölümünde; sabit ağırlıktaki numuneler farklı mikrodalga çıkış güçlerinde (180, 360, 540, 720 ve 900 W) kurutulmuştur. Bunun için 20 g ağırlığındaki güvem eriği kabukları 0.1 g su/g kuru madde nem içeriğine kadar kurutulmuştur. Kuruma kinetiğini incelemek için numunelerden belirli aralıklarla tartım alınmıştır.

Mikrodalga tekniği ile kurutma yönteminin güvem eriği kabuklarının kuruması üzerindeki etkisini incelemek için yapılan deneylerin ikinci bölümünde ise; farklı ağırlıklardaki güvem eriği kabuklarının (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 güvem eriği kabuklarının renk değişimi üzerindeki etkisini incelemek için yapılan deneylerin ilk bölümünde; 20 g sabit ağırlıktaki güvem eriği kabuklarının 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 güvem eriği kabuklarının renk değişimi üzerindeki etkisini incelemek için yapılan deneylerin ikinci bölümünde ise; farklı ağırlıklardaki güvem eriği kabuklarının (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, renk değişim verileri, renk ölçüm cihazıyla incelenmiştir.

Konica Minolta renk ölçüm cihazı, renk ölçümlerine başlamadan önce beyaz standart kalibrasyon plakasıyla ayarlanmıştır. Mikrodalga tekniği ile kurutulan güvem eriği kabuklarının 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 güvem eriği kabuklarının rehidratasyon kapasitesi üzerindeki etkisini incelemek için yapılan deneylerin birinci bölümünde; 20 g sabit ağırlıktaki güvem eriği kabuklarının 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 güvem eriği kabuklarının rehidratasyon kapasitesi üzerindeki etkisini incelemek için yapılan deneylerin ikinci bölümünde ise; farklı ağırlıklardaki güvem eriği kabuklarının (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 güvem eriği kabuklarının rehidratasyon kapasitesi üzerindeki etkisini incelemek için yapılan deneylerin son bölümünde ise; 20 g sabit ağırlıktaki güvem eriği kabuklarının 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.

7.3.4 pH Diferansiyel Methodu ile Monomerik Antosiyanin Tayini

Antosiyanin pigmentleri pH'daki değişiklik ile tersinir yapısal değişikliğe uğrar. Antosiyaninler pH 1.0'de oksonium flavilium formu adındaki renkli hale sahip olurken, pH 4.5'da renksiz korbinol formda bulunur. pH 1.0 ve pH 4.5 tampon çözeltileriyle hazırlanan örneklerin spektrofotometrede ölçülen absorbans değerleri arasındaki fark antosiyanin miktarıyla doğru orantılıdır [88].

Gerekli çözeltiler: 0.025 M potasyum klorür (KCl) pH 1.0 tampon çözeltisi hazırlamak için 1.86 g KCl 980 ml distile su ile karıştırılır. Çözeltinin pH değeri 1.0 değilse HCl çözeltisi ile ayarlanır. 0.4 M pH 4.5 sodyum asetat (CH3CO2Na.3H2O) tampon çözeltisi için 54.43 g sodyum asetat 960 ml distile su ile karıştırılır. PH 4.5 değilse HCl çözeltisi ile ayarlanır.

Numunelerin hazırlanması: Kurutulan güvem eriği kabukları öğütüldükten sonra 0.5 g numune 10 ml %85'lik etanol (%95)-1.5N HCI çözeltisinde bekletilir. 1 ml'lik iki ayrı ekstrakt deney tüplerine alınarak bir tanesi pH 1.0 potasyum klorür tampon çözeltisiyle 10ml'ye tamamlanır. Aynı şekilde diğer tüpteki 1 ml'lik ekstrakt ph 4.5 sodyum asetat tampon çözeltisi ile 10 ml'ye tamamlanır. 45 dakika bekletilen örneklerin UV görünür spektrofotometrede 520 nm ve 700 nm dalga boylarında saf suya karşı ölçümleri yapılarak absorbans değerleri not edilir.

7.4 Hesaplamalar

7.4.1 Kuruma Hızının Belirlenmesi İçin Yapılan Hesaplamalar

7.4.1.1 Nem içeriğinin hesaplanması

Kurutulan güvem eriği kabuklarının nem içerikleri, 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.

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

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; kabuk çapının, kabuğun inceliğinden daha büyük olması nedeniyle dilim (kesit) kabulü yapılan güvem eriği kabukları için Denklem (7.4) ve Denklem (7.5)'te sırası ile verilmiştir [23], [89].

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

Denklem (7.4)'de;

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

L : Dilim kalınlığı (kesit kabulü yapılan güvem eriği kabuğunun merkezden yüzeye olan uzaklığı (L=0.09066 cm)

t : Kuruma süresi (saniye)

olarak tanımlanmıştır.

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

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

7.4.2 Renk Değişiminin Hesaplanması

Mikrodalga tekniği kullanılarak güvem eriği kabuklarının kurutulması sırasında meydana gelen renk değişim değerlerinin belirlenmesi için; renk ölçüm cihazıyla bulunan L, a, b değerleri kullanılmış ve 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 [90].

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

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

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

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

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

Güvem eriği kabuklarının mikrodalga tekniği ile kurutulması sonucunda elde edilen son ürünlerin rehidratasyon kapasitesinin belirlenmesi sırasında nem içeriğinin belirlenmesi için kullanılan Denklem (7.1) kullanılmıştır.

7.4.4 Antosiyanin Miktarının Hesaplanması

Mikrodalga tekniği kullanılarak kurutulan güvm eriği kabuklarındaki antosiyanin miktarını hesaplamak için Denklem (7.10), absorbans değerini hesaplamak için denklem (7.11) kullanılmıştır [88].

$$\text{Antosiyanin miktarı}\left(\frac{\text{mg}}{\text{Litre}}\right) = \frac{\text{AxMWxDFx1000}}{\varepsilon x L} \tag{7.10}$$

$$A = (A_{520nm} - A_{700nm})_{pH:1.0} - (A_{520nm} - A_{700nm})_{pH:4.5} \tag{7.11}$$

A: Absorbans farkı (pH:1.0 ve pH:4.5 değerlerinde ölçülen absorbans farkı)

Denklem (7.10)'da;

MW: Antosiyanin pigmentinin molekül ağırlığı (siyanidin 3-glikozit 449.2 g/mol)

DF: Seyreltme faktörü

ε: Molar absortivite (siyanidin 3-glikozit için 26900 L/mol.cm)

L: Absorbans ölçüm küvetinin tabaka kalınlığı (1 cm)

olarak tanımlanmıştır.

7.5 Modelleme Çalışmaları

7.5.1 Kuruma Kinetiğine Ait Modelleme Çalışmaları

<u>Page Model:</u>

Gıdaların kuruma kinetiklerinin açıklanması amacı ile en fazla kullanılan model denklemlerinden biri olan Page Model, Denklem (7.12)'da verilmiştir [91].

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

Denklem (7.12)'de;

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

n : Page Modeline ait bir katsayı

t : Kuruma süresi (dak)

olarak tanımlanmıştır.

Henderson ve Pabis Model:

Denklem (7.13)'de Henderson ve Pabis Modeli sunulmuştur [91].

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

Denklem (7.13)'de;

A : Katsayı (birimsiz)

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

t : Kuruma süresi (dak)

olarak tanımlanmıştır.

Lewis Model:

Lewis Model, Denklem (7.14)'de sunulmuştur [91].

$$MR = \exp(-k.t) \tag{7.14}$$

Denklem (7.14)'de;

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

t : Kuruma süresi (dak)

olarak tanımlanmıştır.

Logaritmik Model:

Logaritmik Model, Denklem (7.15)'te sunulmuştur [91].

$$MR = A.\exp(-k.t) + B \tag{7.15}$$

Denklem (7.15)'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

<u>Sıfırıncı Dereceden Kinetik Model:</u>

Denklem (7.16)'te Sıfırıncı dereceden kinetik model verilmiştir [92].

$$C = C_0 \pm k.t \tag{7.16}$$

Denklem (7.16)'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.

<u>Birinci Dereceden Kinetik Model:</u>

Birinci Dereceden Kinetik Model, Denklem (7.17)'te verilmiştir [92].

$$C = C_0 \exp(\pm kt) \tag{7.17}$$

Denklem 7.17'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 (7.18)'da verilmiştir [93].

$$M_t = M_0 + \frac{t}{k_1 + k_2 t} \tag{7.18}$$

Denklem (7.18)'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.

Birinci Dereceden Rehidratasyon Kinetik Modeli:

Birinci Dereceden Rehidratasyon Modeli, Denklem (7.19)'de verilmiştir [93].

$$M_t = M_e + (M_0 - M_e)\exp(-k_{R1}t) \tag{7.19}$$

Denklem (7.19)'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_{R1} : Rehidratasyon kinetik sabiti (dak^{-1})

t : Rehidratasyon süresi (dak)

olarak tanımlanmıştır.

Eksponansiyel Assosiasyon Modeli:

Eksponansiyel Assosiasyon Modeli, Denklem (7.20)'da verilmiştir [93].

$$M_t = M_e[1 - \exp(-k_{R2}t)] \tag{7.20}$$

Denklem (7.20)'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_{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 [23] tarafından Arrhenius denklemi temel alınarak türetilen eksponansiyel denklem kullanılarak hesaplanmıştır (Denklem 7.21).

$$k = k_0 \exp\left(\frac{E_a . m}{P}\right) \tag{7.21}$$

Denklem (7.21)'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 Professional programı kullanılmıştır. Bu program ile deneysel ve teorik değerler arasındaki sapma, en küçük kareler metodu kullanılarak bulunmuştur. İstatistiksel değerler; Denklem (7.22)-(7.23)'de verilmiştir.

$$SSR = \sum_{m=1}^{N_d} (C_m^{obs} - C_m^{cal})^2 \tag{7.22}$$

$$\delta^2 \approx s^2 = \frac{(SSR)_{min}}{(m-p)} \tag{7.23}$$

Denklem (7.22) ve (7.23)'da;

m : gözlem sayısı

N_d : toplam deney sayısı

p : parametre sayısı ve

δ: standart sapma

olarak tanımlanmıştır.

8
ARAŞTIRMA BULGULARI

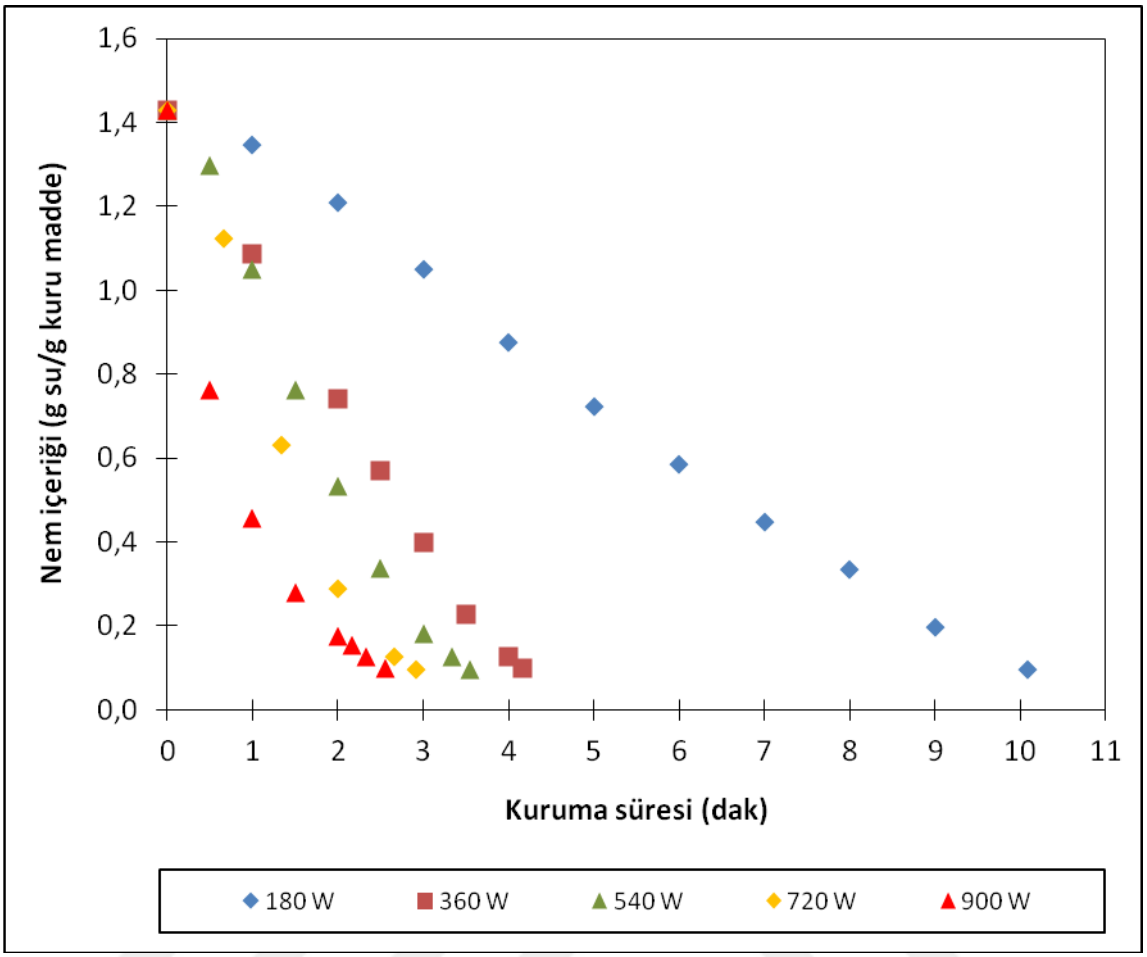
8.1 Mikrodalga Çıkış Gücünün Güvem Eriği Kabuklarının Kurutulması Üzerindeki Etkisi

8.1.1 Mikrodalga Çıkış Gücünün Güvem Eriği Kabuklarının Kuruma Kinetiği Üzerindeki Etkisi

8.1.1.1 Nem içeriği değişimi

Mikrodalga çıkış gücünün güvem eriği kabuk numunesinin nem içeriği üzerindeki etkisini incelemek için; 180, 360, 540, 720 ve 900 W mikrodalga çıkış güçlerinde 20 g ağırlığındaki güvem eriği kabuk numunesi kurutulmuştur. Çalışmada kullanılan taze güvem eriği kabuk numunesinin ortalama toplam nem değeri M_0 = 1.43 g su/g kuru madde olarak bulunmuştur.

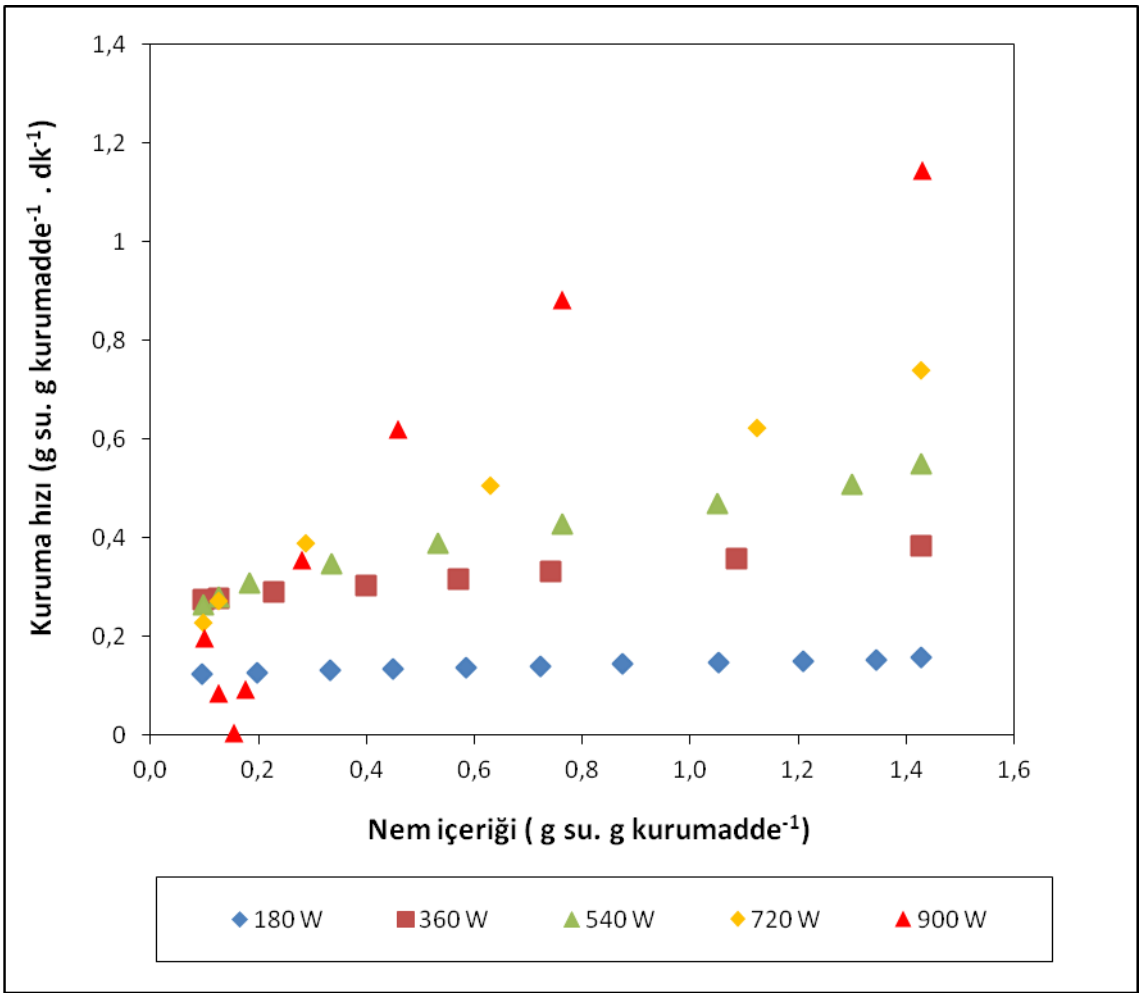
Nem içeriği değişimine ait elde edilen değerler Ek A, Tablo A.1-A.5'te sırası ile verilmiş ve Şekil 8.1'de grafiksel olarak sunulmuştur. Yapılan deneyler sonucunda mikrodalga çıkış gücü arttırıldığında 20 g güvem eriği kabuk numunesi için kuruma sürelerinin azaldığı görülmüştür. Şekil 8.1 incelendiğinde 180 W mikrodalga çıkış gücü için güvem eriği kabuk numunesinin nem içeriğinin 1.43 g su/g kuru madde değerinden 0.1 g su/g kuru madde değerine düşmesi 10.083 dakika sürerken, 900 W mikrodalga çıkış gücü için sadece 2.55 dakika sürmüştür.



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

8.1.1.2 Kuruma hızı değişimi

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



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

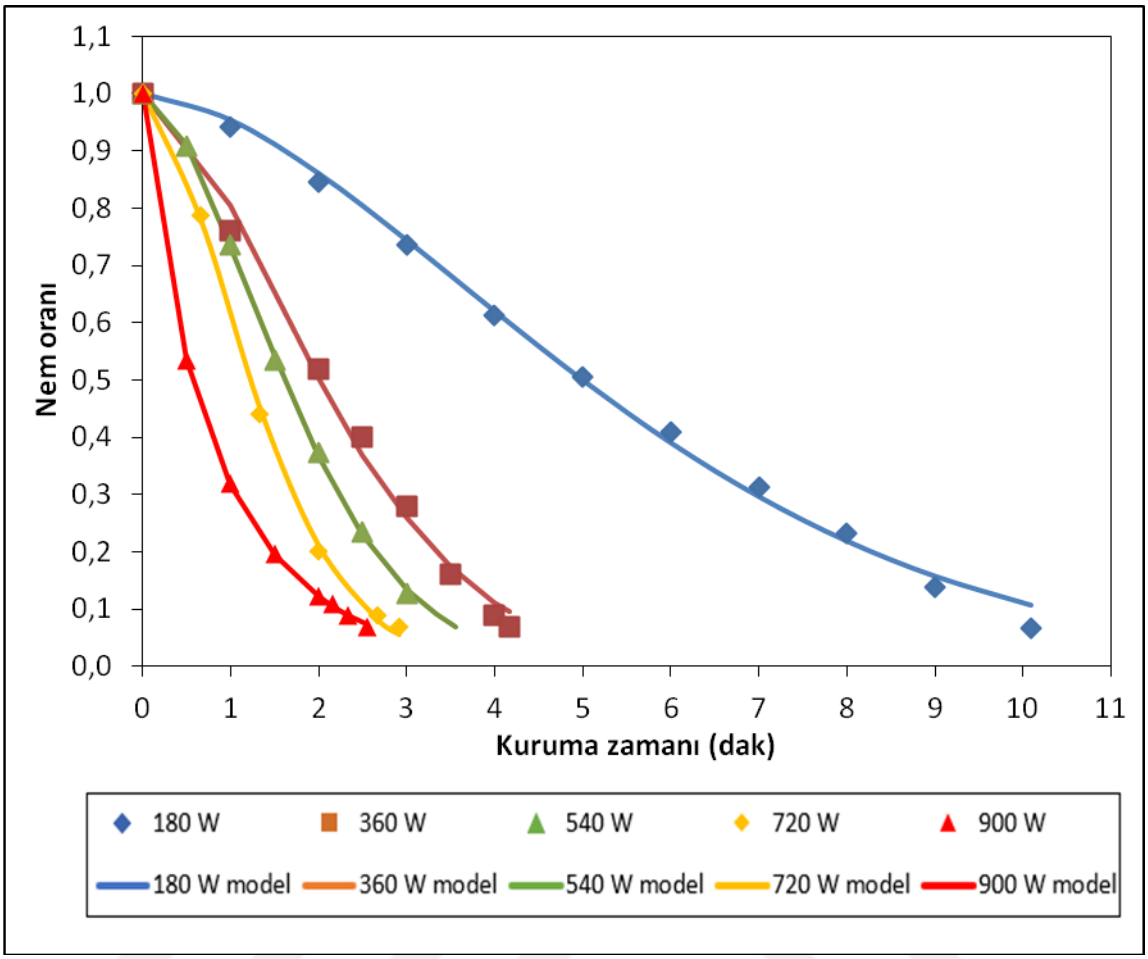
8.1.1.3 Kuruma kinetiğine ait model çalışmaları

Mikrodalga tekniği kullanılarak 20 g güvem eriği numunesi beş farklı mikrodalga çıkış gücünde (180, 360, 540, 720 ve 900 W) kurutulmuştur. Bulunan nem oranı değerlerinin kuruma süresine bağlı olarak değişimini içeren deneysel veriler dört farklı ince tabaka kurutma model denklemi kullanılarak modellenmiştir. Bu matematiksel model denklemlerine ait istatistiksel veriler Tablo 8.1'de verilmiştir. Tablo 8.1'de verilen istatistiksel veriler (R^2 ve standart sapma, δ) incelendiğinde; Page Model denkleminin güvem eriği kabuk numunesinin kuruma kinetiğine uyan en iyi model olduğu bulunmuştur. Elde edilen deneysel değerler ile teorik değerler Şekil 8.3'de; istatistiksel verilerle matematiksel model sabitleri Tablo 8.2'de sunulurken, . Page Model denklemine ait kinetik hız sabiti (k); mikrodalga çıkış gücü 180 W değerinden 900 W

değerine arttığında, 0.0475 dak^{-1} değerinden 1.1467 dak^{-1} değerine artmıştır. Bu da; yüksek mikrodalga çıkış gücünde daha yüksek sıcaklık değerlerine ulaşılması ile kurumanın daha kısa sürdüğünü göstermektedir.

Tablo 8. 1 Farklı mikrodalga çıkış güçlerinde kurutulan güvem eriği kabuk 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 $MR = \exp(-k.t^n)$	180	0.9984	0.0019
	360	0.9966	0.0296
	540	0.9999	0.0048
	720	0.9997	0.0111
	900	0.9999	0.0027
Henderson ve Pabis Model $MR = A.\exp(-k.t)$	180	0.974	0.0773
	360	0.9730	0.0833
	540	0.9747	0.0860
	720	0.9780	0.0905
	900	0.9984	0.0194
Lewis Model $MR = \exp(-k.t)$	180	0.9637	0.0868
	360	0.9699	0.0815
	540	0.9662	0.0927
	720	0.9746	0.0870
	900	0.9982	0.0191
Logaritmik Model $MR = A.\exp(-k.t) + B$	180	0.9985	0.0201
	360	0.9992	0.0162
	540	0.9953	0.0403
	720	0.9931	0.0586
	900	0.9996	0.0108



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

Tablo 8. 2 Farklı mikrodalga çıkış güçlerinde kurutulan güvem eriği kabuk 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)

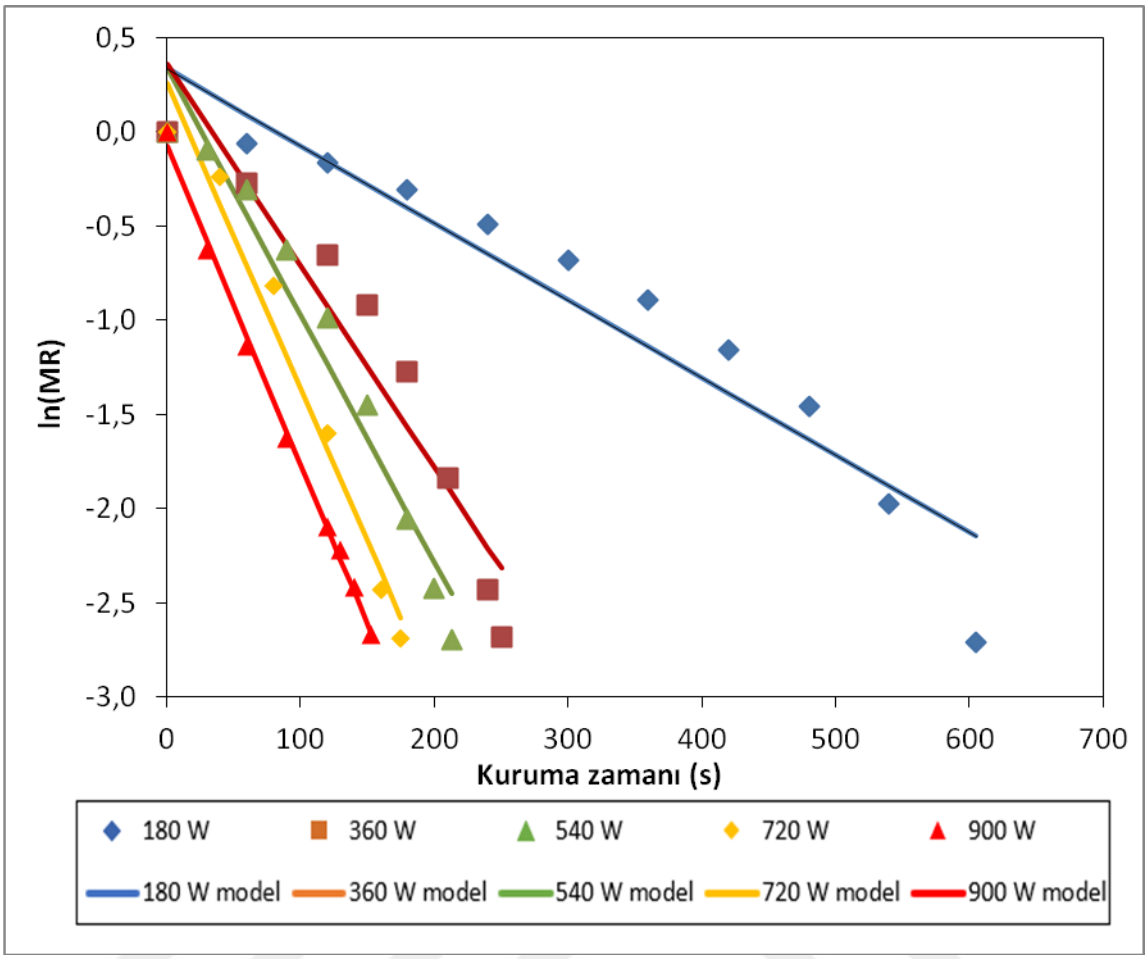
Mikrodalga Çıkış Gücü (W)	k (dak^{-1})	n (birimsiz)	R^2	δ
180	0.0475	1.6682	0.9984	0.0019
360	0.2154	1.6727	0.9966	0.0296
540	0.3084	1.7048	0.9999	0.0048
720	0.4966	1.6520	0.9997	0.0111
900	1.1467	0.8756	0.9999	0.0027

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. Güvem eriği kabuk 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 Tablo 8.3'te sunulmuştur. Tablo 8.3'de görüldüğü üzere mikrodalga çıkış gücü arttıkça Efektif Difüzivite Katsayısı 1.35 x 10^{-8} değerinden 5.56 x 10^{-8} 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.

Tablo 8. 3 Farklı mikrodalga çıkış güçlerinde kurutulan güvem eriği kabuk numunelerine ait hesaplanan Efektif Difüzivite Katsayısı değerleri ve istatistiksel veriler (Numune ağırlığı = 20 g)

Mikrodalga Çıkış Gücü (W)	D_{eff} x 10^8 (m^2/s)	R^2	δ
180	1.35	0.9526	0.2764
360	3.52	0.9563	0.3104
540	4.31	0.9786	0.2246
720	5.33	0.9867	0.2044
900	5.56	0.9988	0.0490



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

8.1.2 Mikrodalga Çıkış Gücünün Güvem Eriği Kabuklarının Renk Değişimi Üzerindeki Etkisi

Mikrodalga ile kurutma yöntemi kullanılarak 20 g güvem eriği kabuklarının zamana bağlı olarak renk değişimleri incelenmiştir. Deneysel veriler, farklı mikrodalga güçlerinde (180, 360, 540, 720 ve 900 W) 20 g güvem eriği kabuk numunesinin kurutulması ile elde edilmiştir. L, a, b ve Toplam Renk Değişimi (ΔE)'ye ait deneysel veriler Ek B, Tablo B.1-B.5'te sırası ile sunulmuştur.

Elde edilen deneysel veriler kullanılarak yapılan matematiksel modelleme çalışmaları sonucunda; a, b, Toplam Renk Değişimi (ΔE)'nin Sıfırıncı Dereceden Kinetik Modele (Denklem 7.16), diğer yandan L, Kroma (CV), Renk Açısı (HA) ve Kahverengileşme İndeksi (BI) değerlerinin Birinci Dereceden Kinetik Model ile (Denklem 7.17) uyumlu olduğu gözlemlenmiştir. Farklı mikrodalga çıkış

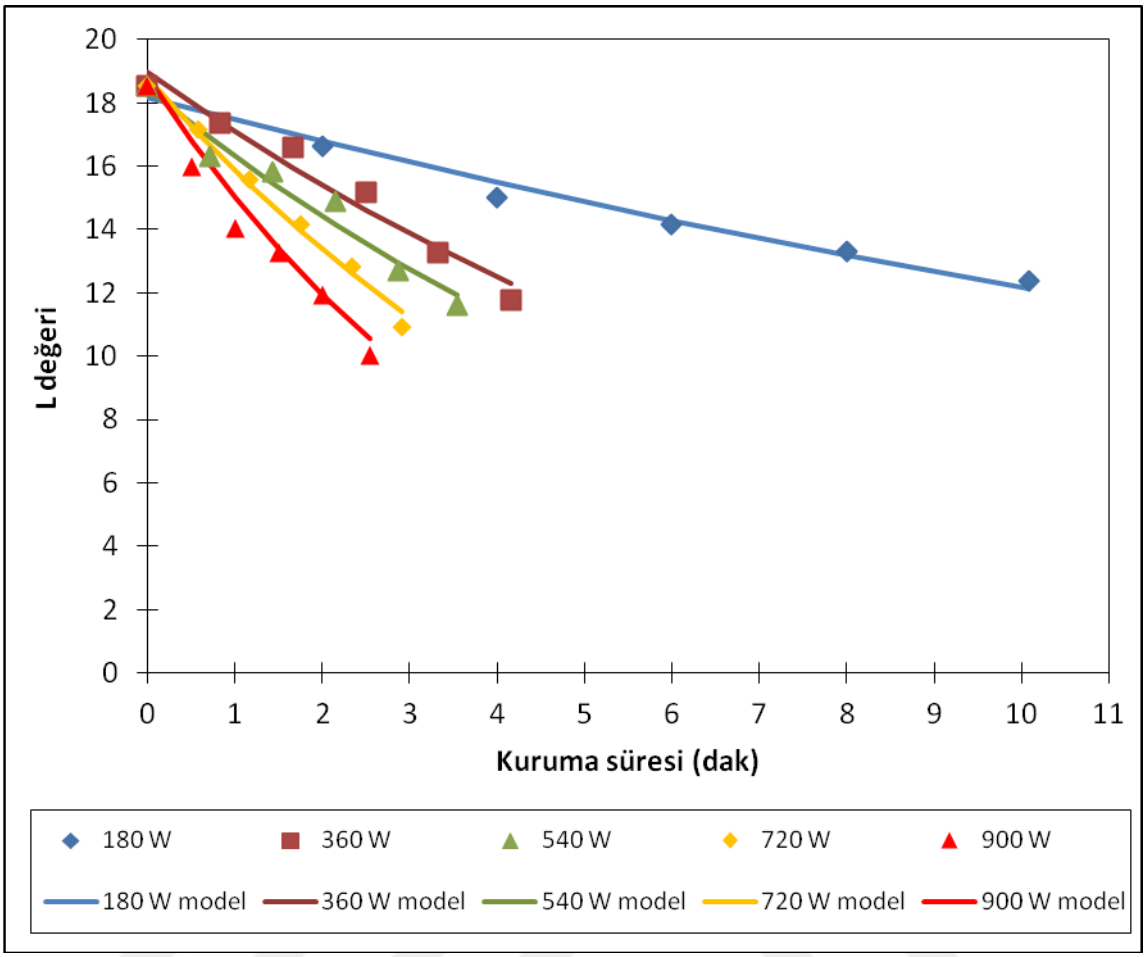
güçlerinde kurutulan numuneler için elde edilen L, a, b, Toplam Renk Değişimi (ΔE), Kroma (CV), Renk Açısı (HA) ve Kahverengileşme İndeksi (BI) değerleri Şekil 8.5-11'de; matematiksel model sabitleri ve istatistiksel veriler ise Tablo 8.4-10'da sunulmuştur.

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 Tablo 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 18.55 değerinden 12.36 değerine; mikrodalga çıkış gücü 900 W iken 18.55 değerinden 10.03 değerine düşmüştür. Deneysel veriler kullanılarak matematiksel modelleme çalışmaları yapılmış ve Birinci Dereceden Kinetik Model denklemine ait kinetik hız sabiti (k); mikrodalga çıkış gücü 180 W değerinden 900 W değerine arttığında, 0.0402 dak^{-1} değerinden 0.2277 dak^{-1} değerine arttmıştır. Bu da, gıdanın içinde meydana gelen yüksek sıcaklık ile termal bozunma reaksiyonlarının daha hızlı gerçekleştiğini göstermektedir [37].

Tablo 8. 4 Farklı mikrodalga çıkış güçlerinde kurutulan güvem eriği kabuk numunelerine ait kuruma süresine karşılık elde edilen L değerlerine uyan Birinci 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	0.0402	18.178	0.9905	0.3496
360	0.1041	18.972	0.9818	0.5462
540	0.1234	18.465	0.9815	0.5385
720	0.1717	18.824	0.9943	0.3365
900	0.2277	18.840	0.9927	0.4058

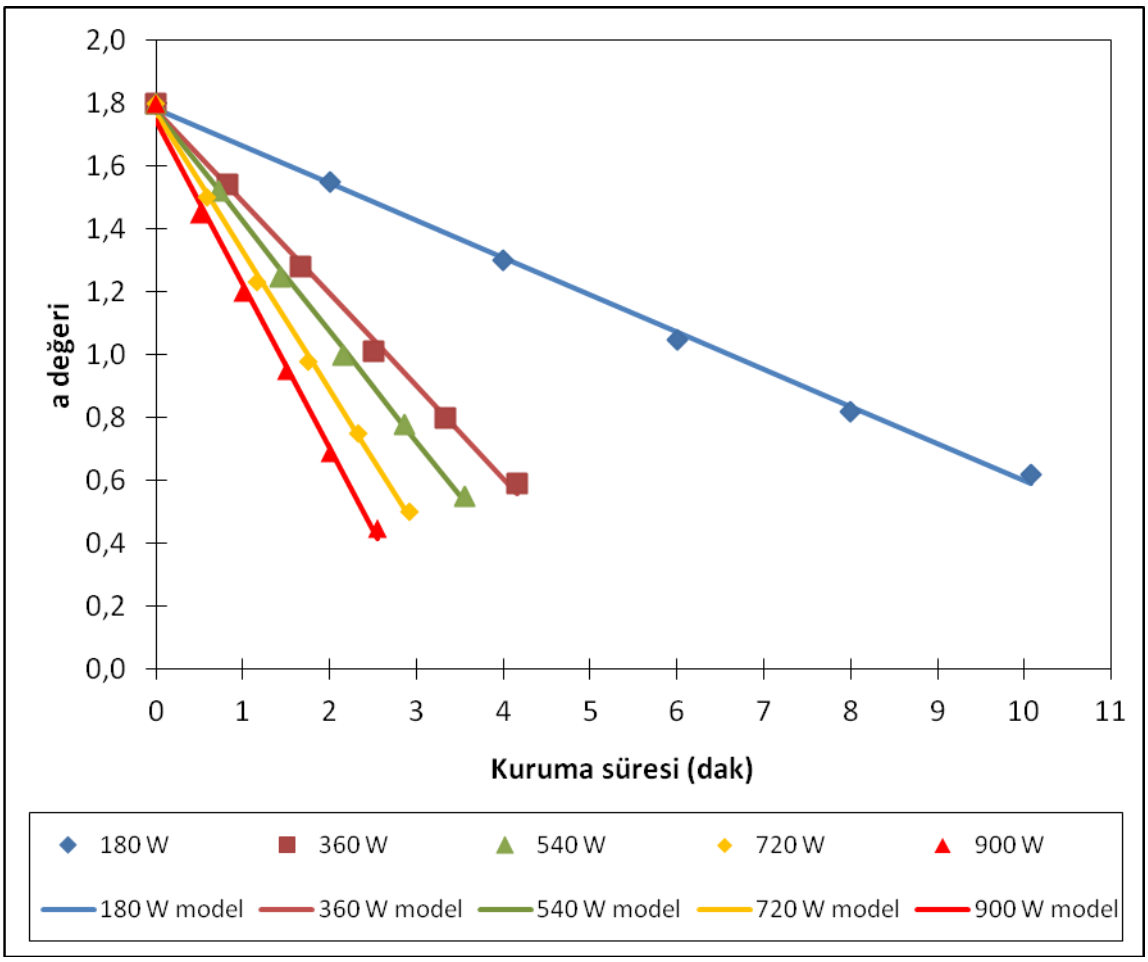


Şekil 8.5 Farklı mikrodalga çıkış güçlerinde kurutulan güvem eriği kabuk numunelerine ait L değerlerinin kuruma süresi ile değişimi (Numune ağırlığı=20 g)

a değeri:

Farklı mikrodalga çıkış güçlerinde bulunan a değerlerinin kuruma süresiyle değişimi Şekil 8.6'da; matematiksel model sabitleri ve istatistiksel veriler Tablo 8.5'de sunulmuştur. Şekil 8.6'da görüldüğü üzere, a değeri kuruma süresi boyunca azalmıştır. Bu durum, gıdanın renginin kahverengiye çalan kırmızıya dönmeye başladığının bir ölçütüdür. a değeri mikrodalga çıkış gücü 180 W iken 1.80 değerinden 0.62 değerine; mikrodalga çıkış gücü 900 W iken 1.80 değerinden 0.45 değerine azalmıştır. Deneysel veriler kullanılarak matematiksel modelleme çalışmaları ypılmış ve Sıfırıncı Dereceden Kinetik Model denklemine ait kinetik hız sabiti (k); mikrodalga çıkış gücü 180 W değerinden 900 W değerine arttığında, 0.1184 dak^{-1} değerinden 0.5224 dak^{-1} değerine artmıştır.

Lopez vd. [94] yaptıkları çalışmada belirttikleri gibi bu artışın sebebi gıdanın içerisinde yüksek sıcaklıkta meydana gelen kahverengi pigmentlerin artmasıdır.



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

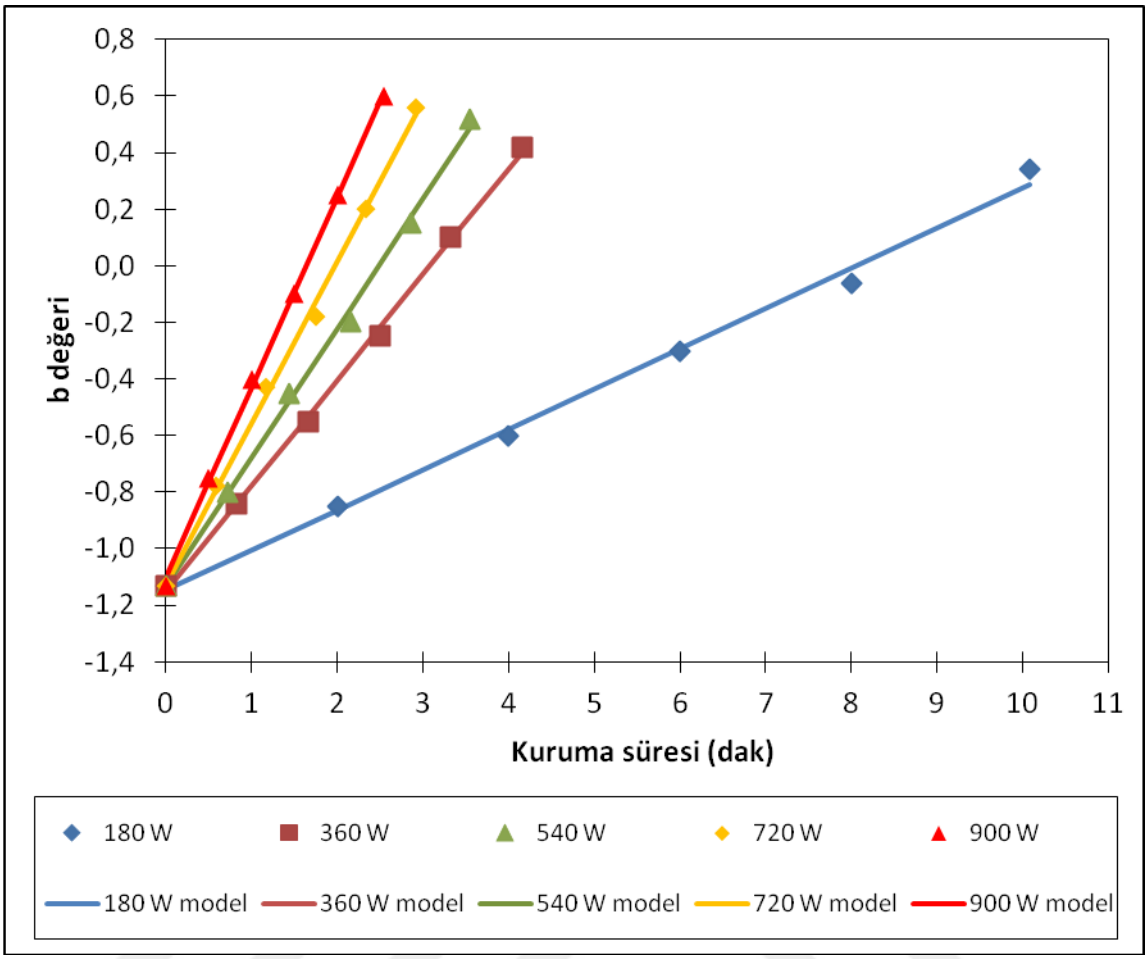
Tablo 8.5 Farklı mikrodalga çıkış güçlerinde kurutulan güvem eriği kabuk numunelerine ait kuruma süresine karşılık elde edilen a değerlerine uyan Sıfırıncı Dereceden Kinetik Model denklemi kullanılarak hesaplanan model sabitleri ve istatistiksel veriler (Numune ağırlığı = 20 g)

Mikrodalga Çıkış Gücü (W)	k (dak^{-1})	C_0 (birimsiz)	R^2	δ
180	0.1184	1.7837	0.9989	0.0229
360	0.2931	1.7796	0.9986	0.0267
540	0.3500	1.7752	0.9990	0.0228

720	0.4408	1.7695	0.9990	0.0244
900	0.5224	1.7474	0.9975	0.0396

b değeri:

Farklı mikrodalga çıkış güçlerinde bulunan b değerlerinin kuruma süresiyle değişimi Şekil 8.7'de; matematiksel model sabitleri ve istatistiksel veriler ise Tablo 8.6'da sunulmuştur. Şekil 8.7'de görüldüğü üzere, b değeri kuruma süresi boyunca artmıştır. b değeri mikrodalga çıkış gücü 180 W iken -1.13 değerinden 0.34 değerine; mikrodalga çıkış gücü 900 W iken -1.13 değerinden 0.60 değerine artmıştır. Deneysel veriler kullanılarak matematiksel modelleme yapılmış ve Sıfırıncı Dereceden Kinetik Model denklemine ait kinetik hız sabiti (k); mikrodalga çıkış gücü 180 W değerinden 900 W değerine arttığında, 0.1424 dak^{-1} değerinden 0.6731 dak^{-1} değerine artmıştır. Bu da, gıdanın içinde meydana gelen yüksek sıcaklık sebebi ile antosiyanin pigmentlerinin bozunma reaksiyonlarının daha hızlı meydana geldiğini göstermektedir [95].



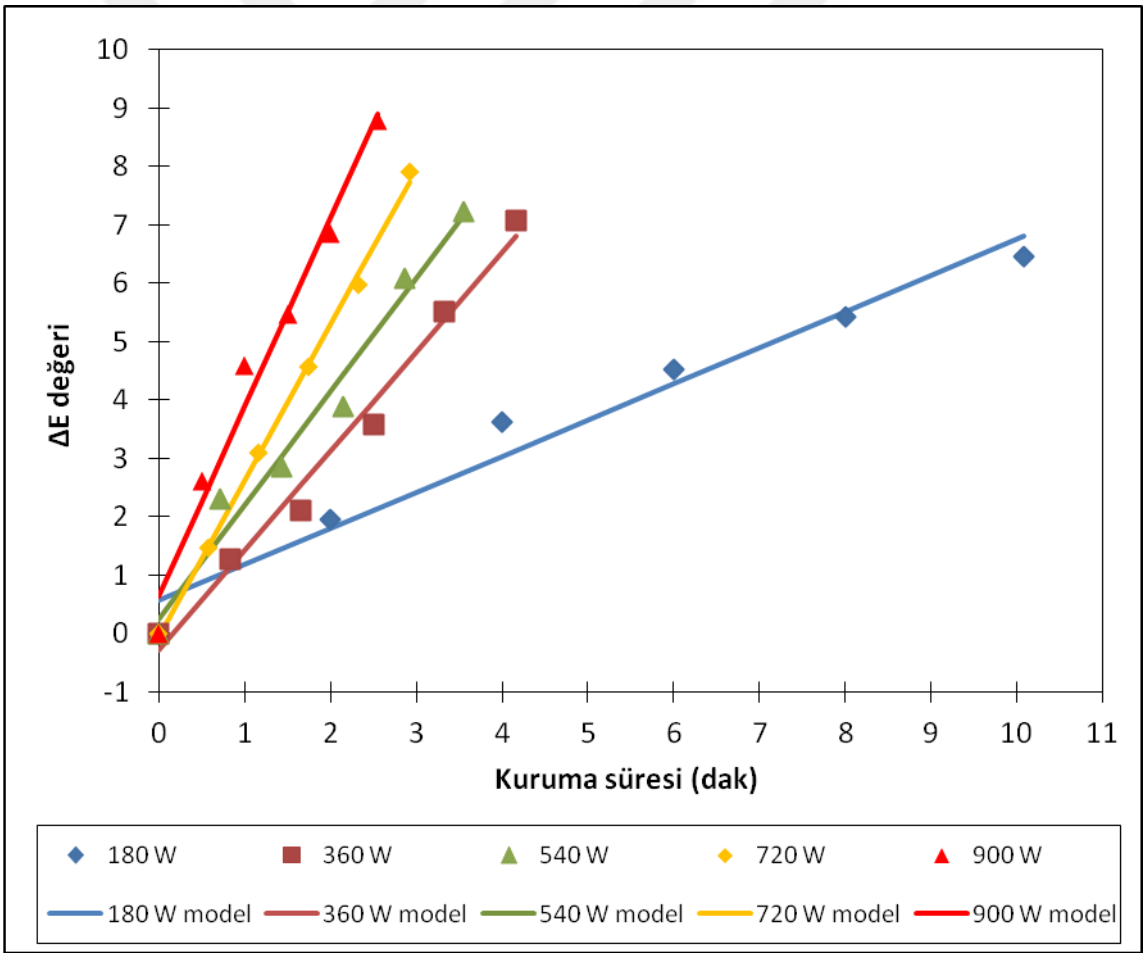
Şekil 8.7 Farklı mikrodalga çıkış güçlerinde kurutulan güvem eriği kabuk numunelerine ait b değerlerinin kuruma süresi ile değişimi (Numune ağırlığı=20 g)

Tablo 8.6 Farklı mikrodalga çıkış güçlerinde kurutulan güvem eriği kabuk 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	0.1424	-1.1471	0.9978	0.0398
360	0.3730	-1.1509	0.9993	0.0235
540	0.4554	-1.1317	0.9987	0.0351
720	0.5701	-1.1248	0.9989	0.0331
900	0.6731	-1.1020	0.9995	0.0232

Toplam Renk Değişimi (ΔE) değeri:

Toplam Renk Değişimi (ΔE) değerleri, Denklem 7.6 kullanılarak hesaplanmıştır. Toplam Renk Değişimi (ΔE) değerlerinin kuruma süresiyle değişimi Şekil 8.8'de; matematiksel model sabitleri ve istatistiksel veriler ise Tablo 8.7'de verilmiştir. Toplam Renk Değişimi (ΔE) değerleri, mikrodalga çıkış gücü 180 W iken 6.4675 değerinden; mikrodalga çıkış gücü 900 W iken; 8.7981 değerine yükselmiştir. Deneysel veriler kullanılarak matematiksel modelleme yapılmış ve çalışmaları Sıfırıncı Dereceden Kinetik Model denklemine ait kinetik hız sabiti (k); mikrodalga çıkış gücü 180 W değerinden 900 W değerine arttığında, 0.6195 dak^{-1} değerinden 3.2413 dak^{-1} değerine artmıştır.



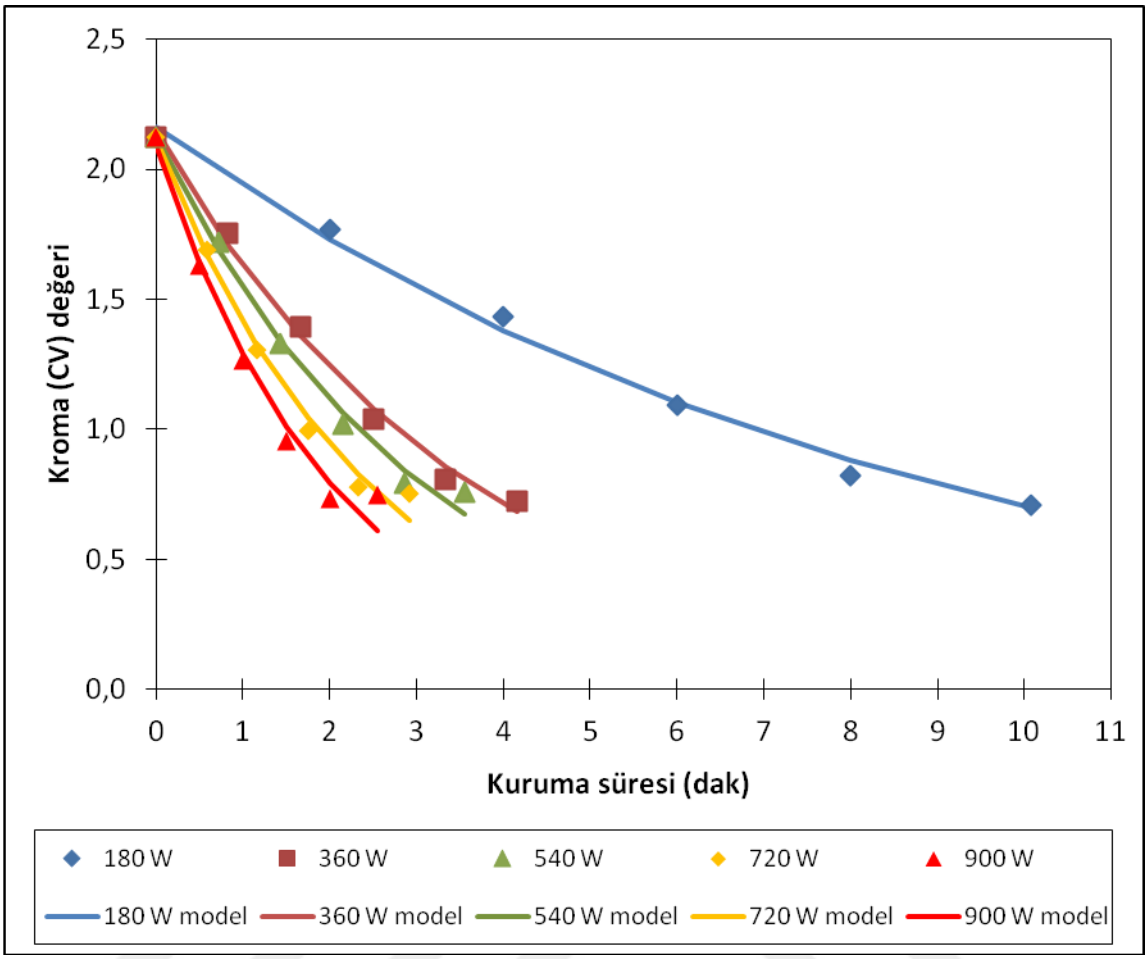
Şekil 8.8 Farklı mikrodalga çıkış güçlerinde kurutulan güvem eriği kabuk numunelerine ait Toplam Renk Değişimi (ΔE) değerlerinin kuruma süresi ile değişimi (Numune ağırlığı = 20 g)

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

Mikrodalga Çıkış Gücü (W)	k (dak^{-1})	R^2	δ
180	0.6195	0.9842	0.4686
360	1.7041	0.9926	0.3636
540	1.9472	0.9870	0.4722
720	2.6729	0.9990	0.1465
900	3.2413	0.9881	0.5343

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 Tablo 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 2.1253 değerinden 0.7071 değerine; mikrodalga çıkış gücü 900 W iken 2.1253 değerinden 0.75 değerine azalmıştır. Deneysel veriler kullanılarak matematiksel modelleme yapılmış ve Birinci Dereceden Kinetik Model denklemine ait kinetik hız sabiti (k); mikrodalga çıkış gücü 180 W değerinden 900 W değerine arttığında, 0.1123 dak^{-1} değerinden 0.4849 dak^{-1} değerine artmıştır.



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

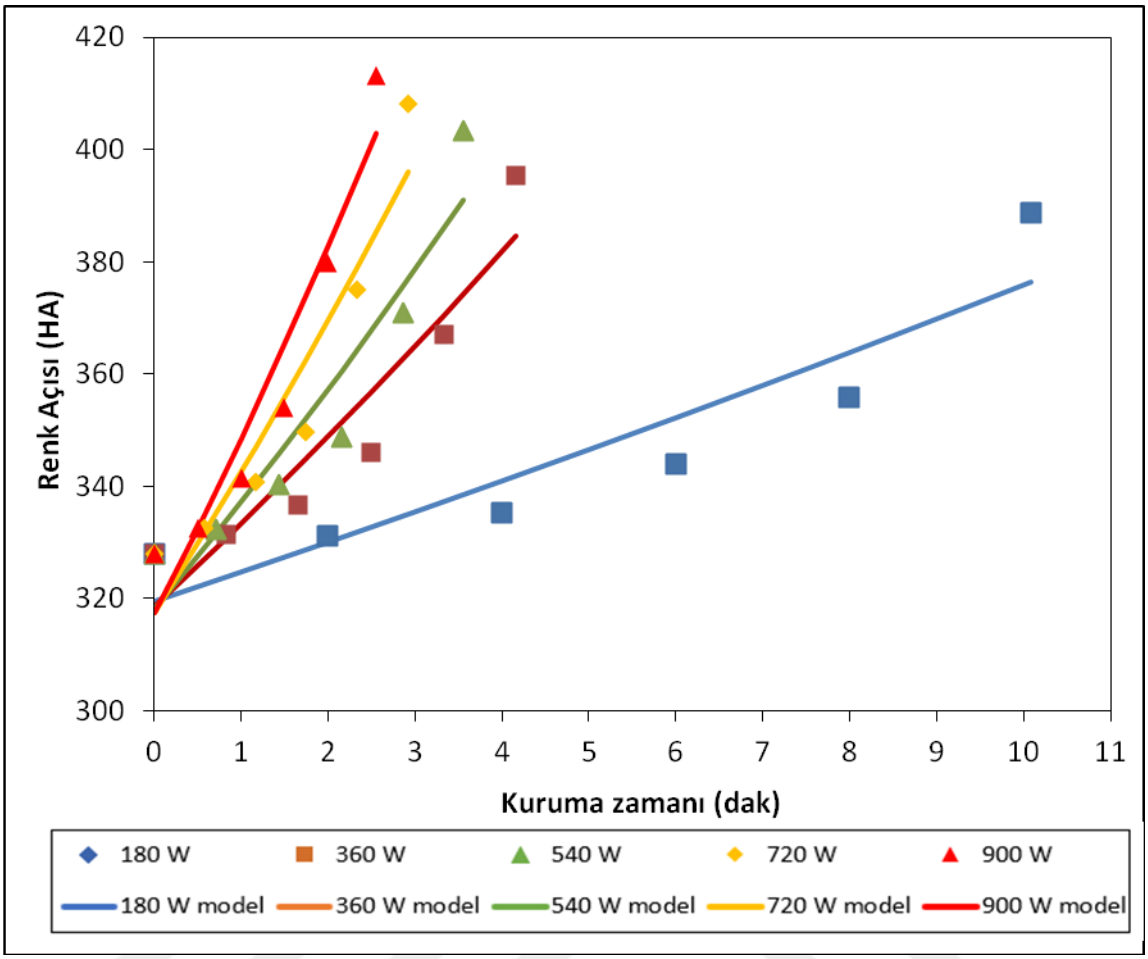
Tablo 8.8 Farklı mikrodalga çıkış güçlerinde kurutulan güvem eriği kabuk numunelerine ait kuruma süresine karşılık elde edilen Kroma (CV) değerlerine uyan Birinci Dereceden Kinetik Model denklemi kullanılarak hesaplanan model sabitleri ve istatistiksel veriler (Numune ağırlığı = 20 g)

Mikrodalga Çıkış Gücü (W)	k (dak^{-1})	C_0 (birimsiz)	R^2	δ
180	0.1123	2.1632	0.9970	0.0483
360	0.2762	2.1527	0.9969	0.0488
540	0.3234	2.1282	0.9960	0.0542
720	0.4042	2.1170	0.9949	0.0616
900	0.4849	2.0936	0.9905	0.0846

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 Tablo 8.9'da verilmiştir. Şekil 8.10 incelendiğinde; Renk Açısı (HA) değerlerinin kuruma süresine bağlı olarak arttığı görülmüştür. Renk Açısı (HA) değerleri mikrodalga çıkış gücü 180 W iken 327.88 değerinden 388.74 değerine; mikrodalga çıkış gücü 900 W iken 327.88 değerinden 413.13 değerine artmıştır. Bu değerlere göre güvem eriği kabuklarının kırmızı-turuncu renk skalasında olduğunu göstermektedir [96].

Deneysel veriler kullanılarak matematiksel modelleme çalışmaları yapılmış ve Birinci Dereceden Kinetik Model denklemine ait kinetik hız sabiti (k); mikrodalga çıkış gücü 180 W değerinden 900 W değerine arttığında, 0.0162 dak^{-1} değerinden 0.0757 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.



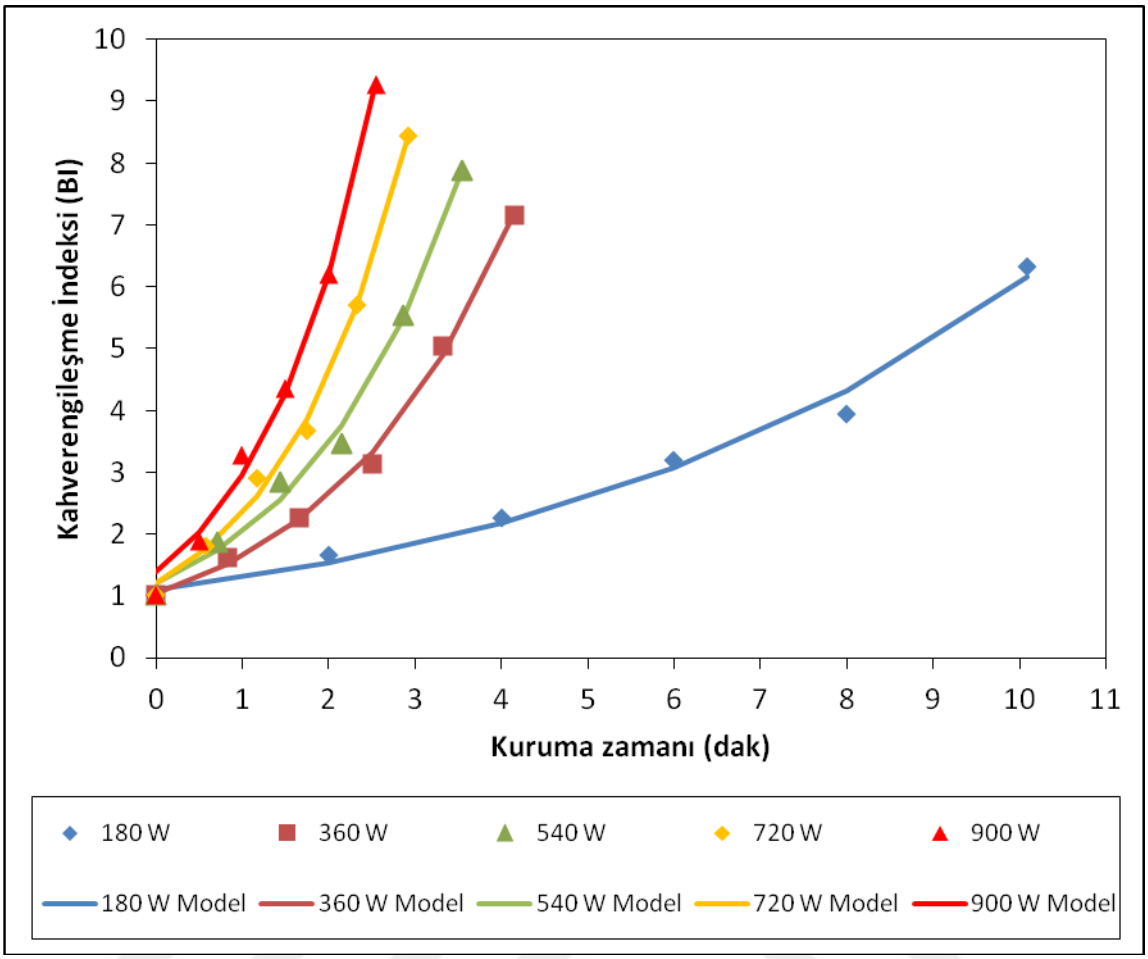
Şekil 8.10 Farklı mikrodalga çıkış güçlerinde kurutulan güvem eriği kabuk numunelerine ait Renk Açısı (HA) değerlerinin kuruma süresi ile değişimi (Numune ağırlığı = 20 g)

Tablo 8.9 Farklı mikrodalga çıkış güçlerinde kurutulan güvem eriği kabuk numunelerine ait kuruma süresine karşılık elde edilen Renk Açısı (HA) değerlerine uyan Birinci 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	0.0162	319.62	0.9217	9.8549
360	0.0453	318.54	0.9431	9.6668
540	0.0580	318.24	0.9445	10.5139
720	0.0757	317.53	0.9479	10.9279
900	0.0935	317.36	0.9623	9.9558

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 Tablo 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 1.0089 değerinden 6.3215 değerine; mikrodalga çıkış gücü 900 W iken 1.0089 değerinden 9.2696 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[97].



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

Tablo 8.10 Farklı mikrodalga çıkış güçlerinde kurutulan güvem eriği kabuk numunelerine ait kuruma süresine karşılık elde edilen Kahverengileşme İndeksi (BI) değerlerine uyan Birinci 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	0.1713	1.0964	0.9941	0.2307
360	0.4665	1.0341	0.9987	0.1329
540	0.5308	1.1968	0.9968	0.2266
720	0.6691	1.1981	0.9979	0.1999
900	0.7450	1.3963	0.9968	0.2715

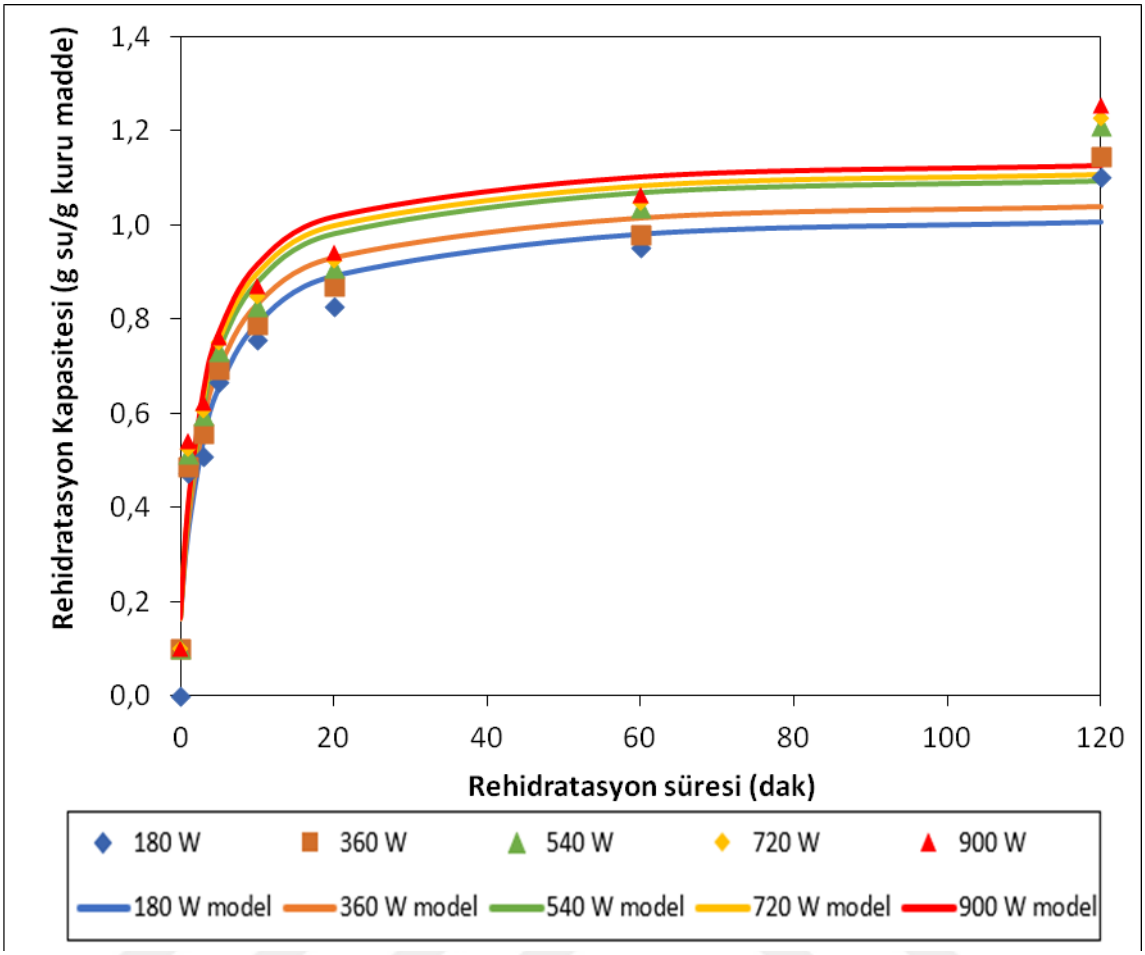
Deneysel veriler kullanılarak matematiksel modelleme çalışmaları yapılmış ve Birinci Dereceden Kinetik Model denklemine ait kinetik hız sabiti (k); mikrodalga çıkış gücü 180 W değerinden 900 W değerine arttığında, 0.1713 dak^{-1} değerinden 0.7450 dak^{-1} değerine ulaşmıştır.

8.1.3 Mikrodalga Çıkış Gücünün Güvem Eriği Kabuklarının Rehidratasyon Kapasitesi Üzerindeki Etkisi

Mikrodalga ile kurutma yöntemi kullanılarak 20 g güvem eriği kabuk 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 C Tablo C.1-C.5'te sırası ile sunulmuştur. Rehidratasyon kapasitesi değerlerinin rehidratasyonu süresi ile değişimini içeren deneysel değerler üç rehidatasyon model denklemi kullanılarak modellenmiştir. Matematiksel model denklemlerine ait istatistiksel veriler Tablo 8.11'de verilmiştir. Tablo 8.11'de verilen istatistiksel veriler incelendiğinde; Peleg Model denkleminin güvem eriği kabuklarının 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 Tablo 8.12'de sunulmuştur.

Tablo 8.11 Farklı mikrodalga çıkış güçlerinde kurutulan güvem eriği kabuk 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 $M_t = M_0 + \frac{t}{k_1 + k_2 t}$	180	0.9717	0.0876
	360	0.9745	0.0863
	540	0.9728	0.0943
	720	0.9730	0.0951
	900	0.9715	0.0997
Birinci Dereceden Rehidratasyon Kinetik Modeli $M_t = M_e + (M_0 - M_e)\exp(-k_{R1}t)$	180	0.9474	0.1186
	360	0.9492	0.1211
	540	0.9456	0.1323
	720	0.9461	0.1335
	900	0.9441	0.1386
Eksponansiyel Assosiasyon Modeli $M_t = M_e[1 - \exp(-k_{R2}t)]$	180	0.9038	0.1448
	360	0.9110	0.1448
	540	0.9094	0.1544
	720	0.9118	0.1546
	900	0.9099	0.1592



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

Tablo 8.12 Farklı mikrodalga çıkış güçlerinde kurutulan güvem eriği kabuk 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	4.5346	1.1545	0.9717	0.0876
360	3.8599	1.1075	0.9745	0.0863
540	3.5587	1.0489	0.9728	0.0943
720	3.3223	1.0332	0.9730	0.0951
900	3.1880	1.0146	0.9715	0.0997

* 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 güvem eriği kabuklarının absorplayabildiği su miktarı, kurutulmadan önceki sahip olduğu su miktarının %87.8'i kadardır. Bu durum; kurutma ve rehidratasyon aşamalarında numunelerin yapılarında bazı değişikliklerin ya da dokusal farklılıklarının meydana geldiğini göstermektedir [98].

8.1.4 Mikrodalga Çıkış Gücünün Güvem Eriği Kabuk Numunesinin Antosiyanin Kayıpları Üzerindeki Etkisi

Mikrodalga tekniği kullanılarak 20'şer gram güvem eriği kabuk numuneleri beş farklı mikrodalga çıkış gücünde, 180, 360, 540, 720, 900W, belirli nem içeriğine kadar kurutulduktan sonra pH diferansiyel metodu kullanılarak toplam monomerik antosiyanin miktarı (siyanidin-3-glukozit) hesaplanmıştır. Elde edilen değerler Tablo 8.13'de verilmiştir.

Tablo 8.13 Farklı mikrodalga çıkış güçlerinde güvem eriği kabuk numunesine ait siyanidin-3-glukozit değerinin değişimi (Numune ağırlığı=20 g)

Mikrodalga çıkış gücü (W)	mg siyanidin-3-glukozit/ g KM	% Kayıp
180	2.465	47.15
360	2.284	51.03
540	2.137	54.18
720	2.101	54.95
900	2.024	56.60

* Yaş numunedeki antosiyanin miktarı: 4.664 mg/1 g kuru madde bazında

Mikrodalga ile kurutma sonucunda güvem eriği kabuk numunelerindeki antosiyanin miktarında önemli miktarada azalma gerçekleşmiştir. Yüksek sıcaklıklar antosiyanin bileşiklerinin kararlılıklarını önemli ölçüde etkilemektedir. Sıcaklık artışıyla birlikte antosiyaninlerin bozunma hızı da artmaktadır [95]. Mikrodalga çıkış gücü arttıkça siyanidin-3-glukozit miktarında azalma meydana gelmiştir. Lohachoompol vd. [99] yaptıkları çalışmada bir

orman meyvesi olan böğürtlenin kurutma sonrasında %41 oranında, ön işlem yapılmış halinin ise kurutma sonrasında %49 oranında antosiyanin kaybına uğradığını hesaplamıştır.

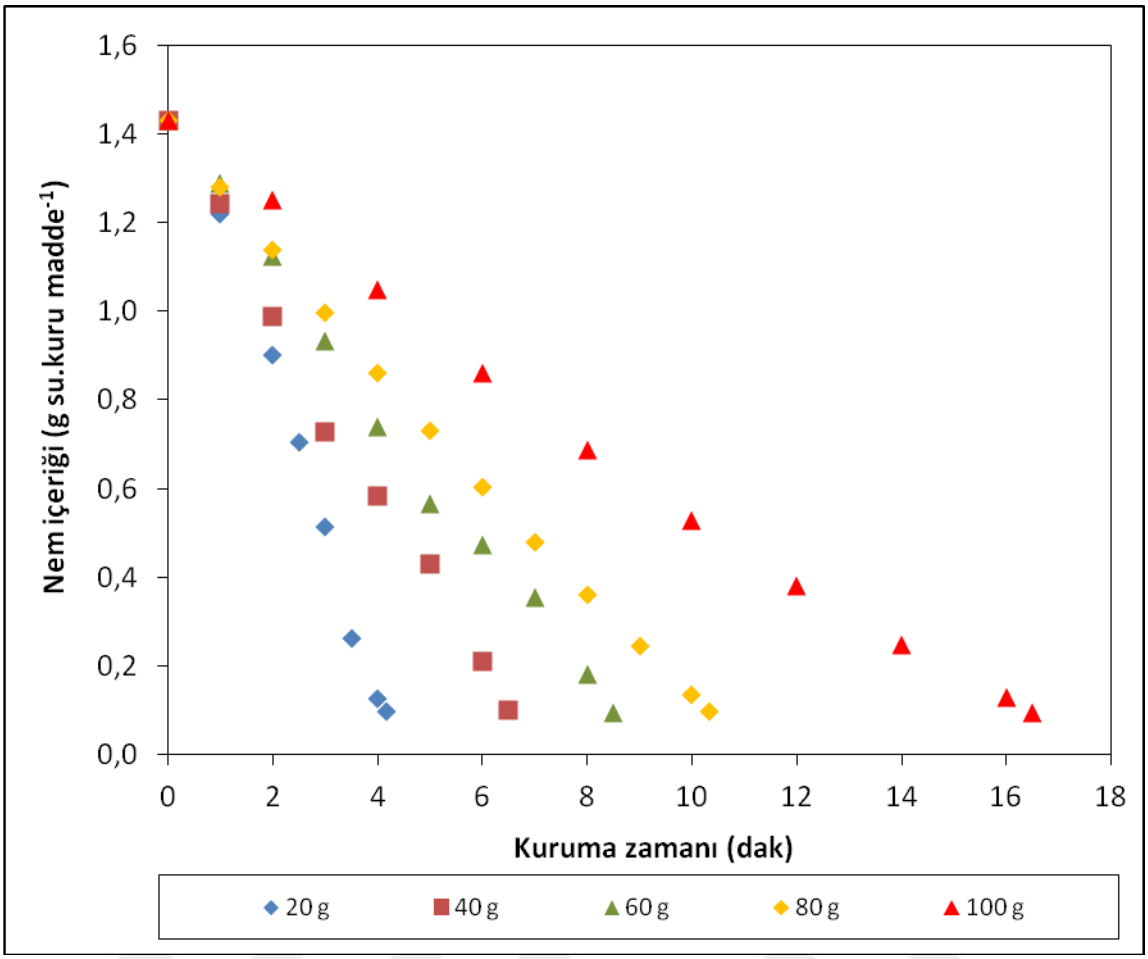
8.2 Sabit Mikrodalga Çıkış Gücünde Kurutulan Güvem Eriği Kabuk Numunesinin Ağırlığının Kuruma Üzerindeki Etkisi

8.2.1 Güvem Eriği Kabuklarının 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 güvem eriği kabuk numuneleri ile yapılan kurutma işlemi sonucunda elde edilen numunelerin nem içeriği değerleri Ek D Tablo D.1-D.5'te verilirken; Şekil 8.13'de grafiksel olarak gösterilmiştir. Güvem eriği kabuk numunelerinin başlangıç nem içeriği M_0 = 1.43 g su/g kuru madde olarak bulunmuştur.

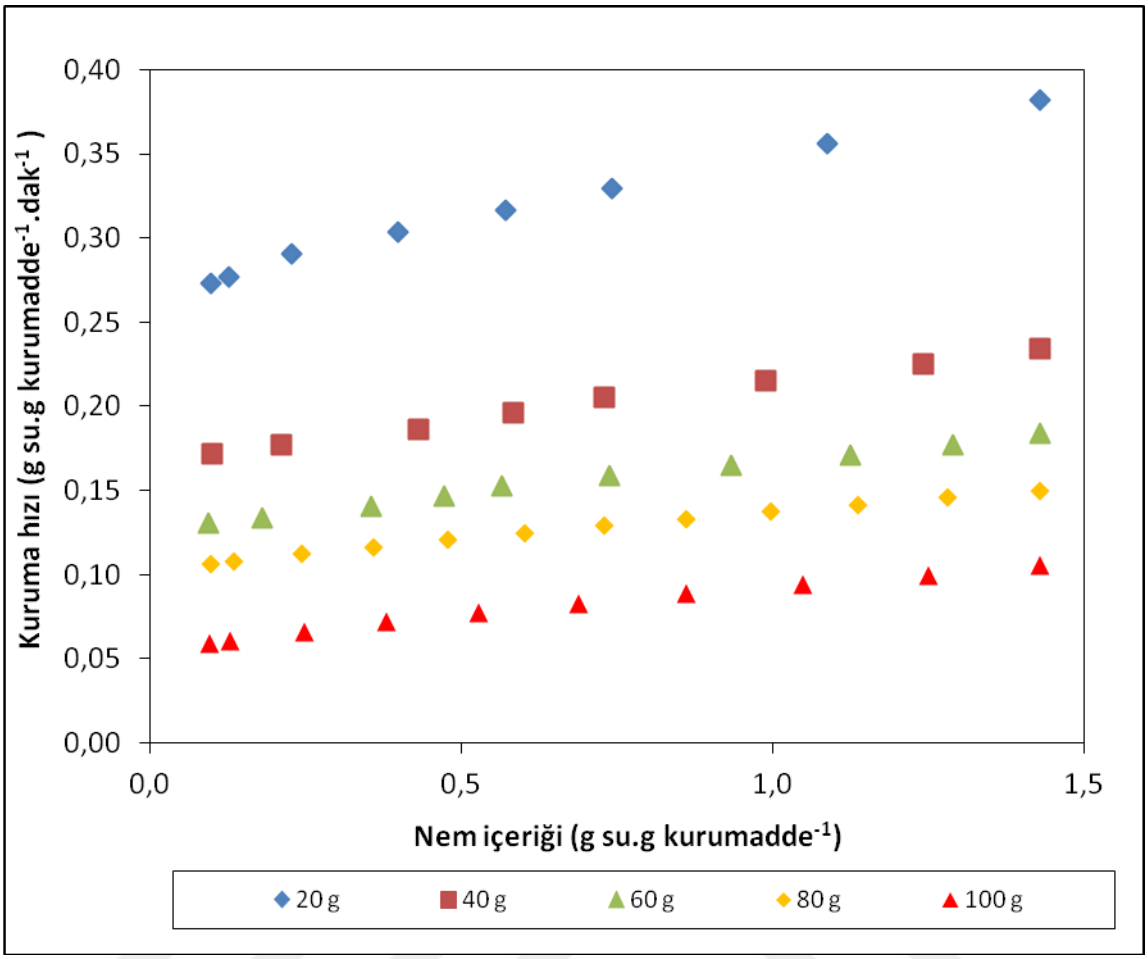
Yapılan deneyler sonucunda, kurutulan güvem eriği kabuklarının ağırlığı arttırıldığında kuruma sürelerinin arttığı gözlemlenmiştir. Nem içeriğinin 1.43 g su/g kuru madde değerinden 0.1 g su/g kuru madde değerine düşmesi için gerekli olan sürenin 20 g numune için 4.17 dakika iken, 100 g numune için bu sürenin 16.5 dakika olduğu tespit edilmiştir (kuruma süresi 3.96 katı kadar artmıştır). 100 g numune ağırlığı yerine 20 g numune ağırlığı kullanıldığında kuruma süresinin (16.5 dakikadan 4.17 dakikaya düştüğü) %74.73 azaldığı gözlemlenmiştir.



Şekil 8.13 Farklı ağırlıklarda kurutulan güvem eriği kabuk 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 güvem eriği kabuklarının 360 W sabit mikrodalga çıkış gücünde kurutulmuştur. Kurutulan güvem eriği kabuklarına ait kuruma hız değerleri Şekil 8.14'te verilmiştir. Şekil 8.14 incelendiğinde, güvem eriği kabuk numunesinin kurutulması sırasında azalan hızda kuruma periyodu gözlemlenmiştir. Bu periyod süresince, kuruma hızı değerleri 20 g güvem eriği kabuk numunesi için kuruma hızı 0.38 g su/g kuru madde.dak değerinden 0.27 g su/g kuru madde.dak değerine; 100 g güvem eriği kabuk numunesi için ise 0.11 g su/g kuru madde.dak değerinden 0.06 g su/g kuru madde.dak değerine azalmıştır.



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

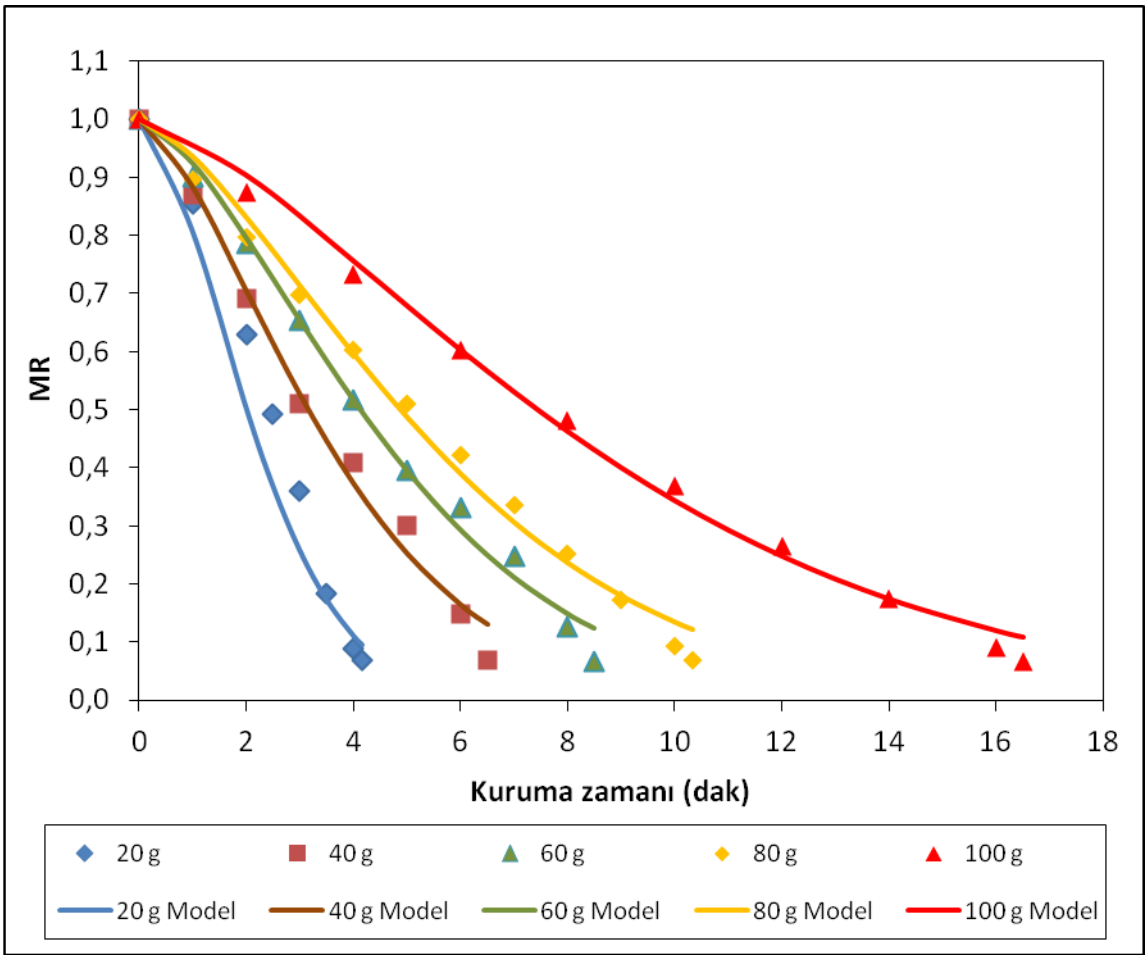
8.2.1.3 Kuruma kinetiğine ait model çalışmaları

Mikrodalga yöntemi kullanılarak 360 W sabit mikrodalga çıkış gücünde kurutulan; 20, 40, 60, 80 ve 100 g güvem eriği kabuk numunelerinin kurutulması esnasında kaydedilen nem oranı değerlerinin kuruma süresiyle değişimini içeren deneysel değerler, dört farklı ince tabaka kurutma model denklemi ile modellenmiştir. Matematiksel modellere ait istatistiksel veriler Tablo 8.14'te verilmiştir. Elde edilen verilerden; yüksek R^2 ve düşük standart sapma (δ) değerleri ile Page Model denkleminin güvem eriği kabuklarının kuruma kinetiğine uyan en iyi model olduğu bulunmuştur.

Tablo 8.14 Farklı numune ağırlıklarında kurutulan güvem eriği kabuk 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 $MR = \exp(-k.t^n)$	20	0.9966	0.0296
	40	0.9947	0.0370
	60	0.9962	0.0299
	80	0.9953	0.0320
	100	0.9973	0.0256
Henderson ve Pabis Model $MR = A.\exp(-k.t)$	20	0.9730	0.0833
	40	0.9785	0.0743
	60	0.9784	0.0712
	80	0.9793	0.0670
	100	0.9826	0.0649
Lewis Model $MR = \exp(-k.t)$	20	0.9699	0.0815
	40	0.9738	0.0759
	60	0.9718	0.0765
	80	0.9742	0.0712
	100	0.9781	0.0686
Logaritmik Model $MR = A.\exp(-k.t) + B$	20	0.9992	0.0162
	40	0.9981	0.0242
	60	0.9984	0.0210
	80	0.9999	0.0005
	100	0.9998	0.0067

Nem oranı değerlerinin kuruma süresiyle değişimi için bulunan deneysel değerlerle teorik değerler Şekil 8.15'de; matematiksel model sabitleri ve istatistiksel veriler ise Tablo 8.15'te sunulmuştur. Tablo 8.15 incelendiğinde; Page Model denklemine ait kinetik hız sabiti (k); kurutulan numune miktarı arttıkça 0.2154 dak^{-1} değerinden 0.0368 dak^{-1} değerine azalmıştır. Bu da, numune ağırlığı az olduğunda gıdanın içinde yüksek sıcaklıkların oluşmasından dolayı kurumanın daha kısa sürede meydana geldiğini göstermektedir.



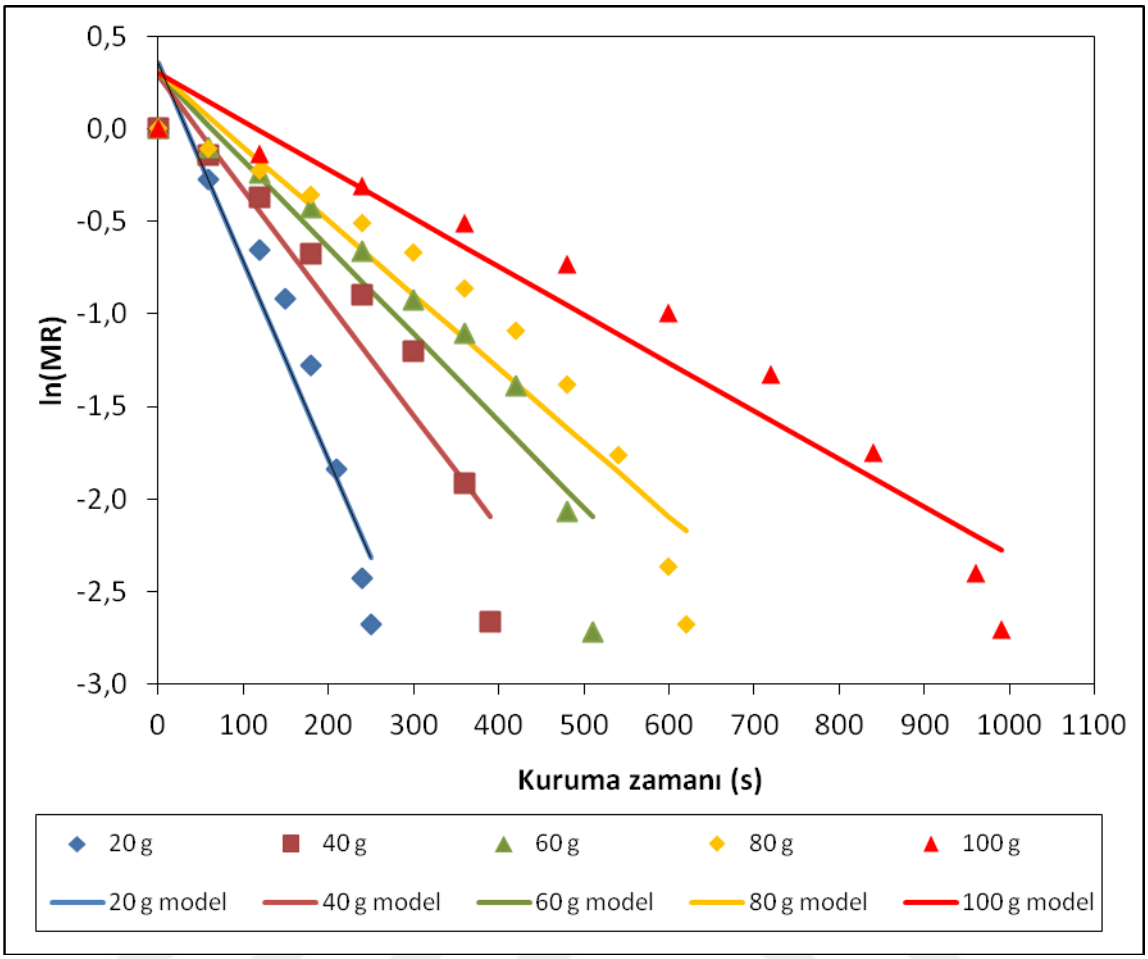
Şekil 8.15 Farklı ağırlıklarda kurutulan güvem eriği kabuk numunelerine ait nem oranı değerlerinin kuruma süresi ile değişimi (Mikrodalga çıkış gücü = 360 W)

Tablo 8.15 Farklı ağırlıklarda kurutulan güvem eriği kabuk 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	0.2154	1.6727	0.9966	0.0296
40	0.1246	1.4939	0.9947	0.0370
60	0.0790	1.5305	0.9962	0.0299
80	0.0663	1.4815	0.9953	0.0320
100	0.0368	1.4640	0.9973	0.0256

8.2.1.4 Efektif Difüzivite Katsayısının hesaplanması

Efektif Difüzivite Katsayısı, dilim kabulü yapılan güvem eriği kabuklarının 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 Tablo 8.16'te verilmiştir. Tablo 8.16'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 güvem eriği kabuk numunelerine ait ln(MR) değerlerinin kuruma süresi ile değişimi (Mikrodalga çıkış gücü = 360 W)

Tablo 8.16 Farklı ağırlıklarda kurutulan güvem eriği kabuk numunelerine ait hesaplanan Efektif Difüzivite Katsayısı değerleri ve istatistiksel veriler (Mikrodalga çıkış gücü = 360 W)

Numune Ağırlığı (g)	D_{eff} x 10^8 (m^2/s)	R^2	δ
20	3.5178	0.9563	0.3104
40	2.0055	0.9447	0.3249
60	1.5452	0.9462	0.3042
80	1.3151	0.9558	0.2724
100	0.8548	0.9653	0.2615

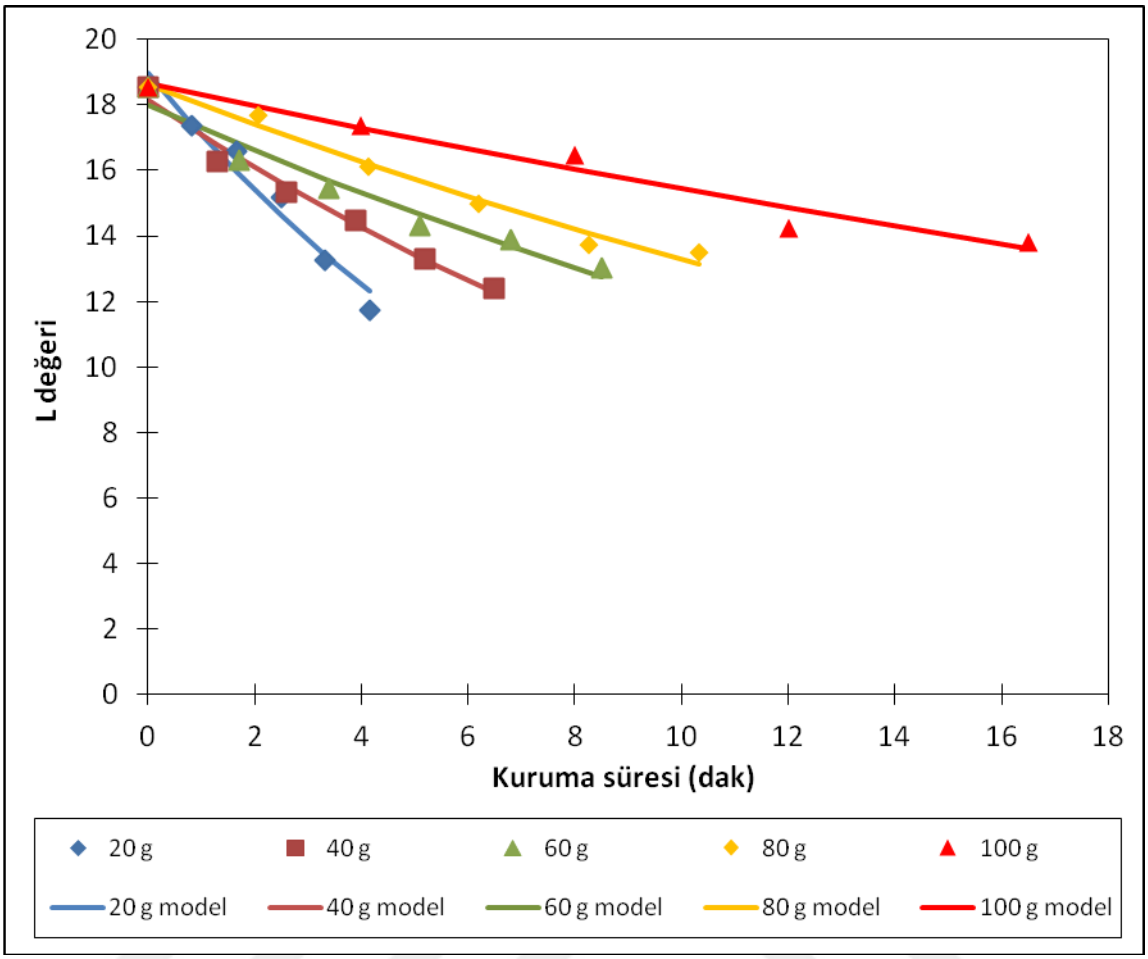
8.2.2 Güvem Eriği Kabuk Numunesinin Ağırlığının Renk Değişimi Üzerindeki Etkisi

Mikrodalga ile kurutma yöntemi kullanılarak güvem eriği kabuklarının 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 E. Tablo E.1-E.5'te sırası ile verilmiştir.

Elde edilen deneysel veriler kullanılarak yapılan matematiksel modelleme çalışmaları sonucunda; a, b, Toplam Renk Değişimi (ΔE)'nin Sıfırıncı Dereceden Kinetik Modele (Denklem 7.16), diğer yandan L, Kroma (CV), Renk Açısı (HA) ve Kahverengileşme İndeksi (BI) değerlerinin Birinci Dereceden Kinetik Modele (Denklem 7.17) 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 Tablo 8.17-23'de sırasıyla sunulmuştur.

<u>L değeri:</u>

360 W sabit mikrodalga çıkış gücünde farklı ağırlıklardaki güvem eriği kabuklarının kurutulması sonucu elde edilen L değerlerinin kuruma süresi ile değişimi Şekil 8.17'de; matematiksel model sabitleri ve istatistiksel veriler ise Tablo 8.17'da verilmiştir. Şekil 8.17'den de görülebileceği gibi, L değeri kuruma süresine bağlı olarak düşmüştür. L değeri; 20 g numune için 18.55 değerinden 11.75 değerine, 100 g numune için 18.55 değerinden 13.81 değerine düşmüştür. Deneysel veriler kullanılarak matematiksel modelleme çalışmaları yapılmış ve Birinci Dereceden Kinetik Model denklemine ait kinetik hız sabiti (k); 20 g numune değerinden 100 g değerine arttırıldığında, 0.1041 dak^{-1} değerinden 0.0191 dak^{-1} değerine azalmıştır. Bu da, gıdanın renginin koyulaşmaya başladığını göstermektedir.



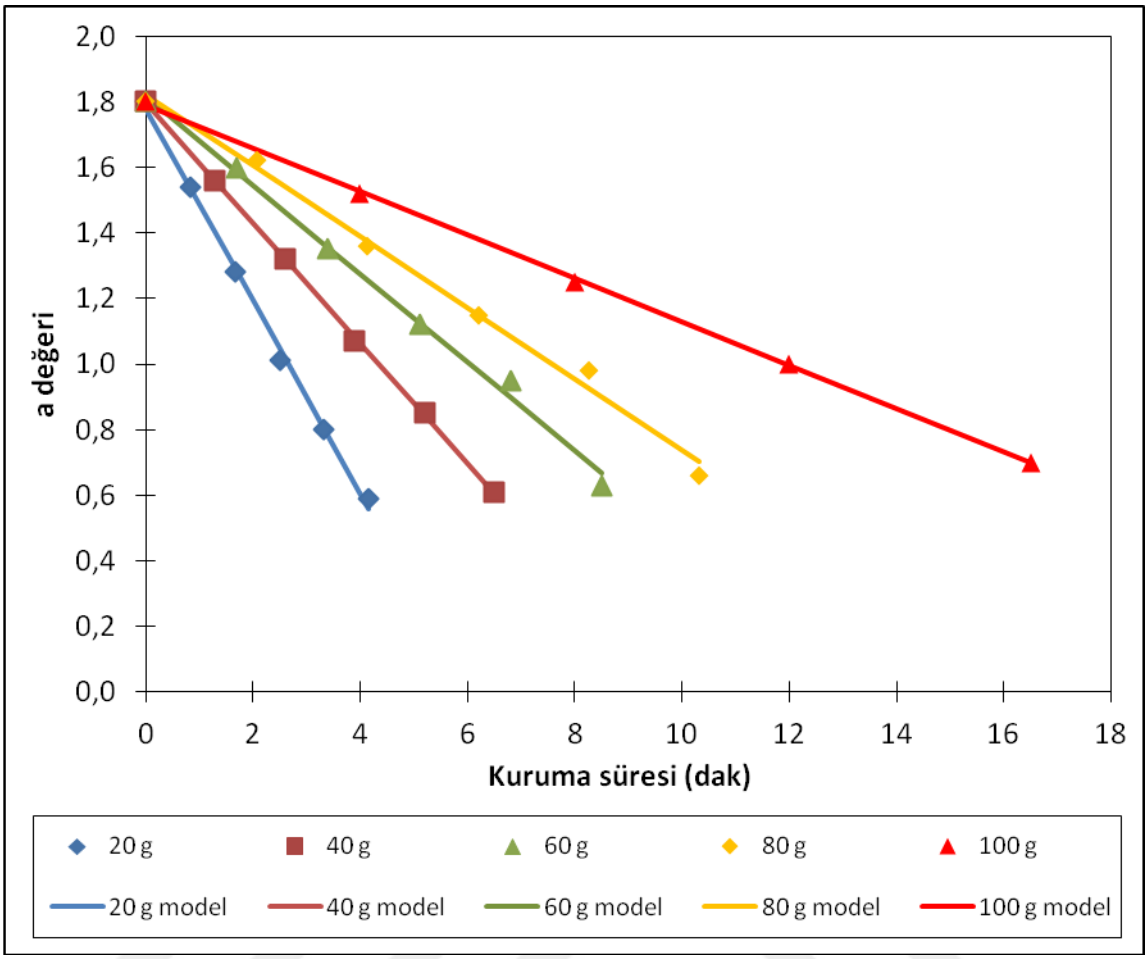
Şekil 8.17 Farklı ağırlıklarda kurutulan güvem eriği kabuk numunelerine ait L değerlerinin kuruma süresi ile değişimi (Mikrodalga çıkış gücü = 360 W)

Tablo 8.17 Farklı ağırlıklarda kurutulan güvem eriği kabuk numunelerine ait kuruma süresine karşılık elde edilen L değerlerine uyan Birinci 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	0.1041	18.9717	0.9818	0.5462
40	0.06003	18.1352	0.9900	0.3468
60	0.0404	18.0024	0.9794	0.4477
80	0.0338	18.6353	0.9906	0.3165
100	0.0191	18.6768	0.9811	0.4527

a değeri:

360 W sabit mikrodalga çıkış gücünde farklı ağırlıklardaki güvem eriği kabuklarının kurutulması sonucu kaydedilen a değerlerinin kuruma süresiyle değişimi Şekil 8.18'de; istatistiksel veriler ve matematiksel model sabitleri ise Tablo 8.18'de verilmiştir. Şekil 8.18'de görüldüğü üzere, a değeri kuruma süresine bağlı olarak azalmıştır. Bu durum, gıdanın renginin kahverengiye çalan kırmızıya dönmeye başladığının bir ölçütüdür. a değeri; 20 g numune için 1.80 değerinden 0.59 değerine; 100 g numune için 1.80 değerinden 0.70 değerine artmıştır. Deneysel veriler kullanılarak matematiksel modelleme çalışmaları yapılmış ve Sıfırıncı Dereceden Kinetik Model denklemine ait kinetik hız sabiti (k); numune ağırlığı 20 g'dan 100 g'a arttırıldığında, gıdanın içerisinde oluşan kahverengi pigmentlerin azalması sonucu k değeri 0.2931 dak^{-1} değerinden 0.0663 dak^{-1} değerine düşmüştür.



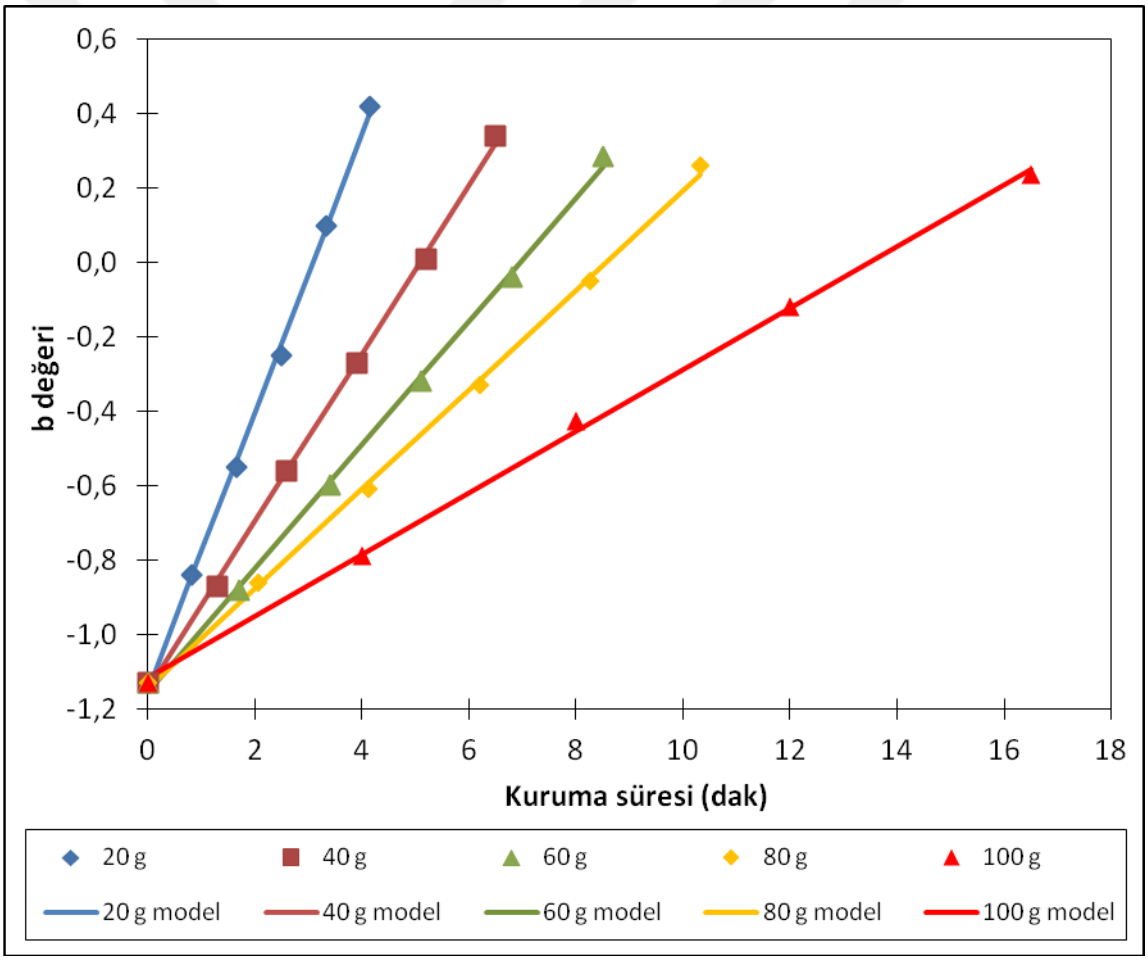
Şekil 8.18 Farklı ağırlıklarda kurutulan güvem eriği kabuk numunelerine ait a değerlerinin kuruma süresi ile değişimi (Mikrodalga çıkış gücü = 360 W)

Tablo 8.18 Farklı ağırlıklarda kurutulan güvem eriği kabuk 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	0.2931	1.7796	0.9986	0.0267
40	0.1831	1.7967	0.9999	0.0073
60	0.1350	1.8152	0.9974	0.0344
80	0.1083	1.8209	0.9966	0.0385
100	0.0663	1.7913	0.9998	0.0093

b değeri:

360 W sabit mikrodalga çıkış gücünde farklı ağırlıklardaki güvem eriği kabuklarının kurutulması sonucu kaydedilen b değerlerinin kuruma süresiyle değişimi Şekil 8.19'da; istatistiksel veriler ve matematiksel model sabitleri ise Tablo 8.19'de verilmiştir. Şekil 8.19'da görüldüğü üzere, b değeri kuruma süresine bağlı olarak artmıştır. b değeri; numune ağırlığı 20 g iken -1.13 değerinden 0.42 değerine, numune ağırlığı 100 g iken -1.13 değerinden 0.24 değerine artmıştır. Deneysel veriler kullanılarak matematiksel modelleme çalışmaları yapılmış ve Sıfırıncı Dereceden Kinetik Model denklemine ait kinetik hız sabiti (k); numune ağırlığı 20 g'dan 100 g'a arttırıldığında, antosiyaninlerin bozunma hızının azalmasıyla birlikte 0.3730 dak^{-1} değerinden 0.0830 dak^{-1} değerine azalmıştır (Tablo 8.19).



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

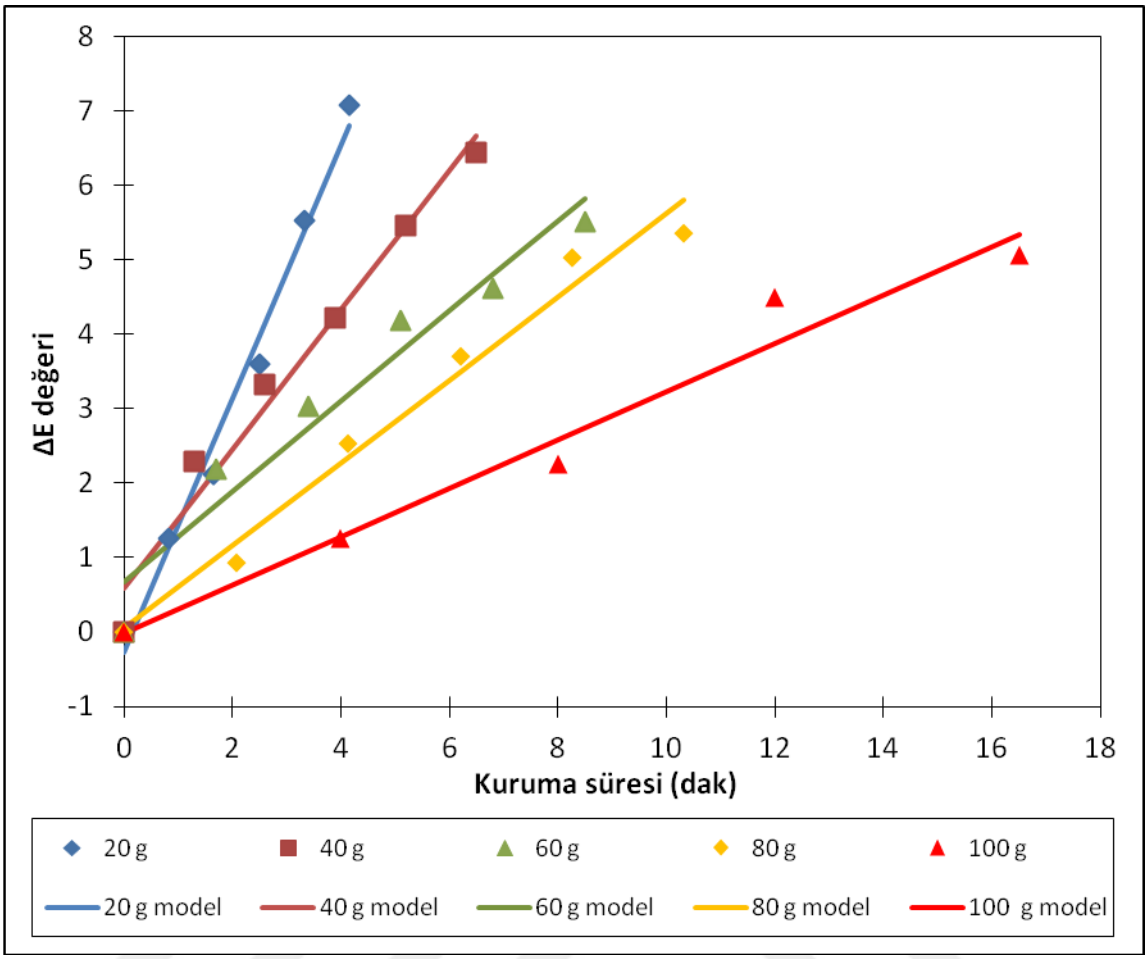
Tablo 8.19 Farklı ağırlıklarda kurutulan güvem eriği kabuk numunelerine ait kuruma süresine karşılık elde edilen b değerlerine uyan Sıfırıncı Dereceden Kinetik Model denklemi kullanılarak hesaplanan model sabitleri ve istatistiksel veriler (Mikrodalga çıkış gücü = 360 W)

Numune Ağırlığı (g)	k (dak^{-1})	C_0 (birimsiz)	R^2	δ
20	0.3730	-1.1509	0.9993	0.0235
40	0.2259	-1.1476	0.9996	0.0176
60	0.1660	-1.1529	0.9993	0.0218
80	0.1336	-1.1433	0.9995	0.0192
100	0.0830	-1.1178	0.9995	0.0200

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 Tablo 8.20'da verilmiştir. Toplam Renk Değişimi (ΔE) değerleri; numune ağırlığı 20 g iken 7.08değerine; 100 g iken 5.05 değerine azalmıştır.

Deneysel veriler kullanılarak matematiksel modelleme çalışmaları yapılmış ve Sıfırıncı Dereceden Kinetik Model denklemine ait kinetik hız sabiti (k); numune ağırlığı 20 g'dan 100 g'a arttırıldığında, 1.7041 dak^{-1} değerinden 0.3246 dak^{-1} değerine azalmıştır.



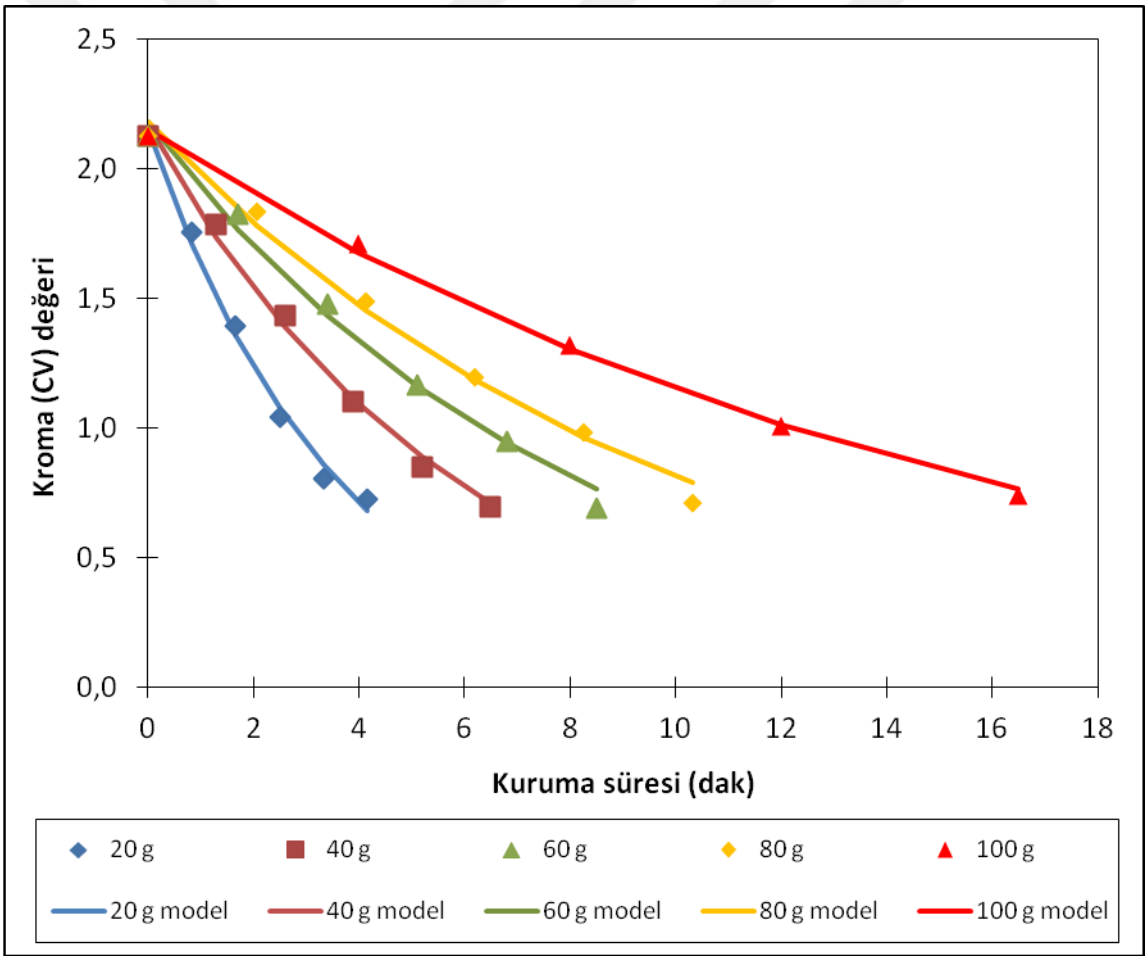
Şekil 8.20 Farklı ağırlıklarda kurutulan güvem eriği kabuk numunelerine ait Toplam Renk Değişimi (ΔE) değerlerinin kuruma süresi ile değişimi (Mikrodalga çıkış gücü = 360 W)

Tablo 8.20 Farklı ağırlıklarda kurutulan güvem eriği kabuk 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	□
20	1.7041	0.9926	0.3636
40	0.9365	0.9864	0.4249
60	0.6051	0.9724	0.5162
80	0.5563	0.9896	0.3499
100	0.3246	0.9847	0.4308

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 Tablo 8.21'de verilmiştir. Şekil 8.21 incelendiğinde; Kroma (CV) değerinin kuruma süresine bağlı olarak azaldığı görülmüştür. Kroma (CV) değerleri; numune ağırlığı 20 g iken 2.13 değerinden 0.72 değerine; numune ağırlığı 100 g iken 2.13 değerinden 0.74 değerine düşmüştür. Deneysel veriler kullanılarak matematiksel modelleme çalışmaları yapılmış ve Birinci Dereceden Kinetik Model denklemine ait kinetik hız sabiti (k); numune ağırlığı 20 g'dan 100 g'a arttırıldığında 0.2762 dak^{-1} değerinden 0.0626 dak^{-1} değerine azalmıştır.



Şekil 8.21 Farklı ağırlıklarda kurutulan güvem eriği kabuk numunelerine ait Kroma (CV) değerlerinin kuruma süresi ile değişimi (Mikrodalga çıkış gücü = 360 W)

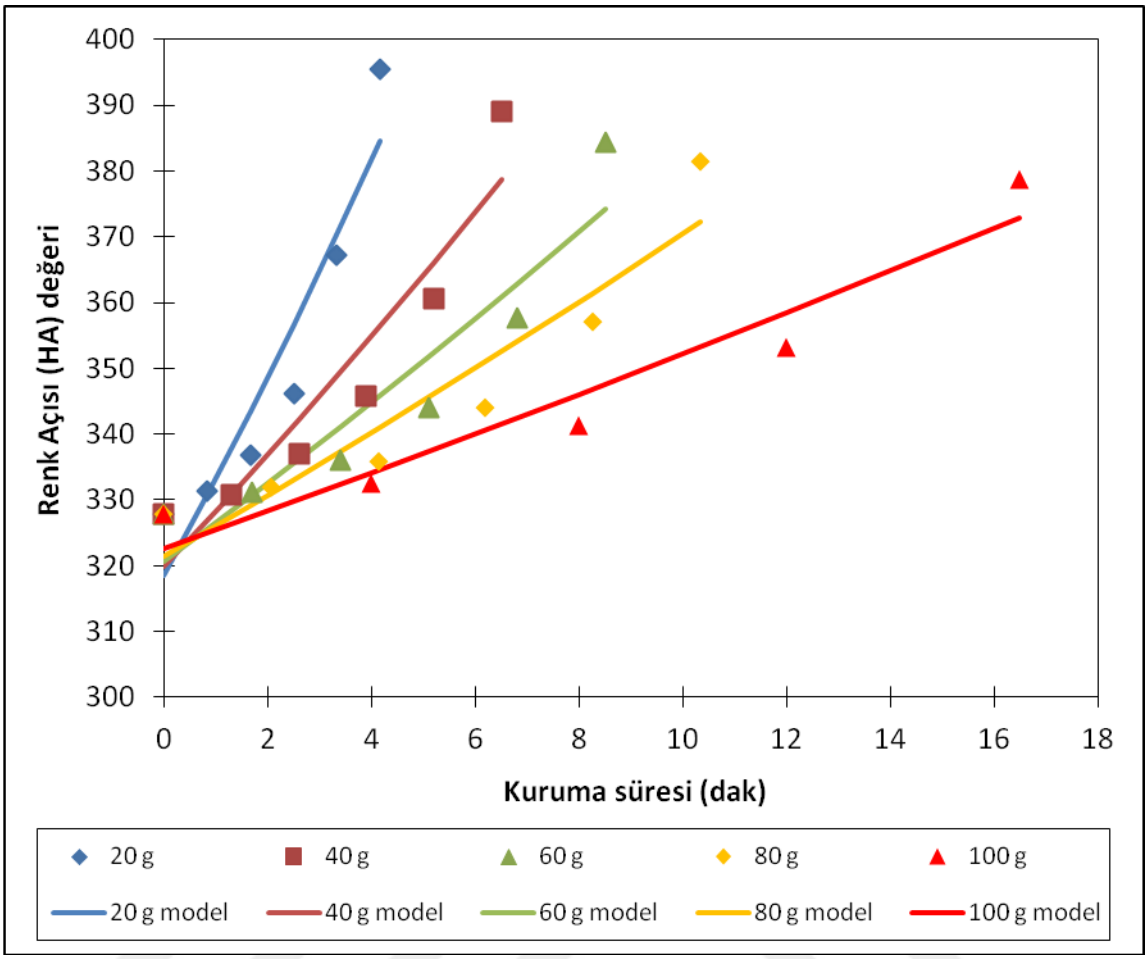
Tablo 8. 21 Farklı ağırlıklarda kurutulan güvem eriği kabuk numunelerine ait kuruma süresine karşılık elde edilen Kroma (CV) değerlerine uyan Birinci Dereceden Kinetik Model denklemi kullanılarak hesaplanan model sabitleri ve istatistiksel veriler (Mikrodalga çıkış gücü = 360 W)

Numune Ağırlığı (g)	k (dak^{-1})	C_0 (birimsiz)	R^2	δ
20	0.2762	2.1527	0.9969	0.0488
40	0.1716	2.1698	0.9973	0.0455
60	0.1236	2.1816	0.9953	0.0585
80	0.0985	2.1806	0.9950	0.0597
100	0.0626	2.1519	0.9987	0.0326

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 Tablo 8.22'de verilmiştir. Şekil 8.22 incelendiğinde; Renk Açısı (HA) değerlerinin kuruma süresine bağlı olarak arttığı belirlenmiştir. Güvem eriği kabuklarının Renk Açısı (HA) değerleri; numune ağırlığı 20 g iken 327.88 değerinden 395.45.14 değerine; numune ağırlığı 100 g iken 327.74 değerinden 378.74 değerine artmıştır. Bu değerlere göre güvem eriği kabuklarının kırmızı-turuncu renk skalasında olduğunu göstermektedir [96].

Deneysel veriler kullanılarak matematiksel modelleme çalışmaları yapılmış ve Birinci Dereceden Kinetik Model denklemine ait kinetik hız sabiti (k); numune ağırlığı 20 g'dan değerinden 100 g'a arttırıldığında, 0.0453 dak^{-1} değerinden 0.0088 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.



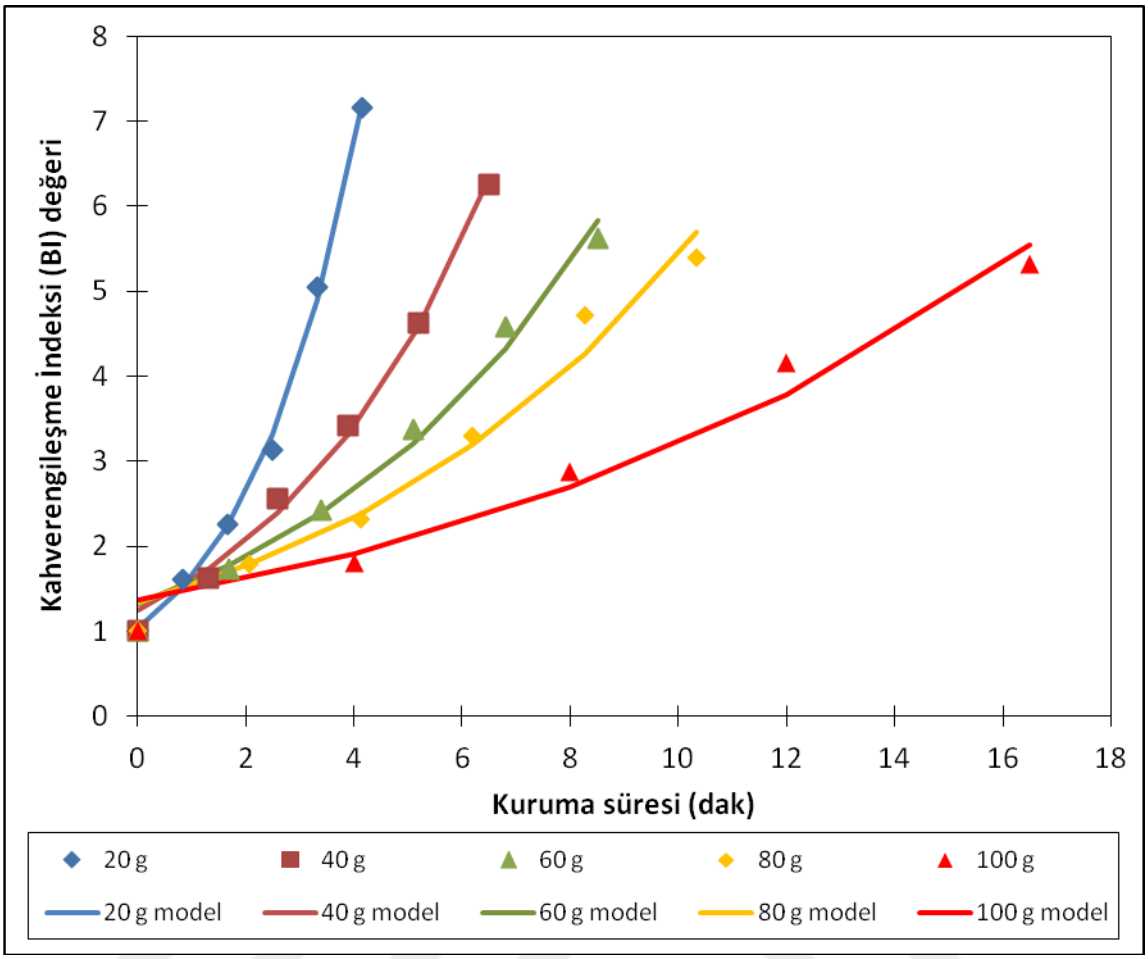
Şekil 8.22 Farklı ağırlıklarda kurutulan güvem eriği kabuk numunelerine ait Renk Açısı (HA) değerlerinin kuruma süresi ile değişimi (Mikrodalga çıkış gücü = 360 W)

Tablo 8.22 Farklı ağırlıklarda kurutulan güvem eriği kabuk numunelerine ait kuruma süresine karşılık elde edilen Renk Açısı (HA) değerlerine uyan Birinci 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	0.0453	318.54	0.9431	9.6688
40	0.0260	319.82	0.9431	8.6020
60	0.0182	320.57	0.9386	8.1834
80	0.0142	321.41	0.9431	7.4608
100	0.0088	322.53	0.9643	6.2201

Kahverengileşme İndeksi (BI) değeri:

Kahverengileşme İndeksi (BI) değerlerinin (Denklem 7.9)) numune ağırlığına göre kuruma süresiyle değişimi Şekil 8.23'te; istatistik verileri ve matematiksel model sabitleri Tablo 8.23'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 1.01 değerinden 7.16 değerine; numune ağırlığı 100 g iken 1.01 değerinden 5.32 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 [97]. Deneysel veriler kullanılarak matematiksel modelleme çalışmaları yapılmış ve Birinci Dereceden Kinetik Model denklemine ait kinetik hız sabiti (k); numune ağırlığı 20 g'dan 100 g'a arttırıldığında 0.4665 dak^{-1} değerinden 0.0851 dak^{-1} değerine azalmıştır.



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

Tablo 8.23 Farklı ağırlıklarda kurutulan güvem eriği kabuk numunelerine ait kuruma süresine karşılık elde edilen Kahverengileşme İndeksi (BI) değerlerine uyan Birinci 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	0.4665	1.0341	0.9987	0.1329
40	0.2499	1.2477	0.9969	0.1723
60	0.1750	1.3167	0.9926	0.2381
80	0.1406	1.3334	0.9856	0.3243
100	0.0851	1.3624	0.9849	0.3484

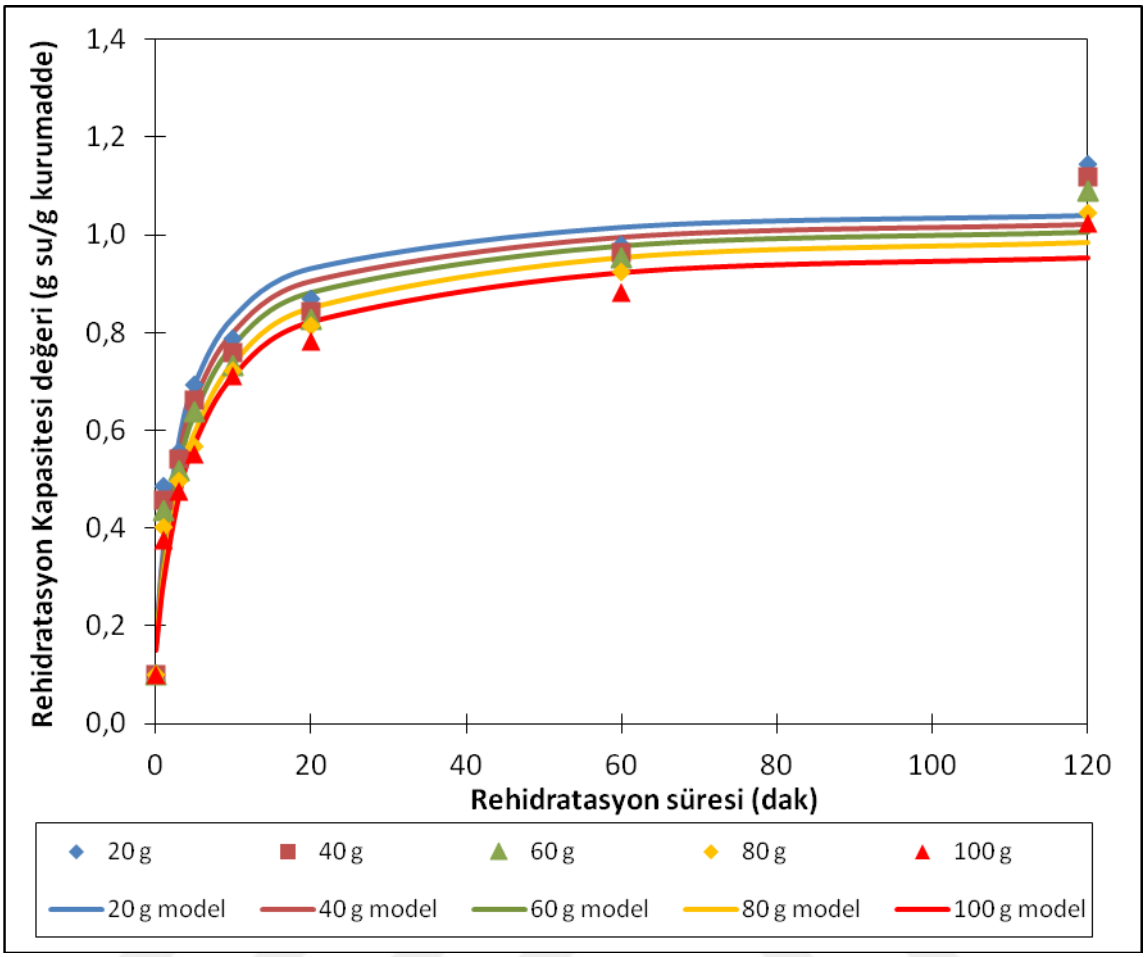
8.2.3 Güvem Eriği Kabuk Numunesinin Ağırlığının Rehidratasyon Kapasitesi Üzerindeki Etkisi

Mikrodalga yöntemi kullanılarak güvem eriği kabuklarının 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 F Tablo F.1-F.5'te sırası ile verilmiştir. Rehidratasyon kapasitesi değerlerinin rehidratasyonu süresi ile değişimini içeren deneysel değerler üç ayrı rehidatasyon model denklemi kullanılarak modellenmiştir. Matematiksel model denklemlerine ait istatistiksel veriler Tablo 8.23'de verilmiştir. Tablo 8.23'de verilen istatistiksel veriler (yüksek R^2 ve düşük standart sapma (δ)) incelendiğinde; Peleg Model denkleminin (Denklem 7.18) güvem eriği kabuklarının rehidratasyon kinetiğine uyan en iyi model olduğu bulunmuştur.

Rehidratasyon süresine bağlı olarak elde edilen deneysel değerler ile teorik değerler Şekil 8.24'te; matematiksel model sabitleri ve istatistiksel veriler ise Tablo 8.24'te sunulmuştur. Şekil 8.24'de görüldüğü gibi; kurutulmuş numune miktarı arttıkça absorplanan su miktarı azalmış; ürün kurutulmadan önce içermiş olduğu suyun % 71.76'sını geri absorplamıştır. Bu durum; kurutma ve rehidratasyon aşamalarında numunelerin yapılarında bazı değişiklikler ya da dokusal farklılıklar oluştuğunu göstermektedir [98].

Tablo 8.24 Farklı numune ağırlıklarında kurutulan güvem eriği kabuk 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 $M_t = M_0 + \frac{t}{k_1 + k_2 t}$	20	0.9745	0.0863
	40	0.9767	0.0809
	60	0.9794	0.0750
	80	0.9849	0.0629
	100	0.9852	0.0604
Birinci Dereceden Rehidratasyon Kinetik Modeli $M_t = M_e + (M_0 - M_e)\exp(-k_{R1}t)$	20	0.9492	0.1211
	40	0.9522	0.1152
	60	0.9565	0.1083
	80	0.9677	0.0913
	100	0.9682	0.0883
Eksponansiyel Assosiasyon Modeli $M_t = M_e[1 - \exp(-k_{R2}t)]$	20	0.9110	0.1448
	40	0.9120	0.1411
	60	0.9143	0.1372
	80	0.9237	0.1268
	100	0.9278	0.1201



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

Tablo 8.25 Farklı ağırlıklarda kurutulan güvem eriği kabuk 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	3.8599	1.1075	0.9745	0.0863
40	4.3689	1.1292	0.9767	0.0809
60	4.8770	1.1454	0.9794	0.0750
80	5.6406	1.1657	0.9849	0.0629
100	5.8266	1.1979	0.9852	0.0604

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

8.2.4 Güvem Eriği Kabuk Numunesi Ağırlığının Antosiyanin Kayıpları Üzerindeki Etkisi

Mikrodalga tekniği kullanılarak güvem eriği kabuk numuneleri beş farklı ağırlıkta 360 W mikrodalga çıkış gücünde, belirli nem içeriğine kadar kurutulduktan sonra pH diferansiyel metodu kullanılarak toplam monomerik antosiyanin miktarı (siyanidin-3-glukozit) hesaplanmıştır. Elde edilen değerler Tablo 8.26'de verilmiştir.

Tablo 8.26 Farklı mikrodalga çıkış güçlerinde güvem eriği kabuk numunesine ait siyanidin-3-glukozit değerinin değişimi (Mikrodalga Çıkış Gücü= 360 W)

Numune (g)	mg siyanidin-3-glukozit/ g KM	% Kayıp
20	2.284	51.03
40	2.725	41.57
60	2.819	39.56
80	3.133	32.83
100	3.223	30.90

* Yaş numunedeki antosiyanin miktarı: 4.664 mg/1 g kuru bazda

Numune miktarı azaldıkça siyanidin-3-glukozit miktarında azalma meydana gelmiştir. Yüksek sıcaklıklar antosiyanin bileşiklerinin kararlılıklarını önemli ölçüde etkilemektedir. Sıcaklık artışıyla birlikte antosiyaninlerin bozunma hızı da artmaktadır [95]. Bu sebeple Watt/gram miktarı arttıkça antosiyanin miktarındaki azalmanın da arttığı söylenebilir.

8.2.5 Sıcaklığın Güvem Eriği Kabuk Numunesinin Rehidratasyon Kapasitesi Üzerindeki Etkisi

Mikrodalga yöntemi kullanılarak 20 g ağırlığındaki güvem eriği kabuklarının 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

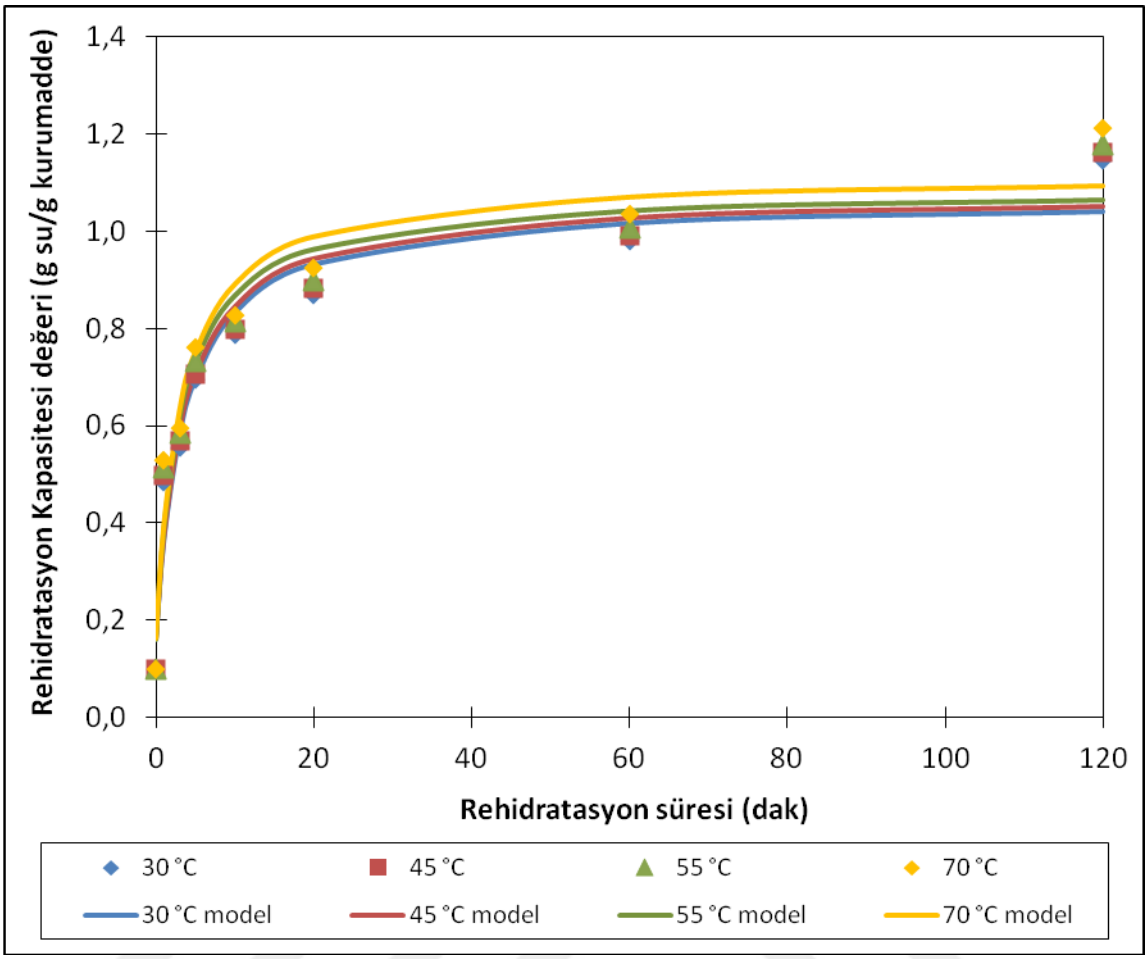
tutulmuştur. Belirli zaman aralıklarında alınan numuneler su banyosundan çıkarılmış ve yüzeydeki su kağıt havlu yardımıyla uzaklaştırılarak tartım işlemleri yapılmıştır. Rehidratasyon kapasitesi değerleri, Denklem (7.3) kullanılarak hesaplanmıştır ve Ek G Tablo E7.1-7.3'te sırasıyla verilmiştir.

Rehidratasyon kapasitesi değerlerinin rehidratasyonu süresi ile değişimini içeren deneysel değerler üç ayrı rehidatasyon model denklemi kullanılarak modellenmiştir. Matematiksel model denklemlerine ait istatistiksel veriler Tablo 8.25'de verilmiştir. Tablo 8.27'de verilen istatistiksel veriler (yüksek R^2 ve düşük standart sapma (δ)) incelendiğinde; Peleg Model denkleminin (Denklem 7.18) güvem eriği kabuklarının 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 Tablo 8.28'da sunulmuştur.

30, 45, 55 ve 70 °C sıcaklık değerlerinde uygulanan rehidratasyon işleminde belirli zaman aralıklarında yapılan ölçümlerden; sıcaklık arttırıldıkça kurutulmuş 20 g güvem eriği kabuk numunesinin kurutulmadan önce içermiş olduğu su miktarının %84.74'ünü absorplamıştır. Bu durum, kurutma ve rehidratasyon aşamalarında numunelerin yapılarında bazı değişikliklerin ya da dokusal farklılıkların oluştuğunu göstermektedir [98].

Tablo 8.27 Güvem eriği kabuk 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 $M_t = M_0 + \frac{t}{k_1 + k_2 t}$	30	0.9745	0.0863
	45	0.9734	0.0892
	55	0.9728	0.0915
	70	0.9713	0.0966
Birinci Dereceden Rehidratasyon Kinetik Modeli $M_t = M_e + (M_0 - M_e)\exp(-k_{R1}t)$	30	0.9492	0.1211
	45	0.9474	0.1246
	55	0.9458	0.1282
	70	0.9438	0.1343
Eksponansiyel Assosiasyon Modeli $M_t = M_e[1 - \exp(-k_{R2}t)]$	30	0.9110	0.1448
	45	0.9096	0.1477
	55	0.9103	0.1491
	70	0.9087	0.1549



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

Tablo 8.28 Güvem eriği kabuk 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	3.8599	1.1075	0.9745	0.0863
45	3.7195	1.0949	0.9734	0.0892
55	3.3566	1.0795	0.9728	0.0915
70	3.2637	1.0498	0.9713	0.0966

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

8.3 Güvem Eriği Kabukarına 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 (7.21) kullanılmıştır. Aktivasyon enerjisi değeri 10.82 (W/g), pre-eksponansiyel sabit ise 0.6101 dak^{-1} olarak bulunmuştur (R^2 = 0.9246, standart sapma (δ) = 0.4693). Elde edilen Aktivasyon Enerjisi değeri Denklem (7.21) 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 (7.21) kullanılmıştır. 7 farklı renk indisi için kullanılan Sıfırıncı ve Birinci Dereceden Kinetik Model denklemlerinin kinetik hız sabitleri (k, dak^{-1}) kullanılarak Aktivasyon Enerjisi değerleri hesaplanmıştır. Renk değişimi kinetiğine ait Aktivasyon Enerjisi değerlerinin 7.36-8.61 W/g değerleri arasında değiştiği saptanmıştır (Tablo 8.29).

Tablo 8.29 Mikrodalga tekniği ile kurutulan güvem eriği kabuk numunelerinin renk indisi parametrelerine göre hesaplanan aktivasyon enerjisi değerleri

Renk İndisi Parametreleri	k_0 (dak^{-1})	E_a (W/g)	R^2	δ
L	0.1960	8.61	0.9734	0.2132
a	0.4964	7.37	0.9831	0.1443
b	0.6399	7.55	0.9821	0.1524
ΔE	2.9647	8.27	0.9741	0.2023
CV	0.4599	7.36	0.9842	0.1393
HA	0.0854	8.53	0.9784	0.1898
BI	0.7601	8.10	0.9879	0.1388

8.3.3 Rehidratasyon Kinetiğine Ait Aktivasyon Enerjisinin Hesaplanması

Rehidratasyon kinetiğine ait Aktivasyon Enerjisi değerlerinin hesaplanması için Arrhenius denklemi esas alınarak türetilen Denklem (7.21) 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 2.35 W/g, pre-eksponansiyel sabit ise 3.2247 dak.g kuru madde/g su olarak hesaplanmıştır (R^2 = 0.9799, standart sapma (δ) = 0.0505). Elde edilen aktivasyon enerjisi değerinin düşük bulunmasının nedeni, uygulanan rehidratasyon sıcaklığının düşük olmasıdır [100].

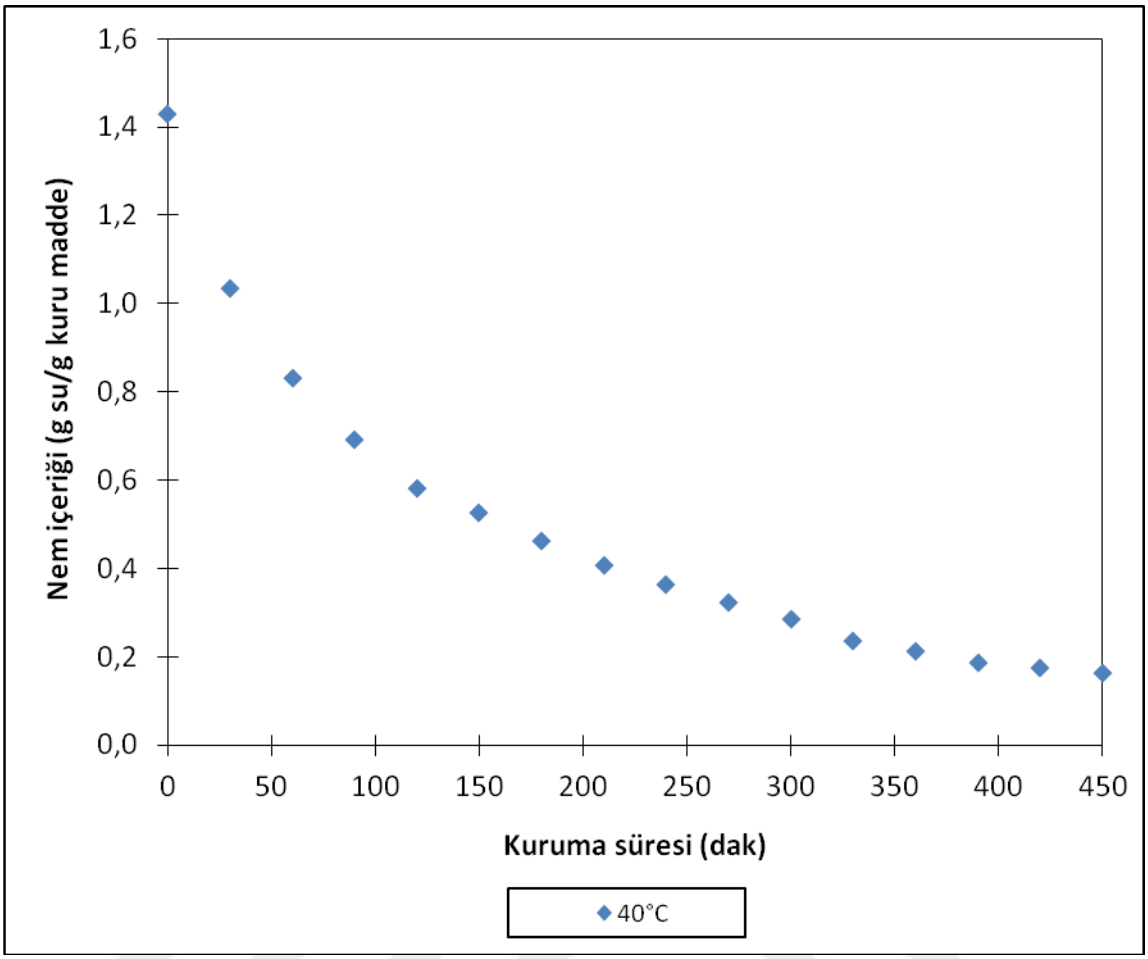
Farklı sıcaklıklarda gerçekleştirilen rehidratasyon sonucu elde edilen rehidratasyon kapasitesi değerleri için kullanılan Peleg Model denkleminin kinetik hız sabiti olan k_1 (dak.g kuru madde/g su) kullanılarak Aktivasyon Enerjisi değeri 3.93 kJ/mol, pre-eksponansiyel sabit ise 0.8166 dak.g kuru madde/g su olarak hesaplanmıştır (R^2 = 0.9539, standart sapma (δ) = 0.0295).

8.4 Güvem Eriği Kabuklarının Konvansiyonel Yöntem ile Kurutulması

8.4.1 Güvem Eriği Kabuklarının Konvansiyonel Yöntem ile Kurutulmasının Kuruma Kinetiği Üzerindeki Etkisi

8.4.1.1 Nem içeriği değişimi

Konvansiyonel kurutmanın etkisini incelemek için 20 g güvem eriği kabuğu 40 °C sıcaklıkta kurutulmuştur. Bu çalışmada kullanılan taze güvem eriği kabukların ortalama toplam nem değeri M_0= 1.43 g su/g kuru madde olarak bulunmuştur. Nem içeriği değişimine ait elde edilen değerler Ek H, Tablo H.1'de verilmiştir ve Şekil 8.26'da grafiksel olarak sunulmuştur. Şekil 8.26 incelendiğinde, 40 °C sıcaklıkta konvansiyonel kurutma için güvem eriği kabuk numunesinin nem içeriğinin 1.43 g su/g kuru madde değerinden 0.16 g su/g kuru madde değerine düşmesi 450 dakika sürerken, bu değer mikrodalga ile kurutma yöntemi için en uzun kurutma süresi olan 180 W mikrodalga çıkış gücünde 10.083 dakika olarak bulunmuştur. Yapılan deneyler sonucunda, 20 g güvem eriği kabuk numunesi için kuruma süresinin, mikrodalga ile kurutma yöntemine göre 44.63 kat arttığı tespit edilmiştir.



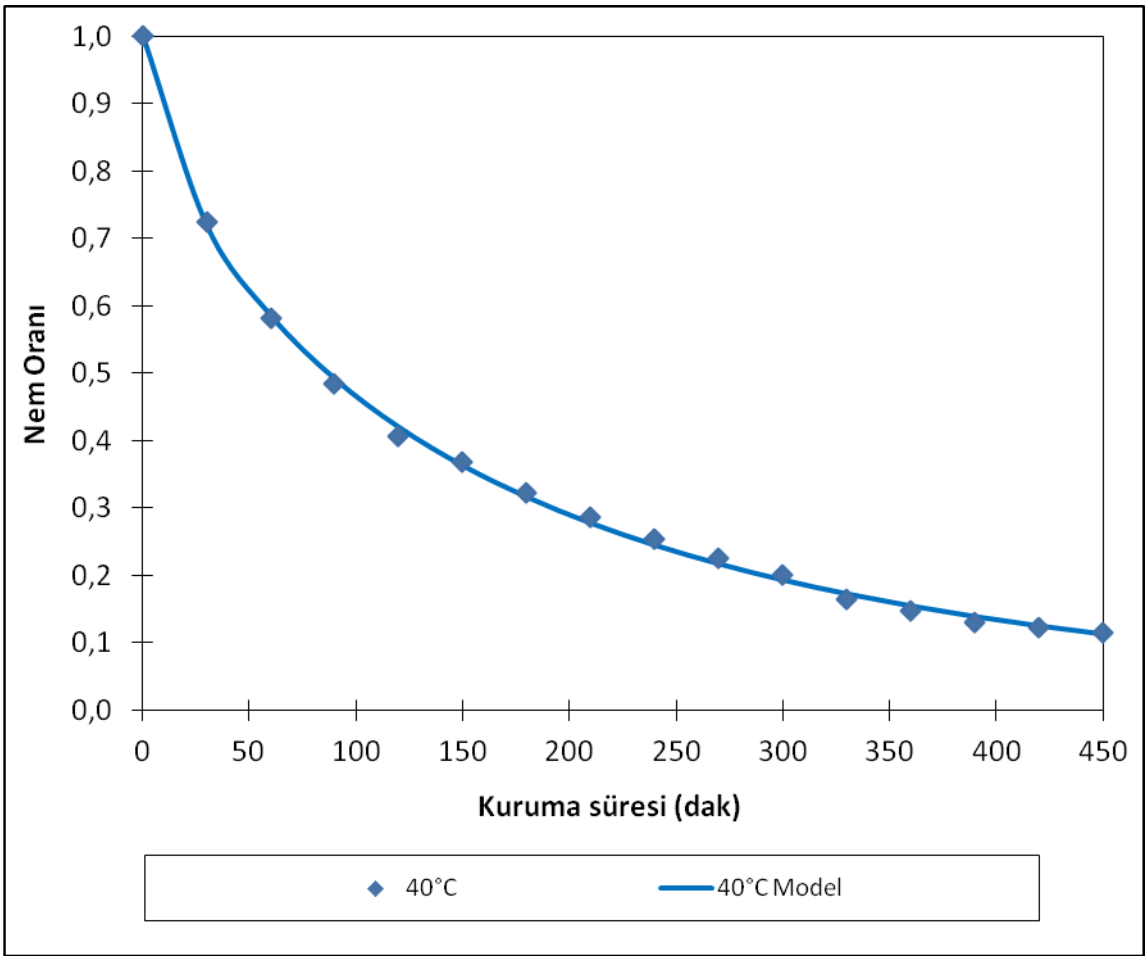
Şekil 8.26 Konvansiyonel yöntem ile kurutulan güvem eriği kabuk numunesinin nem içeriğinin kuruma süresi ile değişimi (Numune ağırlığı = 20 g, Sıcaklık = 40 °C)

8.4.1.2 Konvansiyonel kuruma kinetiğine ait model çalışmaları

Konvansiyonel kurutma yöntemi kullanılarak 20 g ağırlığındaki güvem eriği kabuk 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 güvem eriği kabuk numunesinin nem oranının kuruma süresine bağlı olarak değişimi Şekil 8.27'de; matematiksel model sabitleri ve istatistiksel veriler ise Tablo 8.30'de sunulmuştur.

Tablo 8.30 Konvansiyonel yöntem ile kurutulan güvem eriği kabuk 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
0.0309	0.6966	0.9996	0.0077



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

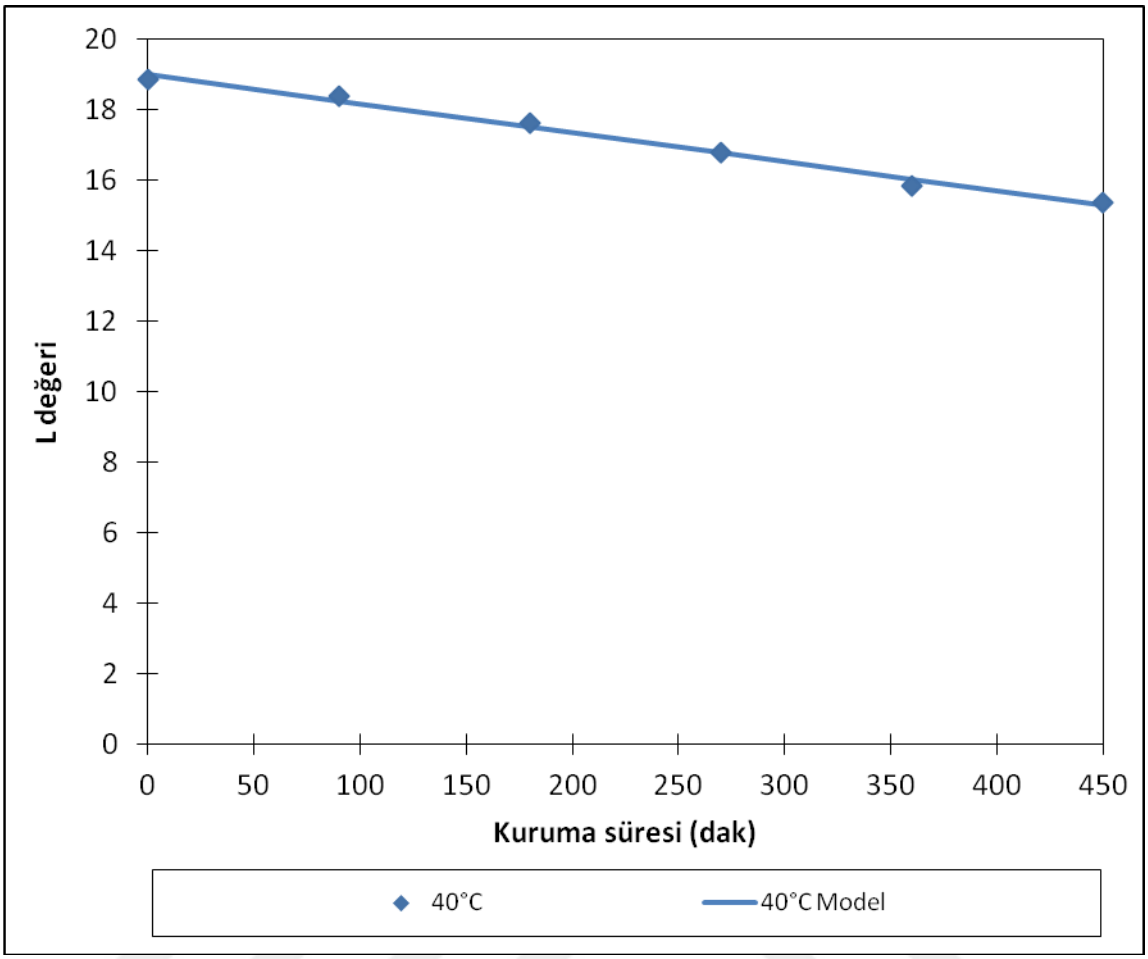
8.4.2 Güvem Eriği Kabuklarının Konvansiyonel Yöntem ile Kurutulmasının Renk Değişimi Üzerindeki Etkisi

Konvansiyonel kurutma yöntemi kullanılarak güvem eriği kabuk 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 I. Tablo I.1'de sırası ile verilmiştir. Elde edilen deneysel veriler kullanılarak yapılan matematiksel modelleme çalışmaları sonucunda; L, a, 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, b değerinin ise Sıfırıncı Dereceden Kinetik Modele (Denklem 7.15) uygun 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 Tablo 8.31-8.35'de sırasıyla sunulmuştur.

<u>L değeri:</u>

Konvansiyonel kurutma yöntemi ile güvem eriği kabuk numunesi için elde edilen L değerlerinin kuruma süresi ile değişimi Şekil 8.28'de; matematiksel model sabitleri ve istatistiksel verileri ise Tablo 8.31'de verilmiştir. Şekil 8.28'den de görülebileceği gibi, L değeri kuruma süresi boyunca 18.85 değerinden 15.36 değerine düşmüştür. Deneysel veriler kullanılarak matematiksel modelleme çalışmaları yapılmış ve Sıfırıncı Dereceden Kinetik Model denklemine ait kinetik hız sabiti (k) 0.0082 dak^{-1} bulunmuştur. Bu da, gıdanın renginin koyulaşmaya başladığını göstermektedir.



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

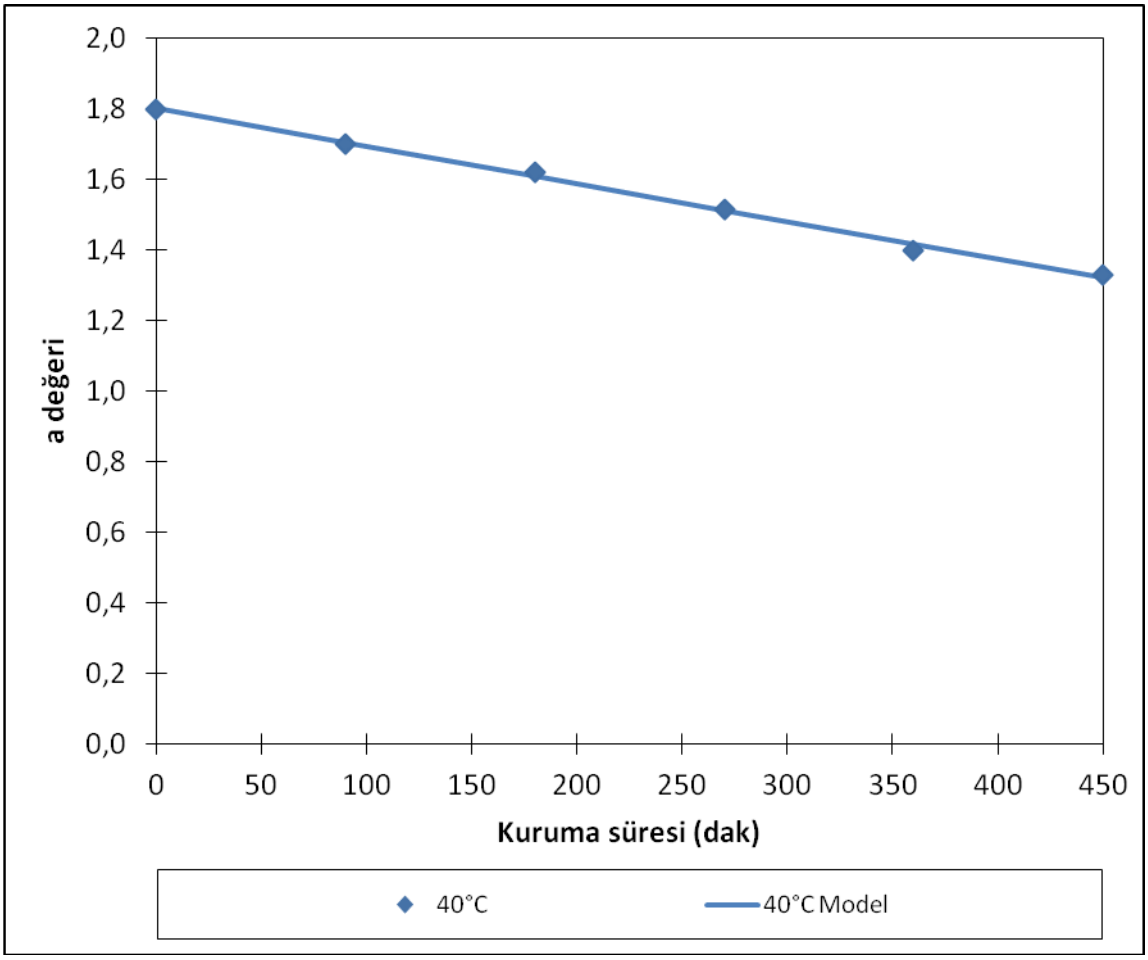
Tablo 8.31 Konvansiyonel yöntem ile kurutulan güvem eriği kabuk numunesine ait kuruma süresine karşılık elde edilen L değerlerine uyan Sıfırıncı Dereceden Kinetik Model denklemi kullanılarak hesaplanan model sabitleri ve istatistiksel veriler (Numune ağırlığı = 20 g, Sıcaklık = 40 °C)

k (dak^{-1})	C_0 (birimsiz)	R^2	δ
0.0082	18.998	0.9952	0.1518

a değeri:

Konvansiyonel kurutma yöntemi ile güvem eriği kabuk numunesi için kaydedilen a değerlerinin kuruma süresiyle değişimi Şekil 8.29'de; istatistiksel veriler ve matematiksel model sabitleri ise Tablo 8.32'de verilmiştir. Şekil 8.29'dan da görülebileceği gibi, 20 g numune için a değeri 1.80 değerinden 1.33 değerine

azalış göstermiştir. Deneysel veriler kullanılarak matematiksel modelleme çalışmaları yapılmış ve Sıfırıncı Dereceden Kinetik Model denklemine ait kinetik hız sabiti (k) 0.0011 dak^{-1} bulunmuştur.



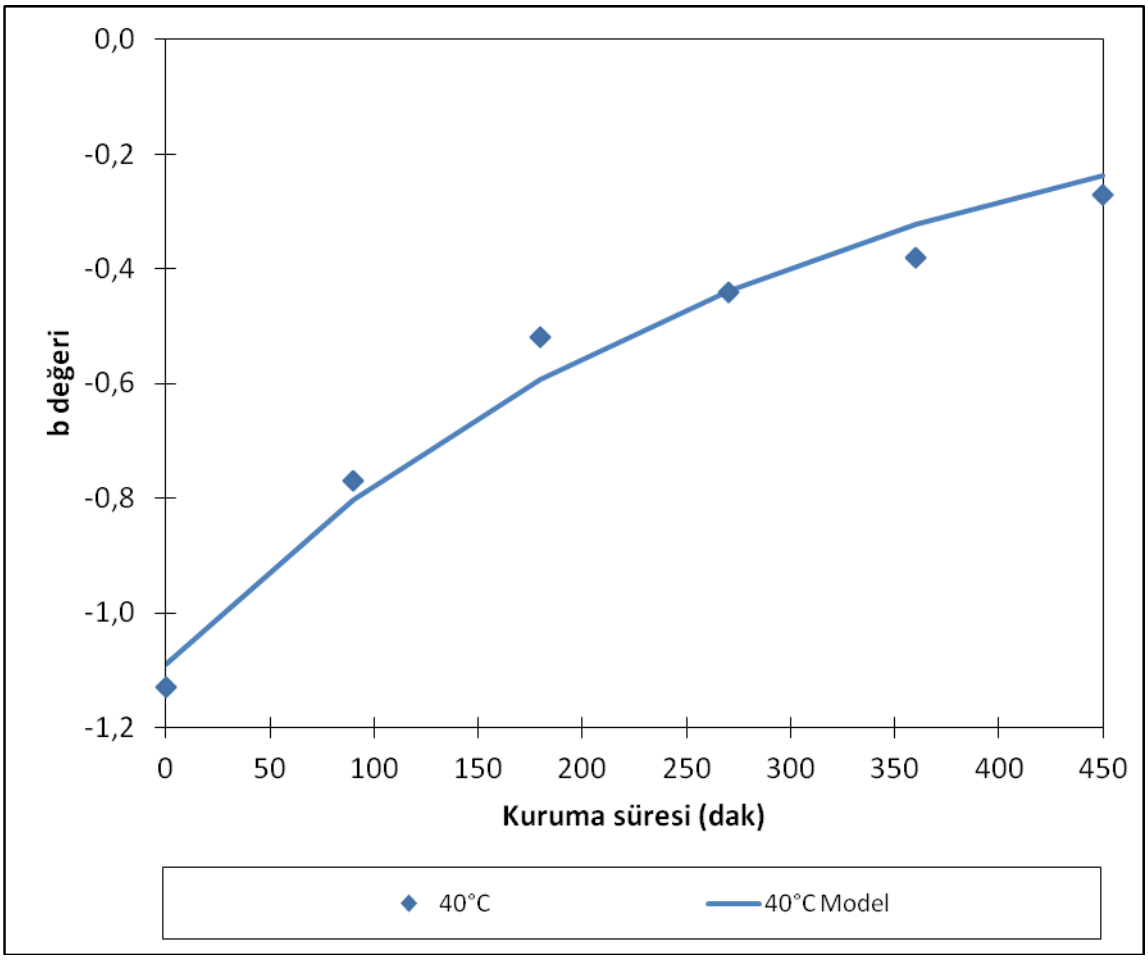
Şekil 8.29 Konvansiyonel yöntem ile kurutulan güvem eriği kabuk numunesine ait a değerlerinin kuruma süresi ile değişimi (Numune ağırlığı = 20 g, Sıcaklık = 40 °C)

Tablo 8.32 Konvansiyonel yöntem ile kurutulan güvem eriği kabuk 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
0.0011	1.8009	0.9984	0.0114

b değeri:

Konvansiyonel kurutma yöntemi ile güvem eriği kabuk numunesi için bulunan b değerlerinin kuruma süresiyle değişimi Şekil 8.30'de; istatistiksel veriler ve matematiksel model sabitleri ise Tablo 8.33'de verilmiştir. Şekil 8.30'den de görülebileceği gibi, 20 g numune için b değeri -1.13 değerinden -0.27 değerine artış göstermiştir. Deneysel veriler kullanılarak matematiksel modelleme çalışmaları yapılmış ve Birinci Dereceden Kinetik Model denklemine ait kinetik hız sabiti (k) 0.0034 dak^{-1} olarak bulunmuştur.



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

Tablo 8.33 Konvansiyonel yöntem ile kurutulan güvem eriği kabuk numunesine ait kuruma süresine karşılık elde edilen b değerlerine uyan Birinci Dereceden Kinetik Model denklemi kullanılarak hesaplanan model sabitleri ve istatistiksel veriler (Numune ağırlığı = 20 g, Sıcaklık = 40 °C)

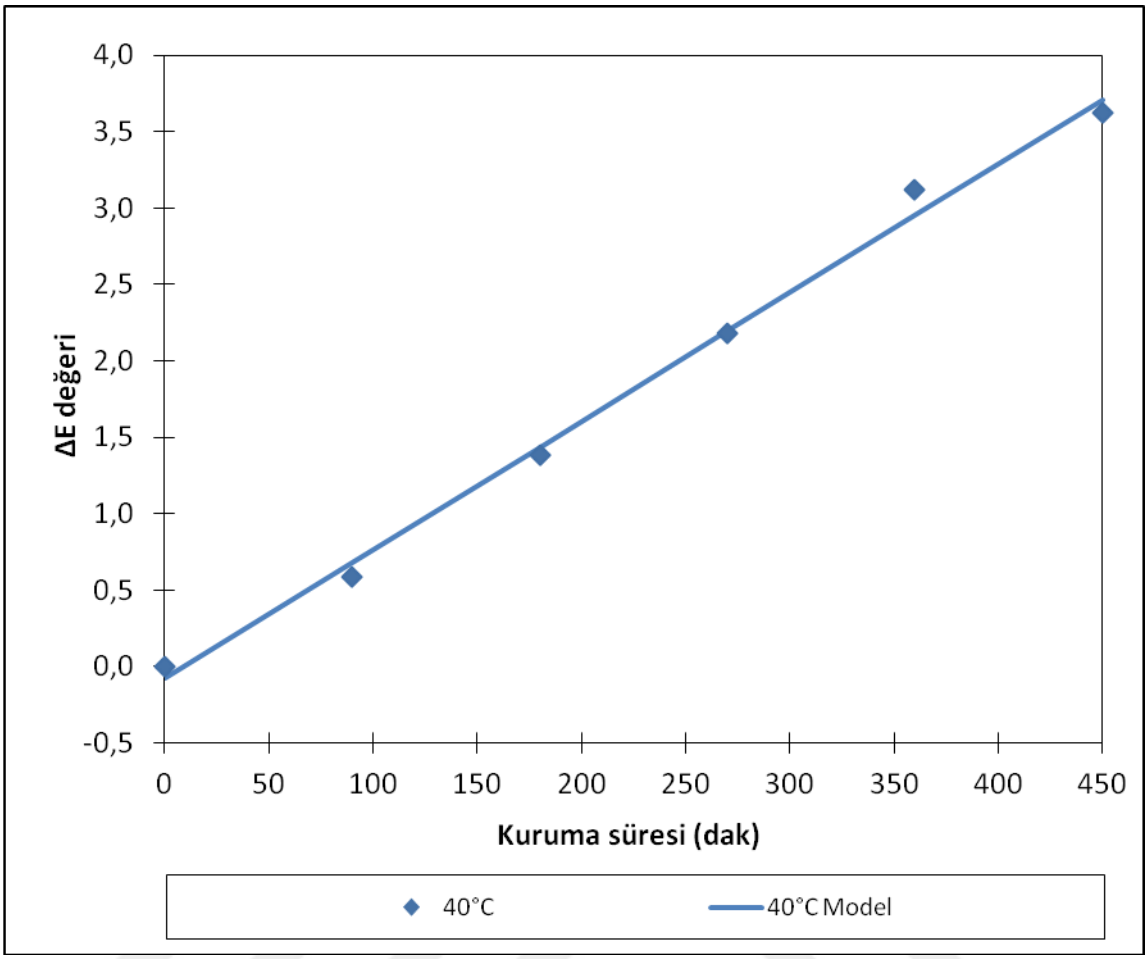
k (dak^{-1})	C_0 (birimsiz)	R^2	δ
0.0034	-1.0897	0.9875	0.0557

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 Tablo 8.34'de verilmiştir. Şekil 8.31 incelendiğinde, 20 g numune için Toplam Renk Değişimi (ΔE) değeri 0 değerinden 3.62 değerine artmıştır. Deneysel veriler kullanılarak matematiksel modelleme çalışmaları yapılmş ve Sıfırıncı Dereceden Kinetik Model denklemine ait kinetik hız sabiti (k) 0.0084 dak^{-1} olarak bulunmuştur.

Tablo 8.34 Konvansiyonel yöntem ile kurutulan güvem eriği kabuk 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)

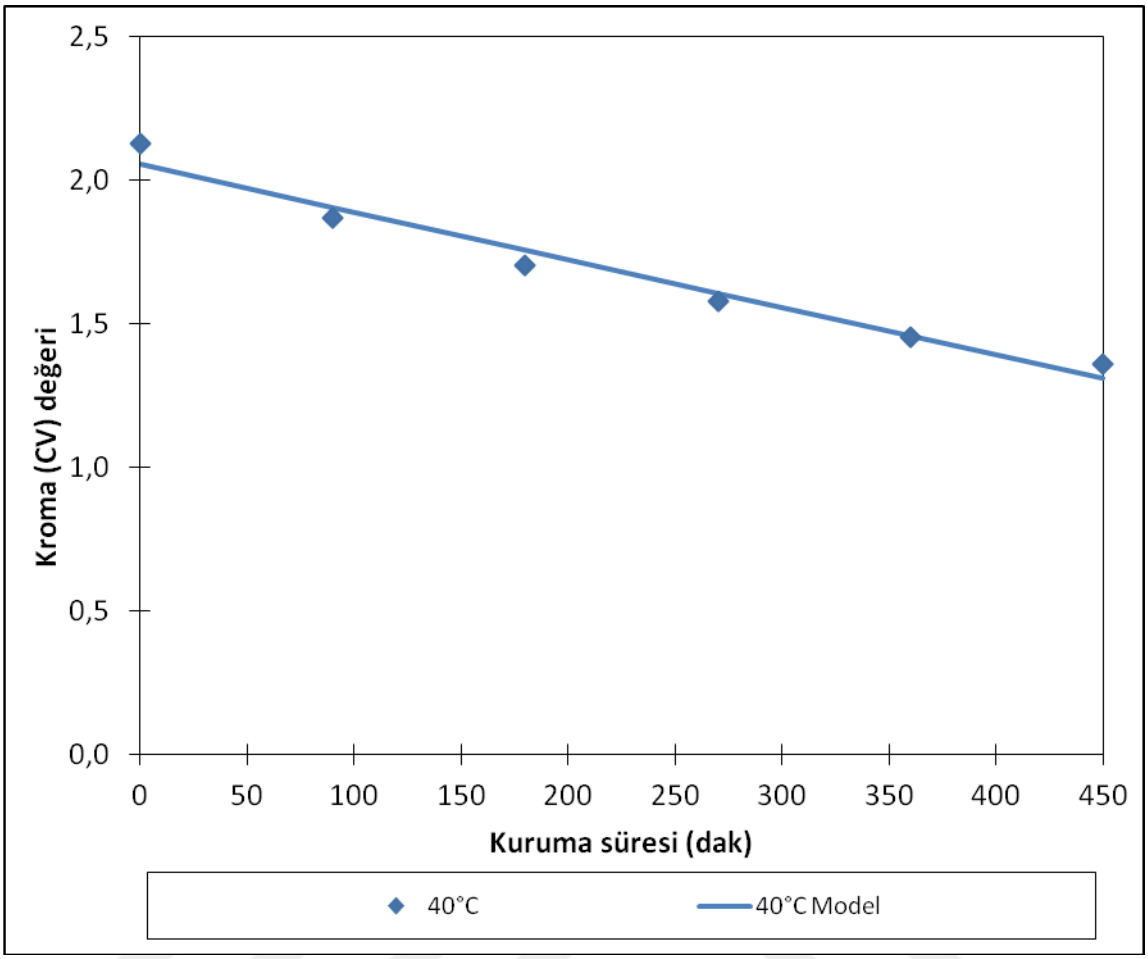
k (dak^{-1})	R^2	δ
0.0084	0.9973	0.1143



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

<u>Kroma (CV) değeri:</u>

Denklem (7.7) kullanılarak elde edilen Kroma (CV) değerlerinin kuruma süresi ile değişimi Şekil 8.32'de; matematiksel model sabitleri ve istatistiksel veriler ise Tablo 8.35'de verilmiştir. Şekil 8.32 incelendiğinde; Kroma (CV) değerinin kuruma süresine bağlı olarak azaldığı, 2.13 değerinden 1.36 değerine düştüğü bulunmuştur. Deneysel veriler kullanılarak matematiksel modelleme çalışmaları yapılmış ve Sıfırıncı Dereceden Kinetik Model denklemine ait kinetik hız sabiti (k) 0.0017 dak^{-1} olarak bulunmuştur.



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

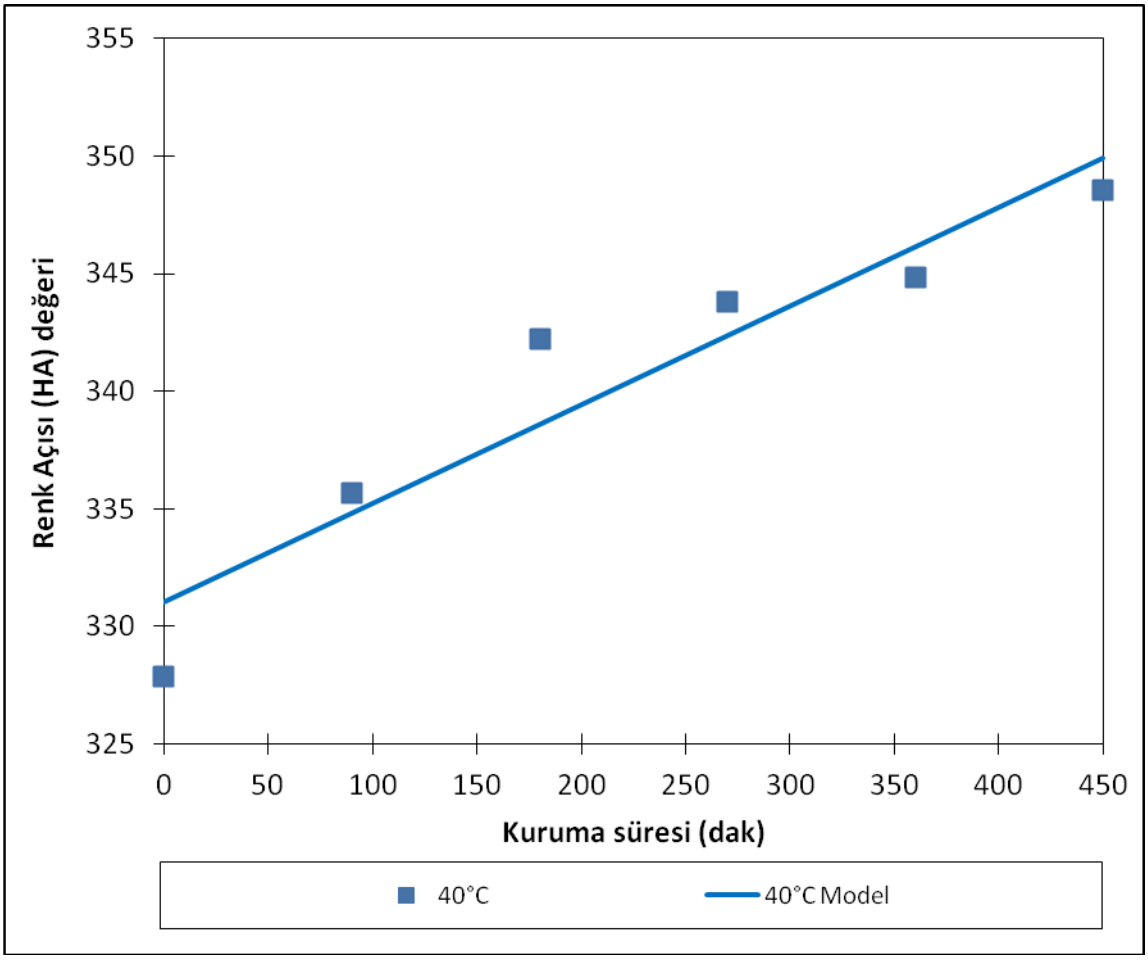
Tablo 8.35 Konvansiyonel yöntem ile kurutulan güvem eriği kabuk numunesine ait kuruma süresine karşılık elde edilen Kroma (CV) değerlerine uyan Sıfırıncı Dereceden Kinetik Model denklemi kullanılarak hesaplanan model sabitleri ve istatistiksel veriler (Numune ağırlığı = 20 g, Sıcaklık = 40 °C)

k (dak^{-1})	C_0 (birimsiz)	R^2	δ
0.0017	2.0524	0.9841	0.0563

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 Tablo 8.36'de verilmiştir. Şekil 8.33 incelendiğinde; Renk Açısı (HA)

değerleri kuruma süresine bağlı olarak artmış; 327.88 değerinden 348.52 değerine artmıştır. Deneysel veriler kullanılarak matematiksel modelleme çalışmaları yapılmış ve Sıfırıncı Dereceden Kinetik Model denklemine ait kinetik hız sabiti (k) 0.0420 dak^{-1} bulunmuştur. Yüksek sıcaklıklar, renk değişimine sebep olan bozunma reaksiyonlarının hızını artırmakta ve rengin daha hızlı değişmesine sebep olmaktadır.



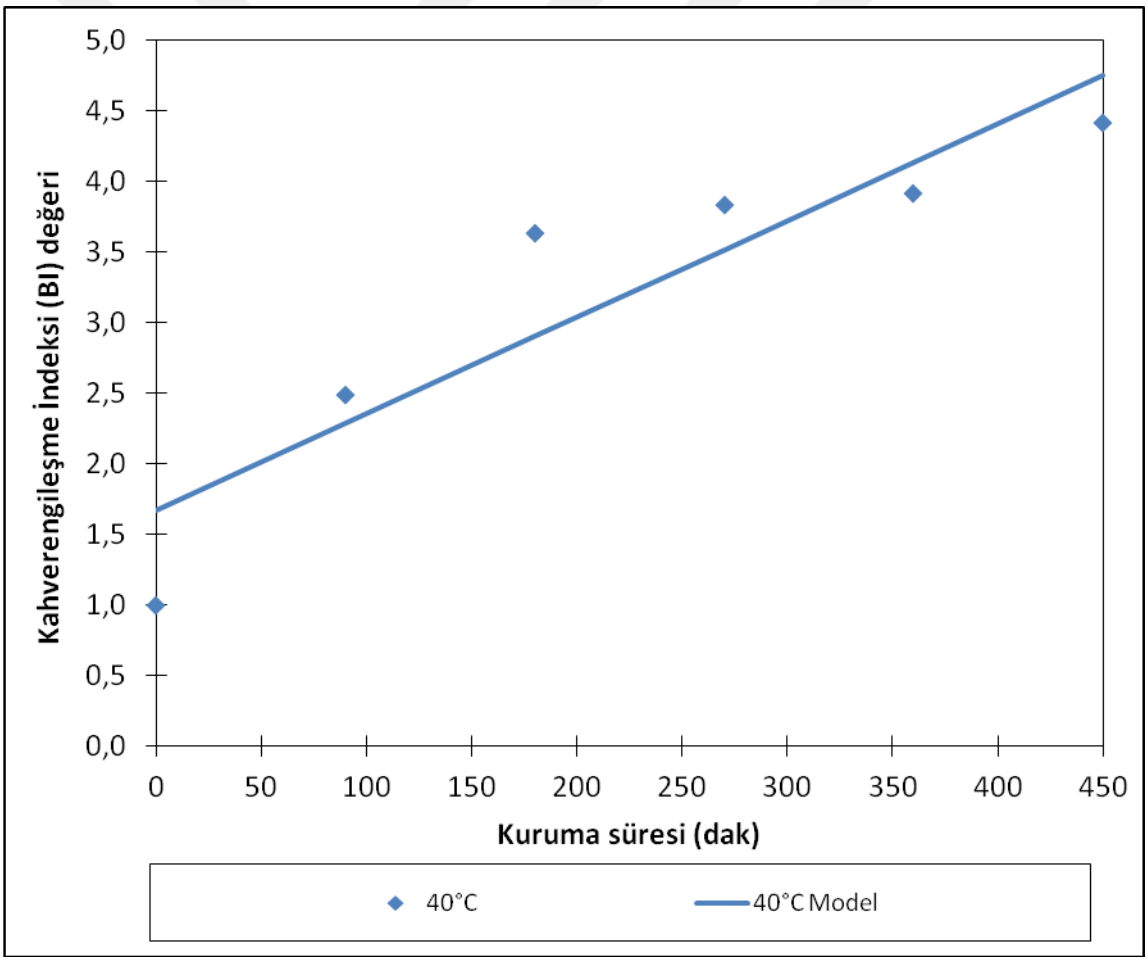
Şekil 8.33 Konvansiyonel yöntem ile kurutulan güvem eriği kabuk numunesine ait Renk Açısı (HA) değerlerinin kuruma süresi ile değişimi (Numune ağırlığı = 20 g, Sıcaklık = 40 °C)

Tablo 8.36 Konvansiyonel yöntem ile kurutulan güvem eriği kabuk 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
0.0420	331.03	0.9458	2.7166

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 Tablo 8.37'de sunulmuştur. Şekil 8.34 incelendiğinde, Kahverengileşme İndeksi (BI) değeri kuruma süresine bağlı olarak 0.99 değerinden 4.41 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. Deneysel veriler kullanılarak matematiksel modelleme çalışmaları yapılmış ve Sıfırıncı Dereceden Kinetik Model denklemine ait kinetik hız sabiti (k) 0.0068 dak^{-1} değeri olarak bulunmuştur.



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

Tablo 8.37 Konvansiyonel yöntem ile kurutulan güvem eriği kabuk 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
0.0068	27.14	0.9153	0.5674

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

Güvem eriği kabuklarının farklı mikrodalga çıkış gücünde ve farklı numune ağırlığında kurutulması ile elde edilen kuruma sürelerine karşılık mikrodalga çıkış gücü/numune ağırlığı (P/m) değerleri Tablo 8.38'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, 218.62 ve -1.69; korelasyon katsayısı (R^2) ve standart sapma değeri (δ) ise sırasıyla 0.998 ve 1.10 olarak bulunmuştur (Tablo 8.39).

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

Burada:

P : Mikrodalga çıkış gücü (W)

m : Numune ağırlığı (g)

t : kuruma süresi (dak)

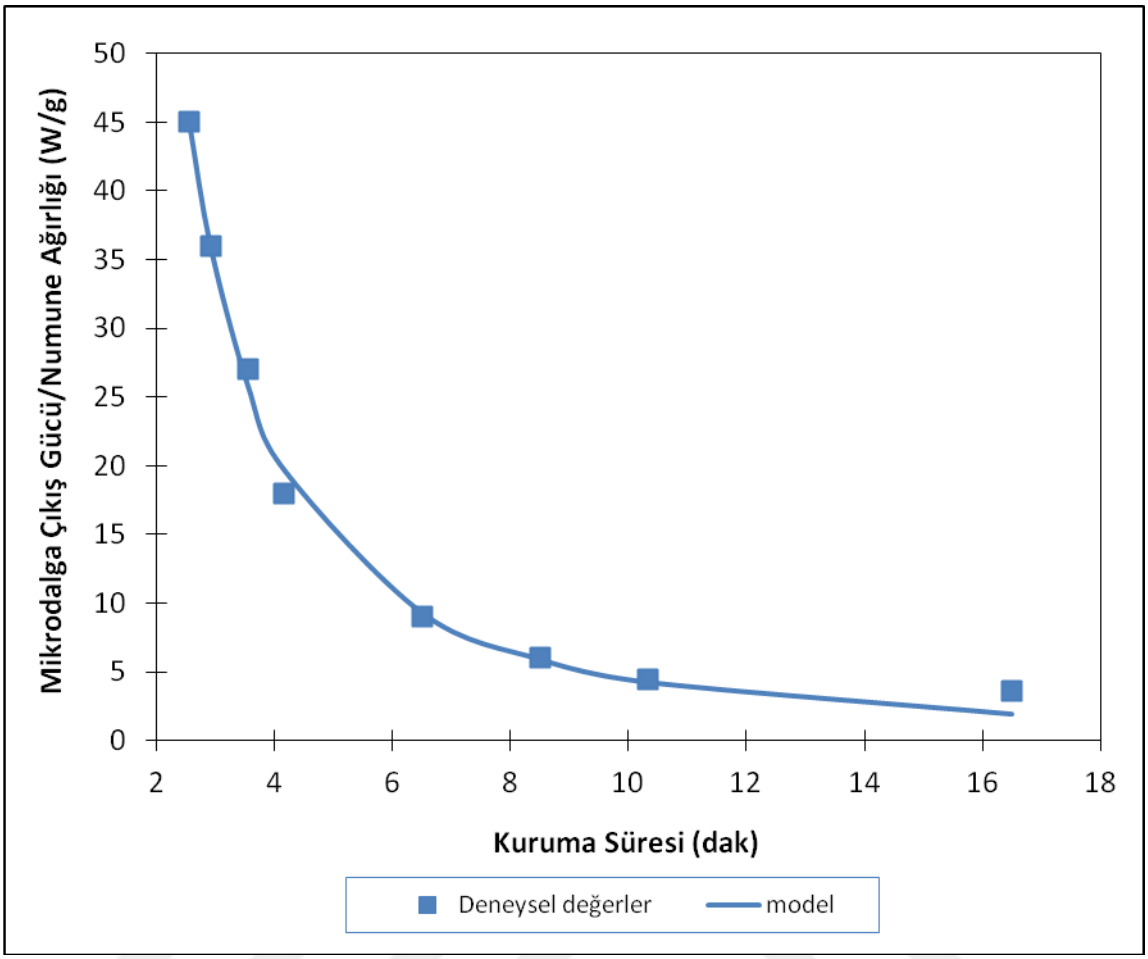
a : sabit (W/g.dak)

b : sabit (birimsiz)

olarak tanımlanmıştır.

Tablo 8.38 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	2.55
720	20	36	2.92
540	20	27	3.55
360	20	18	4.17
360	40	9	6.50
360	60	6	8.50
360	80	4.5	10.33
360	100	3.6	16.50



Şekil 8.35 Mikrodalga yöntemi ile kurutulan güvem eriği kabuk numunesine ait mikrodalga çıkış gücü/numune ağırlığı değerlerinin kuruma süresi ile değişimi

Tablo 8.39 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
218.62	-1.69	0.998	1.10

9
SONUÇ VE ÖNERİLER

Bu çalışmada, güvem eriği kabuklarının 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. Ayrıca farklı sıcaklık değerlerinin rehidratasyon kapasitesi üzerine etkileri incelenmiş, Efektif Difüzivite Katsayısı ve aktivasyon enerjisi değerleri hesaplanmıştır. Kuruma süresine karşılık mikrodalga çıkış gücü/numune ağırlığı değerlerinin değişimi incelenmiştir. Konvansiyonel kurutmanın da kuruma ve renk değişim kinetiği üzerindeki etkileri incelenmiştir. Son olarak kabuklarda bulunan antosiyanin miktarı hesaplanmıştır. Yapılan çalışmalar sonucunda elde edilen veriler aşağıda özetlenmiştir.

<u>Mikrodalga yöntemi ile gerçekleştirilen kurutma çalışmalarından elde edilen verilere göre:</u>

1. ***Kuruma hızları incelendiğinde***; farklı mikrodalga çıkış güçlerinde ve numune ağırlıklarında kurutulan güvem eriği kabuk numunelerinin kuruma sürelerinde mikrodalga çıkış gücü arttıkça ve kurutulan numune ağırlığı azaltıldıkça azalma olduğu saptanmıştır.
2. ***Kuruma kinetiği incelendiğinde;*** İnce tabaka kurutma modelleri olan Page Model, Lewis Model, Henderson ve Pabis Model ve Logaritmik Model denklemleri uygulanmış ve bu modeller arasında yüksek R^2 ve düşük standart sapma (δ) değerlerine sahip olan Page Model denklemi kuruma kinetiğine uyumlu en iyi model denklem olmuştur.
3. ***Efektif Difüzivite Katsayısı değerleri incelendiğinde***; uygulanan tüm kurutma koşullarında hesaplanan Efektif Difüzivite Katsayısı (D_{eff}) değerlerinin 0.85 x 10^{-8} m^2/s değeri ile 5.56 x 10^{-8} m^2/s değeri arasında değiştiği belirlenmiştir.
4. ***Renk parametreleri incelendiğinde;*** yüksek mikrodalga çıkış güçlerinde ve düşük numune ağırlıklarında kurutulan güvem eriği kabuklarının rengi

farklılaşmıştır. Yüksek sıcaklıklarda antosiyanin pigmentleri bozunduğu için kahverengi bileşenler oluşur ve karamelizasyon reaksiyonları gerçekleşir. Bu da renk değişimine sebep olur. Elde edilen deneysel veriler, Sıfırıncı Dereceden Kinetik Model ve Birinci Dereceden Kinetik Model denklemleri ile modellenmiştir. Yapılan matematiksel modelleme çalışmaları sonucunda; a, b ve Toplam Renk Değişimi (ΔE) Sıfırıncı Dereceden Kinetik Modele, L değeri, Kroma (CV), Renk Açısı (HA) ve Kahverengileşme İndeksi (BI) değerlerinin ise Birinci Dereceden Kinetik Model denklemine uygunluk gösterdiği belirlenmiştir.

5. *Rehidratasyon kapasitesi değerleri incelendiğinde;* kurutulmuş güvem eriği kabukları 30, 45, 55 ve 70 °C sıcaklıklarda su banyosunda rehidratasyon işlemine tabi tutulmuş ve absorplanan su miktarları bulunmuştur. Kurutma sırasında güvem eriği kabuklarının yapısında oluştuğu düşünülen bozunmalardan dolayı kurutulmuş güvem eriği kabukları taze halinin nem oranına ulaşacak kadar su absorplayamadığı belirlenmiştir. Sıcaklıkla birlikte absorplanabilen su miktarında arttığı görülmüştür. Geri absorplanan su miktarının rehidratasyon süresi ile değişimi için Peleg Model denklemi kullanılmış ve bu modelin güvem eriği kabuklarının rehidratasyon kapasitesi değerleri ile uyumlu olduğu bulunmuştur.
6. *Aktivasyon enerjisi değerleri incelendiğinde;* güvem eriği kabuklarının mikrodalga yöntemi ile kurutulması sırasında kuruma kinetiği için aktivasyon enerjisi değerinin 10.82 W/g olduğu belirlenmiştir. Renk değişim kinetiği için aktivasyon enerjileri hesaplanmış ve her bir renk değişim indisi için elde edilen aktivasyon enerjisi değerleri 7.36-8.61 W/g değerleri arasında olduğu tespit edilmiştir. 30 °C sıcaklıkta gerçekleştirilen rehidratasyon işlemi için aktivasyon enerjisi değeri 2.35 W/g, farklı sıcaklıklarda gerçekleştirilen rehidratasyonu işlemi için aktivasyon enerjisi değeri ise 3.93 kJ/mol olarak bulunmuştur.
7. *Kurumaya bağlı olarak antosiyanin miktarındaki değişim incelendiğinde;* mikrodalga çıkış gücü arttıka ve numune miktarı azaldıkça bozunan antosiyanin miktarı artmıştır.

8. *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>

40 °C sıcaklıkta konvansiyonel kurutma için gereken sürenin 20 g numune için 450 dakika olduğu, minimum 180 W mikrodalga çıkış gücü kullanıldığında (10.083 dakika) bu sürenin 44.63 katı olduğu bulunmuştur. Renk değişimi incelendiğinde, güvem eriği kabuklarının renginin farklılaştığı görülmüştür. Yüksek sıcaklıklarda antosiyanin pigmentleri bozunduğu için kahverengi bileşenler oluşur ve karamelizasyon reaksiyonları gerçekleşir. Bu da renk değişimine sebep olur. Elde edilen deneysel veriler kullanılarak yapılan matematiksel modelleme çalışmaları sonucunda; L, a, Kroma (CV), Toplam Renk Değişimi (ΔE), Renk Açısı (HA) ve Kahverengileşme İndeksi (BI) değerlerinin değişimlerinin Sıfırıncı Dereceden Kinetik Modele, b değerinin ise Birinci 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. Antioksidan ve antimikrobiyal aktivitesi incelebilir.
3. Vitamin B, E ve C kayıpları incelenebilir.
4. Su aktivitesi ve büzüşme oranları incelenebilir.
5. Kurutma sırasında dokuda meydana gelen değişimler incelenebilir.

KAYNAKÇA

[1] Fenemma, O.R. (1975). Principles of Food Science, Marcel Dekker Inc, New York, Amerika.

[2] Meier, R.W., (1985), "Fruit and vegetable processing", Vegetable Dehydration. Food, 62: 23- 25.

[3] James IF, Kuipers B., (2003), "Preservation of fruit and vegetables", 4th edn. Agromisa Foundation, Wageningen, 1–12.

[4] Nummer, A. B., National Center for Home Food Preservation, https://nchfp.uga.edu/publications/nchfp/factsheets/food_pres_hist.html , Ekim 2020.

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

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

[7] Vega-Mercado, H., Gongora-Nieto, M. M., & Barbosa-Canovas, G. V. (2001). "Advances in dehydration of foods". Journal of Food Engineering, 49, 271-289.

[8] Osepchuk, J. M., (1984). "A History of Microwave Heating Applications". IEEE Transactions on Microwave Theory and Techniques, 32(9): 1200-1224.

[9] Shaheen, S.M., El-Massry,F.K., El-Ghorab, H.A. and Anjum, M.F. (2012). Microwave applications in thermal food processing. In: The Development and Application of Microwave Heating. [Wenbin Cao (ed.)], INTECH, Science technology and medicine Access Publisher.

[10] Tuğrul, N., Doymaz, İ. ve Pala M. (2001), Dereotunun Kurutma Karakteristiklerinin İncelenmesi. Gıda, 26(6): 403-407.

[11] Von Gersdorff, G. J. E., Bantle, M., Hensel, O., & Sturm, B. (2018). "Drying and chilling/ freezing of perishable foods in the organic sector". In C. M. Galanakis (Ed.). Sustainable food systems from agriculture to industry: improving production and processing, Academic Press., 247–256.

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

[13] Özsoy E., (2015) Mikrodalga Bantlı Kurutucuda Elma (Gala) Dilimlerinin

Kuruma Davranışı. Y.Lisans Tezi, Namık Kemal Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü,Tekirdağ.

[14] Teymur, N. (1999). Maydanoz ve dereotunun kurutulması ve kuruma karakteristiklerinin incelenmesi. Yüksek Lisans Tezi, Yıldız Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.

[15] Potter, N.N. ve Hotchkiss, H., (1998), Food Science, Chapman & Hall Publication, New York.

[16] 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.

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

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

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

[20] 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.

[21] Kocayiğit, F., (2010). Bazı Sebzelerin Kurutma Karakteristiklerinin İncelenmesi, Yüksek Lisans Tezi, YTÜ, Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.

[22] Pratt, G.H. (1974), Timber Drying Manual, Building Research Establishment Report, Her Majesty's Stationary Office, Londra.

[23] 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.

[24] Page, G.E., (1949). Factors influencing the maximum rates of air drying shelled corn in thin layers, M. Sc. Thesis, Purdue University, Lafayette.

[25] Cemeroğlu, B., Karadeniz F. ve Özkan M., (2003). "Meyve ve Sebze İşleme Teknolojisi, Bölüm: Kurutma Teknolojisi". Gıda Teknolojisi Derneği Yayınları, 28:541-675.

[26] Ratti, C., (2009). Advances in Food Dehydration; Taylor & Francis: Boca Raton, FL.

[27] Lewicki, P. (1998), "Some remarks on rehydration of dried foods", Journal of Food Engineering, 36(1): 81-87.

[28] Chen, X. D., Mujumdar, A. S. (Eds.), (2008). Drying Technologies in Food Processing, Wiley-VCH, Hoboken, NJ, USA.

[29] 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.

[30] Fellows, P.J., (2000). Food Processiing Technology, 2nd Edition, Woodhead Publishing, Cambridge.

[31] Eskin, N.A.M., Henderson, H.M. ve Townsend, R.J. (1971), Biochemistry of Foods, Academic Press, New York.

[32] Maskan, M. (2001), "Drying, shrinkage and rehydration characteristics of kiwifruits during hot air and microwave drying", Journal of Food Engineering, 48:(2):177-182.

[33] 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.

[34] Van Boekel, M.A.J.S., (2001). "Kinetic Aspects of the Maillard Reaction: a Critical Review, Nahrung, 45: 150–159.

[35] Ames, J., M. (1998), "Applications of the Maillard reaction in the food industry", Food Chemistry, 62:(4), 431-439.

[36] DeMan, J., M. (1990), Principles of Food Chemistry, Apsen Publication, 2nd Edition, New York, Amerika.

[37] Maskan, M. (2001), "Kinetics of colour change of kiwifruits during hot air and microwave drying", Journal of Food Engineering, 48:169-175.

[38] 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.

[39] 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.

[40] 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 of Biochemıstry And Biophysics, 358(1):171–181.

[41] Mujumdar. A. S. (2012), Lecture Notes: Industrial Transfer Processes, Faculty of Engineering, National University of Singapore, Singapur.

[42] Gürses, A.Ü. (1986). Ders Kitabı: Gıda İşleme Mühendisliği, Ankara Üniversitesi Ziraat Fakültesi Yayınları, Ankara.

[43] Türk Tesisat Mühendisleri Derneği, (2016). "Endüstriyel Kurutma Sistemleri". Türk Tesisat Mühendisleri Derneği Dergisi, Issue 13:1-11.

[44] Çalıskan, M.K. (2002), Mikrodalga enerjisi ile kurutma, Yüksek Lisans Tezi, İTÜ, Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.

[45] Decareau, V.R. (1985), Microwaves in the Food Processing Industry, Academic Press, Inc., London.

[46] Strumillo, C. ve Kudra, T., (1986). Drying: Principles, Applications and Design, Gordon and Breach Science Publishers, New York.

[47] Kayhan, Ö. (1986) , "Mikrodalgalar ve Sağlığımız", Bilim ve Teknik, 19 (220):14.

[48] Gölcü, M. ve Şen, F., (2014). "Mikrodalga İle Islak Viyolün Kurutulabilirliğinin Deneysel Olarak İncelenmesi". Pamukkale Üniversitesi Mühendislik Bilimleri Dergisi, 20(4):111-115.

[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] Kingston, H.M., Jassie,L.B. (1988). Introduction to Microwave Sample Preparation Theory and Practice. Washington:American Chemical Society.

[51] Microwave Oven, http://www.smecc.org/microwave_oven.htm, Ekim 2020

[52] Konak, Ü. İ., Certel, M. ve Helhel, S., (2009). "Gıda Sanayisinde Mikrodalga Uygulamaları". Gıda Teknolojileri Elektronik Dergisi, 4(3):20-31.

[53] Decareau, V.R. (1992), Encyclopaedia of Food Science and Technology, 3:1772-1778.

[54] 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.

[55] İstanbul Sanayi Odası-İstanbul Teknik Üniversitesi, (2010). Gıda İşlemede Kurutma Teknolojilerinin Temel İlkeleri, İstanbul Sanayi Odası.

[56] Schubert, H. ve Reiger, M. (2005), The Microwave Processing of Foods, Woodhead Publishing Limited, Abington Hall, Abington.

[57] Singh R.P. ve Holdman D.R., (2001). Introduction to Food Engineering, 2nd Edition, Academic Press, London.

[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] Başkaya, S., D., Tokatlı E., K., Demiröven A., (2016) “Çakal Eriği ve Yonuz Eriği Marmelatları”. J Agric Fac Gaziosmanpasa Univ;33:125-131.

[62] Marakoğlu, T., Arslan, D., Özcan, M., & Hacıseferoğulları, H. (2005). “Proximate composition and technological properties of fresh blackthorn (Prunus spinosa L. subsp dasyphylla (Schur.)) fruits”. Journal of Food Engineer, 68: 137–142.

[63] Leichtweis, M. G., Pereira, C., Prieto, M. A., Barreiro, M. F., Baraldi, I. J., Barros, L., et al. (2019). “Ultrasound as a rapid and low-cost extraction procedure to obtain anthocyanin-based colorants from prunus spinosa L. fruit epicarp: comparative study with conventional heat-based extraction”. Molecules 24 (3): 573–590.

[64] Ulusoy, A. (2019), Karayemiş (Prunus laurocerasus), Siyah Havuç (Daucus carota L. ssp. sativus var. atrorubens Alef.), Güvem (Prunus spinosa) ve Ahududu (Rubus idaeus) Kullanılarak Üretilen Kombucha Çaylarının Antioksidan Aktivitelerinin Araştırılması VE Antosiyanin Miktarının Belirlenmesi, Yüksek Lisans Tezi, Uludağ Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Bursa.

[65] Bridle, P. and Timberlake, C. F., (1997) "Anthocyanins as natural food colour-selected aspects”, Food Chem., 58(1-2): 103–109.

[66] E. Backes, C. Pereira, L. Barros, M.A. Prieto, A.K. Genena, M.F. Barreiro, I.C.F.R. Ferreira, (2018), “Recovery of bioactive anthocyanin pigments from Ficus carica L. peel by heat, microwave, and ultrasound based extraction techniques”, Food Res. Int., 113: 197–209.

[67] Atlı, B. (2010), Gıda Boyaları, Yüksek Lisans Tezi, Namık Kemal Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Tekirdağ.

[68] Ekici, L. (2011), Üzüm Kabuğu, Siyah Havuç ve Kırmızı Lahanadan Eksrakte Edilen Antosiyanin Bazlı Renk Maddelerinin Biyolojik Özelliklerinin Belirlenmesi ve Bazı Gıda Maddelerinde Renklendirici Olarak Kullanımı, Doktora Tezi, Erciyes Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Kayseri.

[69] Yaralı, E. (2020). Ders Kitabı: Meyve ve Sebze Teknolojisi I, Adnan Menderes Üniversitesi, Aydın.

[70] V. González-de-Peredo, A.; Vázquez-Espinosa, M.; Espada-Bellido, E.; Ferreiro-González, M.; Carrera, C.; Palma, M.; Álvarez, J.Á.; Barbero, G.F.; Ayuso, J., (2020), "Optimization of Analytical Ultrasound-Assisted Methods for the Extraction of Total Phenolic Compounds and Anthocyanins from Sloes (Prunus spinosa L.)", Agronomy, 10, 966.

[71] Sikora, E., Bieniek, M. I., & Borczak, B. (2013). "Composition and antioxidant properties of fresh and frozen stored blackthorn fruits (Prunus spinosa L.)", Acta Scientiarum Polonorum:Technologia Alimentaria, 12: 365–372.

[72] Çalısır, S., Hacıseferoğulları, H., Özcan, M., & Arslan, D. (2005). Some nutritional and technological properties of wild plum (Prunus spp) fruits in Turkey. Journal of Food Engineering, 66: 223–237.

[73] Özcan, T., (2008) Some vitamin and organic acid contents in the fruits of Prunus spinosa L. subsp. Dasyphulla (Schur) domin from Europe-in-Turkey. IUFS J Biol 67:105–114.

[74] Velickovic J. M., Kostic D. A., Stojanovic G. S., Mitic S. S., Mitic M.N., Randelovic S.S., et al. (2014) "Phenolic composition, antioxidant and antimicrobial activity of the extracts from Prunus spinosa L. fruit". Hem Ind ;68:297-303.

[75] Barros, L., Carvalho, A.M., Morais, J.S., Ferreira, I.C.F.R., (2010) "Strawberry-tree, blackthorn and rose fruits: detailed characterisation in nutrients and phytochemicals with antioxidant properties", Food Chem. 120: 247–254.

[76] Alibaş, İ., Parveez Zia, M., Yılmaz, A., Aşık, B. B., (2020). "Drying kinetics and quality characteristics of green apple peel (Mallus communis L. var. "Granny Smith") used in herbal tea production". J. Food Process Preserv. 44(2): 1-13.

[77] Manzoor, S.; Yusof, Y.A.; Ling, C.N.; Tawakkal, I.S.M.A.; Fikry, M.; Sin, C.L., (2019), "Thin-layer drying characteristics of papaya (Carica papaya) peel using convection oven and microwave drying". Pertanika J. Sci. Technol., 27: 1207–1226.

[78] Anuar, M.S.; Tahir, S.M.; Najeeb, M.I.; Ahmad, S., (2019), "Banana (Musa acuminata) peel drying and powder characteristics obtained through shade and microwave drying processes". Adv. Mater. Process. Technol., 5: 181–190.

[79] Tuncer, A.D., Güler, H.Ö., Usta, H., (2020), "Pomelo (Citrus Maxima) kabuğu kuruma karakteristiğinin modellenmesi", El-Cezerî Fen ve Mühendislik Dergisi, 7 (1): 198-210.

[80] Chew, Y.M.; King, V.A.E., (2019), “Microwave drying of pitaya (Hylocereus) peel and the effects compared with hot-air and freeze-drying”. Trans. ASABE, 62: 919–928.

[81] Galaz P., Valdenegro M., Ramírez C., Nunez H., Almonacid S. and Simpson R., (2017), “Effect of drumdrying temperature on drying kinetic and polyphenol contents in pomegranate peel”. J Food Eng 208:19-27.

[82] Chuyen, H.V.; Roach, P.D.; Golding, J.B.; Parks, S.E.; Nguyen, M.H., (2017), “Effects of four different drying methods on the carotenoid composition and antioxidant capacity of dried gac peel”. J. Sci. Food Agric., 97:1656–1662.

[83] Kessy, H. N. E., Hu, Z., Zhao, L. and Zhou, M. (2016). “Effect of steam blanching and drying on phenolic compounds of litchi pericarp”. Molecules, 21:1–9.

[84] Ghanem, N., Mihoubi, D., Kechaou, N., Mihoubi, N. B., (2012). “Microwave dehydration of three citrus peel cultivars: Effect on water and oil retention capacities, color, shrinkage and total phenols content”. Industrial Crops and Products, 40: 167– 177.

[85] Bejar, K. A., Kechaou, N., & Boudhrioua Mihoubi, N. (2011). “Effect of microwave treatment on physical and functional properties of orange (Citrus Sinensis) peel and leaves”. Food Processing and Technology, 2, 109.

[86] Konica Minolta, Renk işareti ölçer CR-400 / CR-410, https://www.konicaminolta.eu/tr/measuringinstruments/products/colour-measurement/chroma-meters/cr-400-410/specifications.html, Ekim 2020.

[87] Hunter Lab, Application Notes, http://www.hunterlab.com/application-notes.html, Ekim 2020.

[88] Giusti, M.M., Wrolstad, R.E., (2001), “Characterization and measurement of anthocyanins by UV-visible spectroscopy”. In R. E. Wrolstad (Ed.), Current Protocols in Food Analytical Chemistry; John Wiley & Sons: New York, USA, F1.2.1-13.

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

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

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

[92] 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.

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

[94] 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.

[95] Ersus, S., Yurdagel, Ü., (2006). "Meyve ve Sebzelerde Bulunan Antosiyaninlerin Kimyasal Yapısı ve Stabilitesini Etkileyen Faktörler", Dünya Gıda, 10: 78-87.

[96] Mclellan, M. R., Lind, L. R., 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.

[97] 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.

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

[99] Lohachoompol, V.; Srzednicki, G.; Craske, J., (2004), "The change of total anthocyanins in blueberries and their antioxidant effect after drying and freezing". J. Biomed. Biotechnol., 5: 248–252.

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

A

GÜVEM ERİĞİ NUMUNESİNİN KURUTULMASI SIRASINDA MİKRODALGA ÇIKIŞ GÜCÜNÜN KURUMA KİNETİĞİ ÜZERİNDEKİ ETKİSİNE AİT DENEYSEL VERİLER

Tablo A.1 180 W mikrodalga çıkış gücünde 20 g güvem eriği kabuk numunesinin kurutulmasına ait deneysel veriler

Kuruma Süresi (dak)	Numune (g)	Nem İçeriği (g su/g kuru madde)	Nem Oranı (MR)
0	20.01	1.429	1.000
1	19.32	1.345	0.941
2	18.10	1.210	0.846
3	16.90	1.051	0.736
4	15.44	0.874	0.612
5	14.18	0.721	0.505
6	13.06	0.585	0.410
7	11.93	0.448	0.314
8	10.98	0.333	0.233
9	9.87	0.198	0.139
10.08	9.02	0.095	0.066

Tablo A.2 360 W mikrodalga çıkış gücünde 20 g güvem eriği kabuk numunesinin kurutulmasına ait deneysel veriler

Kuruma Süresi (dak)	Numune (g)	Nem İçeriği (g su/g kuru madde)	Nem Oranı (MR)
0	20.02	1.429	1.000
1	17.20	1.087	0.761
2	14.36	0.742	0.519
2.5	12.95	0.571	0.400
3	11.53	0.399	0.279
3.5	10.12	0.228	0.159
4	9.28	0.126	0.088
4.17	9.05	0.098	0.069

Tablo A.3 540 W mikrodalga çıkış gücünde 20 g güvem eriği kabuk numunesinin kurutulmasına ait deneysel veriler

Kuruma Süresi (dak)	Numune (g)	Nem İçeriği (g su/g kuru madde)	Nem Oranı (MR)
0	20.00	1.429	1.000
0.5	18.93	1.299	0.909
1	16.88	1.050	0.735
1.5	14.52	0.763	0.5345
2	12.62	0.533	0.373
2.5	11.00	0.336	0.235
3	9.74	0.183	0.128
3.33	9.28	0.127	0.089
3.55	9.03	0.097	0.068

Tablo A.4 720 W mikrodalga çıkış gücünde 20 g güvem eriği kabuk numunesinin kurutulmasına ait deneysel veriler

Kuruma Süresi (dak)	Numune (g)	Nem İçeriği (g su/g kuru madde)	Nem Oranı (MR)
0	20.02	1.429	1.000
0.67	17.51	1.124	0.787
1.33	13.44	0.631	0.4417
2	10.62	0.289	0.202
2.67	9.28	0.126	0.088
2.92	9.04	0.097	0.068

Tablo A.5 900 W mikrodalga çıkış gücünde 20 g güvem eriği kabuki numunesinin kurutulmasına ait deneysel veriler

Kuruma Süresi (dak)	Numune (g)	Nem İçeriği (g su/g kuru madde)	Nem Oranı (MR)
0	20.00	1.429	1.000
0.5	14.52	0.764	0.534
1	12.00	0.458	0.320
1.5	10.54	0.280	0.196
2	9.68	0.176	0.123
2.17	9.51	0.155	0.109
2.33	9.28	0.127	0.089
2.55	9.05	0.099	0.070

B

GÜVEM ERİĞİ KABUK NUMUNESİNİN KURUTULMASI SIRASINDA MİKRODALGA ÇIKIŞ GÜCÜNÜN RENK DEĞİŞİMİ ÜZERİNDEKİ ETKİSİNE AİT DENEYSEL VERİLER

Tablo B.1 180 W mikrodalga çıkış gücünde kurutulan 20 g güvem eriği kabuk numunesinin renk değişimine ait deneysel veriler

Kuruma Süresi (dak)	L	a	b	ΔE
0	18.55	1.80	-1.13	0
2	16.63	1.55	-0.85	1.96
4	14.99	1.30	-0.60	3.63
6	14.16	1.05	-0.30	4.53
8	13.32	0.82	-0.06	5.43
10.08	12.36	0.62	0.34	6.47

Tablo B.2 360 W mikrodalga çıkış gücünde kurutulan 20 g güvem eriği kabuk numunesinin renk değişimine ait deneysel veriler

Kuruma Süresi (dak)	L	a	b	ΔE
0	18.55	1.80	-1.13	0
0.83	17.35	1.54	-0.84	1.26
1.66	16.59	1.28	-0.55	2.11
2.5	15.16	1.01	-0.25	3.59
3.33	13.26	0.80	0.10	5.52
4.16	11.75	0.59	0.42	7.08

Tablo B.3 540 W mikrodalga çıkış gücünde kurutulan 20 g güvem eriği kabuk numunesinin renk değişimine ait deneysel veriler

Kuruma Süresi (dak)	L	a	b	ΔE
0	18.55	1.8	-1.13	0
0.72	16.30	1.52	-0.80	2.29
1.43	15.83	1.25	-0.45	2.86
2.15	14.87	1.00	-0.20	3.88
2.87	12.70	0.78	0.15	6.07
3.55	11.62	0.55	0.52	7.23

Tablo B.4 720 W mikrodalga çıkış gücünde kurutulan güvem eriği kabuk numunesinin renk değişimine ait deneysel veriler

Kuruma Süresi (dak)	L	a	b	ΔE
0	18.55	1.80	-1.13	0
0.58	17.16	1.50	-0.78	1.47
1.17	15.59	1.23	-0.43	3.09
1.75	14.15	0.98	-0.18	4.58
2.33	12.83	0.75	0.20	5.97
2.92	10.92	0.50	0.56	7.92

Tablo B.5 900 W mikrodalga çıkış gücünde kurutulan 20 g güvem eriği kabuki numunesinin renk değişimine ait deneysel veriler

Kuruma Süresi (dak)	L	a	b	ΔE
0	18.55	1.8	-1.13	0
0.5	15.98	1.45	-0.75	2.62
1	14.05	1.20	-0.40	4.60
1.5	13.25	0.95	-0.10	5.46
2	11.93	0.69	0.25	6.85
2.55	10.03	0.45	0.60	8.80

C

GÜVEM ERİĞİ KABUK NUMUNESİNİN KURUTULMASI SIRASINDA MİKRODALGA ÇIKIŞ GÜCÜNÜN REHİDRATASYON KAPASİTESİ ÜZERİNDEKİ ETKİSİNE AİT DENEYSEL VERİLER

Tablo C.1 180 W mikrodalga çıkış gücünde kurutulan 20 g güvem eriği kabuk numunesinin rehidratasyon kapasitesine ait deneysel veriler

Rehidratasyon Süresi (dak)	Numune (g)	Nem İçeriği (g su/g kuru madde)
0	2.00	0.1
1	2.68	0.47
3	2.74	0.51
5	3.03	0.67
10	3.19	0.75
20	3.32	0.83
60	3.55	0.95
120	3.82	1.10

Tablo C.2 360 W mikrodalga çıkış gücünde kurutulan 20 g güvem eriği kabuk numunesinin rehidratasyon kapasitesine ait deneysel veriler

Rehidratasyon Süresi (dak)	Numune (g)	Nem İçeriği (g su/g kuru madde)
0	2.00	0.10
1	2.70	0.49
3	2.83	0.56
5	3.08	0.69
10	3.25	0.79
20	3.40	0.87
60	3.60	0.98
120	3.90	1.15

Tablo C.3 540 W mikrodalga çıkış gücünde kurutulan 20 g güvem eriği kabuk numunesinin rehidratasyon kapasitesine ait deneysel veriler

Rehidratasyon Süresi (dak)	Numune (g)	Nem İçeriği (g su/g kuru madde)
0	2.00	0.10
1	2.75	0.51
3	2.90	0.60
5	3.15	0.73
10	3.32	0.83
20	3.47	0.91
60	3.70	1.04
120	4.02	1.21

Tablo C.4 720 W mikrodalga çıkış gücünde kurutulan 20 g güvem eriği kabuk numunesinin rehidratasyon kapasitesine ait deneysel veriler

Rehidratasyon Süresi (dak)	Numune (g)	Nem İçeriği (g su/g kuru madde)
0	2.00	0.10
1	2.77	0.52
3	2.92	0.61
5	3.18	0.75
10	3.36	0.85
20	3.50	0.93
60	3.72	1.05
120	4.05	1.23

Tablo C.5 900 W mikrodalga çıkış gücünde kurutulan 20 g güvem eriği kabuk numunesinin rehidratasyon kapasitesine ait deneysel veriler

Rehidratasyon Süresi (dak)	Numune (g)	Nem İçeriği (g su/g kuru madde)
0	2.00	0.10
1	2.80	0.54
3	2.95	0.62
5	3.20	0.76
10	3.40	0.87
20	3.53	0.94
60	3.75	1.06
120	4.10	1.26

D

SABİT MİKRODALGA ÇIKIŞ GÜCÜNDE KURUTULAN GÜVEM ERİĞİ KABUK NUMUNESİNİN AĞIRLIĞININ KURUMA KİNETİĞİ ÜZERİNDEKİ ETKİSİNE AİT DENEYSEL VERİLER

Tablo D.1 360 W sabit mikrodalga çıkış gücünde 20 g güvem eriği kabuk numunesinin kurutulmasına ait deneysel veriler

Kuruma Süresi (dak)	Numune (g)	Nem İçeriği (g su/g kuru madde)	Nem Oranı (MR)
0	20.02	1.429	1.000
1	17.20	1.220	0.854
2	14.36	0.900	0.630
2.5	12.95	0.703	0.492
3	11.53	0.514	0.360
3.5	10.12	0.262	0.183
4	9.28	0.126	0.088
4.17	9.05	0.098	0.069

Tablo D.2 360 W sabit mikrodalga çıkış gücünde 40 g güvem eriği kabuk numunesinin kurutulmasına ait deneysel veriler

Kuruma Süresi (dak)	Numune (g)	Nem İçeriği (g su/g kuru madde)	Nem Oranı (MR)
0	40.05	1.429	1.000
1	36.97	1.242	0.869
2	32.78	0.988	0.691
3	28.50	0.729	0.510
4	26.10	0.583	0.408
5	23.59	0.431	0.3018
6	19.97	0.211	0.148
6.5	18.13	0.099	0.070

Tablo D.3 360 W sabit mikrodalga çıkış gücünde 60 g güvem eriği kabuk numunesinin kurutulmasına ait deneysel veriler

Kuruma Süresi (dak)	Numune (g)	Nem İçeriği (g su/g kuru madde)	Nem Oranı (MR)
0	60.05	1.429	1.000
1	56.57	1.288	0.901
2	52.50	1.124	0.786
3	47.80	0.934	0.653
4	42.98	0.739	0.517
5	38.70	0.565	0.396
6	36.40	0.472	0.331
7	33.50	0.355	0.248
8	29.20	0.181	0.127
8.5	27.05	0.094	0.066

Tablo D.4 360 W sabit mikrodalga çıkış gücünde 80 g güvem eriği kabuk numunesinin kurutulmasına ait deneysel veriler

Kuruma Süresi (dak)	Numune (g)	Nem İçeriği (g su/g kuru madde)	Nem Oranı (MR)
0	80.02	1.429	1.000
1	75.14	1.281	0.896
2	70.40	1.137	0.796
3	65.80	0.997	0.698
4	61.32	0.861	0.603
5	57.00	0.730	0.511
6	52.80	0.603	0.422
7	48.73	0.479	0.335
8	44.80	0.360	0.252
9	41.01	0.245	0.171
10	37.36	0.134	0.094
10.33	36.19	0.099	0.069

Tablo D.5 360 W sabit mikrodalga çıkış gücünde 100 g güvem eriği kabuk numunesinin kurutulmasına ait deneysel veriler

Kuruma Süresi (dak)	Numune (g)	Nem İçeriği (g su/g kuru madde)	Nem Oranı (MR)
0	100.02	1.429	1.000
2	92.63	1.250	0.874
4	84.35	1.048	0.734
6	76.60	0.860	0.602
8	69.50	0.688	0.481
10	62.90	0.528	0.369
12	56.80	0.379	0.266
14	51.40	0.248	0.174
16	46.50	0.129	0.090
16.5	45.10	0.095	0.067

E

SABİT MİKRODALGA ÇIKIŞ GÜCÜNDE KURUTULAN GÜVEM ERİĞİ KABUK NUMUNESİNİN AĞIRLIĞININ RENK DEĞİŞİMİ ÜZERİNDEKİ ETKİSİNE AİT DENEYSEL VERİLER

Tablo E.1 360 W sabit mikrodalga çıkış gücünde kurutulan 20 g güvem eriği kabuk numunesinin renk değişimine ait deneysel veriler

Kuruma Süresi (dak)	L	a	b	ΔE
0	18.55	1.80	-1.13	0
0.83	17.35	1.54	-0.84	1.26
1.66	16.59	1.28	-0.55	2.11
2.5	15.16	1.01	-0.25	3.59
3.33	13.26	0.80	0.10	5.52
4.16	11.75	0.59	0.42	7.08

Tablo E.2 360 W sabit mikrodalga çıkış gücünde kurutulan 40 g güvem eriği kabuk numunesinin renk değişimine ait deneysel veriler

Kuruma Süresi (dak)	L	a	b	ΔE
0	18.55	1.80	-1.13	0
1.3	16.29	1.56	-0.87	2.29
2.6	15.32	1.32	-0.56	3.32
3.9	14.49	1.07	-0.27	4.22
5.2	13.30	0.85	0.01	5.46
6.5	12.39	0.61	0.34	6.44

Tablo E.3 360 W sabit mikrodalga çıkış gücünde kurutulan 60 g güvem eriği kabuk numunesinin renk değişimine ait deneysel veriler

Kuruma Süresi (dak)	L	a	b	ΔE
0	18.55	1.80	-1.13	0
1.7	16.32	1.60	-0.88	2.18
3.4	15.47	1.35	-0.6	3.03
5.1	14.33	1.12	-0.32	4.18
6.8	13.89	0.95	-0.04	4.62
8.5	13.04	0.63	0.29	5.51

Tablo E.4 360 W sabit mikrodalga çıkış gücünde kurutulan 80 g güvem eriği kabuk numunesinin renk değişimine ait deneysel veriler

Kuruma Süresi (dak)	L	a	b	ΔE
0	18.55	1.80	-1.13	0
2.07	17.68	1.62	-0.86	0.93
4.13	16.12	1.36	-0.61	2.52
6.2	14.99	1.15	-0.33	3.71
8.27	13.71	0.98	-0.05	5.03
10.33	13.51	0.66	0.26	5.35

Tablo E.5 360 W sabit mikrodalga çıkış gücünde kurutulan 100 g güvem eriği kabuk numunesinin renk değişimine ait deneysel veriler

Kuruma Süresi (dak)	L	a	b	ΔE
0	18.55	1.80	-1.13	0
4	17.38	1.52	-0.79	1.25
8	16.48	1.25	-0.43	2.25
12	14.25	1.00	-0.12	4.49
16.5	13.81	0.70	0.24	5.05

F

SABİT MİKRODALGA ÇIKIŞ GÜCÜNDE KURUTULAN GÜVEM ERİĞİ KABUK NUMUNESİNİN AĞIRLIĞININ REHİDRATASYON KAPASİTESİ ÜZERİNDEKİ ETKİSİNE AİT DENEYSEL VERİLER

Tablo F.1 360 W sabit mikrodalga çıkış gücünde kurutulan 20 g güvem eriği kabuk numunesinin rehidratasyon kapasitesine ait deneysel veriler

Rehidratasyon Süresi (dak)	Numune (g)	Nem İçeriği (g su/g kuru madde)
0	2.00	0.10
1	2.70	0.49
3	2.83	0.56
5	3.08	0.69
10	3.25	0.79
20	3.40	0.87
60	3.60	0.98
120	3.90	1.15

Tablo F.2 360 W sabit mikrodalga çıkış gücünde kurutulan 40 g güvem eriği kabuk numunesinin rehidratasyon kapasitesine ait deneysel veriler

Rehidratasyon Süresi (dak)	Numune (g)	Nem İçeriği (g su/g kuru madde)
0	2.00	0.10
1	2.65	0.46
3	2.80	0.54
5	3.02	0.66
10	3.20	0.76
20	3.35	0.84
60	3.57	0.96
120	3.85	1.12

Tablo F.3 360 W sabit mikrodalga çıkış gücünde kurutulan 60 g güvem eriği kabuk numunesinin rehidratasyon kapasitesine ait deneysel veriler

Rehidratasyon Süresi (dak)	Numune (g)	Nem İçeriği (g su/g kuru madde)
0	2.00	0.10
1	2.61	0.44
3	2.76	0.52
5	2.98	0.64
10	3.15	0.73
20	3.32	0.83
60	3.55	0.95
120	3.80	1.09

Tablo F.4 360 W sabit mikrodalga çıkış gücünde kurutulan 80 g güvem eriği kabuk numunesinin rehidratasyon kapasitesine ait deneysel veriler

Rehidratasyon Süresi (dak)	Numune (g)	Nem İçeriği (g su/g kuru madde)
0	2.00	0.10
1	2.55	0.40
3	2.72	0.50
5	2.85	0.57
10	3.13	0.72
20	3.30	0.82
60	3.50	0.93
120	3.72	1.05

Tablo F.5 360 W sabit mikrodalga çıkış gücünde kurutulan 100 g güvem eriği kabuk numunesinin rehidratasyon kapasitesine ait deneysel veriler

Rehidratasyon Süresi (dak)	Numune (g)	Nem İçeriği (g su/g kuru madde)
0	2.00	0.10
1	2.50	0.38
3	2.68	0.47
5	2.82	0.55
10	3.11	0.71
20	3.24	0.78
60	3.42	0.88
120	3.68	1.02

G

SABİT MİKRODALGA ÇIKIŞ GÜCÜNDE KURUTULAN GÜVEM ERİĞİ KABUK NUMUNESİNİN REHİDRATASYON SICAKLIĞININ REHİDRATASYON KAPASİTESİ ÜZERİNDEKİ ETKİSİNE AİT DENEYSEL VERİLER

Tablo G.1 45 °C rehidratasyon sıcaklığında sabit mikrodalga gücünde kurutulan 20 g güvem eriği kabuk numunesinin rehidratasyon kapasitesine ait deneysel veriler (Mikrodalga çıkış gücü = 360 W)

Rehidratasyon Süresi (dak)	Numune (g)	Nem İçeriği (g su/g kuru madde)
0	2.00	0.10
1	2.72	0.50
3	2.85	0.57
5	3.10	0.71
10	3.27	0.80
20	3.42	0.88
60	3.62	0.99
120	3.93	1.16

Tablo G.2 55 °C rehidratasyon sıcaklığında sabit mikrodalga gücünde kurutulan 20 g güvem eriği kabuk numunesinin rehidratasyon kapasitesine ait deneysel veriler (Mikrodalga çıkış gücü = 360 W)

Rehidratasyon Süresi (dak)	Numune (g)	Nem İçeriği (g su/g kuru madde)
0	2.00	0.10
1	2.75	0.51
3	2.88	0.58
5	3.15	0.73
10	3.30	0.82
20	3.45	0.90
60	3.65	1.01
120	3.96	1.18

Tablo G.3 70 °C rehidratasyon sıcaklığında sabit mikrodalga gücünde kurutulan 20 g güvem eriği kabuk numunesinin rehidratasyon kapasitesine ait deneysel veriler (Mikrodalga çıkış gücü = 360 W)

Rehidratasyon Süresi (dak)	Numune (g)	Nem İçeriği (g su/g kuru madde)
0	2.00	0.10
1	2.78	0.53
3	2.90	0.60
5	3.20	0.76
10	3.32	0.83
20	3.50	0.93
60	3.70	1.04
120	4.02	1.21

H

GÜVEM ERİĞİ KABUK NUMUNESİNİN KONVANSİYONEL YÖNTEM İLE KURUTULMASININ KURUMA KİNETİĞİ ÜZERİNDEKİ ETKİSİNE AİT DENEYSEL VERİLER

Tablo H.1 Konvansiyonel yöntem ile kurutulan 20 g güvem eriği numunesinin nem içeriğine ve nem oranına ait deneysel veriler (Sıcaklık = 40 °C)

Kuruma Süresi (dak)	Numune (g)	Nem İçeriği (g su/g KM)	Nem Oranı (MR)
0	20.06	1.429	1.000
30	16.81	1.035	0.725
60	15.12	0.831	0.581
90	13.97	0.692	0.484
120	13.06	0.581	0.407
150	12.60	0.526	0.368
180	12.07	0.462	0.323
210	11.63	0.408	0.286
240	11.25	0.362	0.253
270	10.92	0.322	0.226
300	10.62	0.286	0.200
330	10.20	0.235	0.165
360	10.00	0.211	0.148
390	9.79	0.185	0.130
420	9.69	0.173	0.121
450	9.60	0.162	0.114

I

GÜVEM ERİĞİ KABUK NUMUNESİNİN KONVANSİYONEL YÖNTEM İLE KURUTULMASININ RENK DEĞİŞİMİ ÜZERİNDEKİ ETKİSİNE AİT DENEYSEL VERİLER

Tablo I.1 Konvansiyonel yöntem ile kurutulan 20 g güvem eriği kabuk numunesinin renk değişimine ait deneysel veriler (Sıcaklık = 40 °C)

Kuruma Süresi (dak)	L	a	b	ΔE
0	18.85	1.800	-1.13	0
90	18.40	1.701	-0.77	0.585
180	17.62	1.620	-0.52	1.385
270	16.80	1.516	-0.44	2.182
360	15.85	1.400	-0.38	3.118
450	15.36	1.330	-0.27	3.625

TEZDEN ÜRETİLMİŞ YAYINLAR

İletişim Bilgisi: eda.kurnaz@hotmail.com

Konferans Bilgileri

1. Ozden, E., Yilmaz, P., Demirhan, E., Ozbek, B., (2020) "Kinetic Modelling Studies on the Microwave-dried Blackthorn Fruit Epicarp", Proceedings of Academics Conference Network (ACN) International Conference-2020, İstanbul, Türkiye, 05 Nisan 2020, pp.51.