T.C.
YILDIZ TEKNİK ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

DENİZ BÖRÜLCESİNİN MİKRODALGA TEKNİĞİ İLE KURUTULMASI: KURUMA, RENK VE REHİDRATASYON KİNETİĞİNİN MODELLENMESİ

ESRA ALTUN

YÜKSEK LİSANS TEZİ
KİMYA MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI
KİMYA MÜHENDİSLİĞİ YÜKSEK LİSANS PROGRAMI

DANIŞMAN
PROF.DR. BELMA ÖZBEK

İSTANBUL, 2017

T.C.
YILDIZ TEKNİK ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

DENİZ BÖRÜLCESİNİN MİKRODALGA TEKNİĞİ İLE KURUTULMASI: KURUMA, RENK VE REHİDRATASYON KİNETİĞİNİN MODELLENMESİ

Esra ALTUN tarafından hazırlanan tez çalışması 01.06.2017 tarihinde aşağıdaki jüri tarafından Yıldız Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Kimya Mühendisliği Anabilim Dalı'nda **YÜKSEK LİSANS TEZİ** olarak kabul edilmiştir.

Tez Danışmanı

Prof. Dr. Belma ÖZBEK
Yıldız Teknik Üniversitesi

Jüri Üyeleri

Prof. Dr. Belma ÖZBEK
Yıldız Teknik Üniversitesi



Prof. Dr. Dilek KAZAN
Marmara Üniversitesi



Yrd. Doç. Dr. Elçin DEMİRHAN YILMAZ
Yıldız Teknik Üniversitesi

ÖNSÖZ

Tez çalışmam sırasında kıymetli fikir ve önerileri ile beni yönlendiren, yardım eden ve her aşamada beni destekleyen Tez Danışmanım Sayın Prof. Dr. Belma ÖZBEK'e, Lisans ve Yüksek Lisans eğitimimi yaptığım Kimya Mühendisliği Bölümümüzün tüm saygıdeğer Öğretim Üyelerine, çalışmam süresince hiçbir yardımdan kaçınmayan Yrd.Doç.Dr. Elçin DEMİRHAN YILMAZ'a sonsuz teşekkürlerimi sunarım.

Mayıs, 2017

Esra ALTUN

İÇİNDEKİLER

Sayfa

SİMGE LİSTESİ..... ix

KISALTMA LİSTESİ..... x

ŞEKİL LİSTESİ..... xi

ÇİZELGE LİSTESİ..... xiv

ÖZET..... xix

ABSTRACT..... xxi

BÖLÜM 1

GİRİŞ..... 1

1.1 Literatür Özeti..... 1
1.2 Tezin Amacı..... 2
1.3 Hipotez..... 2

BÖLÜM 2

GIDALARIN KURUTULMASI..... 3

2.1 Kurutma Yöntemleri..... 3
2.1.1 Doğal Kurutma..... 4
2.1.2 Yapay Kurutma..... 4
2.2 Kurutma Prensipleri..... 4
2.3 Kurutma Kinetiği..... 4
2.4 Kurutma Eğrilerinin Özellikleri..... 5
2.5 Kuruma Hızını Etkileyen Faktörler..... 6
2.5.1 Sıcaklık..... 6
2.5.2 Kurutma Havasının Hızı..... 7
2.5.3 Kurutulan Gıdanın Yüzey Alanı..... 7
2.5.4 Ortamın Nem İçeriği..... 8
2.5.5 Kurutulan Gıdaya Özgü Nitelikler..... 9

2.6 Gıdaların Kurutulması Sırasında Meydana Gelen Değişimler..... 10
2.6.1 Kimyasal Değişimler..... 11
2.6.2 Biyokimyasal Değişimler..... 12
2.6.3 Fiziksel Değişimler..... 13

BÖLÜM 3

ENDRÜSTRİYEL KURUTUCULAR..... 15

3.1 Akışkan Yataklı Kurutucular..... 15
3.2 Tünel Kurutucular..... 15
3.3 Sprey (Püskürtmeli) Kurutucular..... 17
3.4 Kabin Kurutucular..... 17
3.5 Pnömatik Kurutucular..... 18
3.6 Döner Kurutucular..... 18
3.7 Dondurarak Kurutmanın Yapıldığı Kurutucular..... 19

BÖLÜM 4

MİKRODALGA ve GIDA SANAYİİNDE KULLANIMI..... 20

4.1 Mikrodalga Enerji..... 20
4.2 Mikrodalga Enerjisinin Tarihçesi..... 22
4.3 Mikrodalga Teknolojisi..... 24
4.4 Mikrodalga Jeneratörleri..... 24
4.5 Mikrodalga Bileşenleri..... 25
4.5.1 Magnetronlar..... 25
4.5.2 Güç Ünitesi..... 25
4.5.3 Döner Tabla Motoru..... 25
4.5.4 Yüksek Gerilim Diyotu..... 26
4.5.5 Dalga Kılavuzu..... 26
4.5.6 Yüksek Gerilim Kondansatörü..... 27
4.5.7 Aplikatör..... 27

BÖLÜM 5

DENİZ BÖRÜLCESİ HAKKINDA GENEL BİLGİ..... 28

5.1 Deniz Börülcesi..... 28
5.2 Deniz Börülcesi Yetişme Alanı..... 29
5.3 Deniz börülcesi Faydaları..... 29

BÖLÜM 6

GIDALARIN KURUTULMASINA İLİŞKİN ÇALIŞMALAR..... 30

BÖLÜM 7

MATERYAL VE YÖNTEM..... 34

7.1 Kullanılan Materyaller..... 34
7.2 Kullanılan Cihazlar..... 35
7.2.1 Mikrodalga Fırın..... 35

7.2.2 Su Banyosu..... 36
7.2.3 Renk Ölçüm Cihazı..... 36
7.3 Deneylerin Yapılışı..... 39
7.3.1 Kuruma Hızlarının Belirlenmesi..... 39
7.3.2 Renk Değişimlerinin İncelenmesi..... 39
7.3.3 Rehidratasyon Oranlarının Belirlenmesi..... 40
7.4 Hesaplamalar..... 40
7.4.1 Kuruma Hızının Belirlenmesi İçin Yapılan Hesaplamalar..... 40
7.4.1.1 Nem İçeriğinin Hesaplanması..... 40
7.4.1.2 Kuruma Hızının Hesaplanması..... 41
7.4.1.3 Nem Oranının Hesaplanması..... 41
7.4.1.4 Efektif Difüzivite Katsayısının Hesaplanması..... 41
7.4.2 Renk Değişiminin İncelenmesi İçin Yapılan Hesaplamalar..... 42
7.5 Modelleme Çalışmaları..... 43
7.5.1 Kuruma Kinetiğine Ait Modelleme Çalışmaları..... 43
7.5.2 Renk Değişiminin İncelenmesi İçin Yapılan Modelleme Çalısmaları..... 44
7.5.3 Rehidratasyon Miktarının Belirlenmesi İçin Yapılan Modelleme Çalısmaları..... 45
7.5.4 Aktivasyon Enerjisinin Hesaplanması..... 45
7.5.5 İstatistiksel Hesaplamalar..... 46

BÖLÜM 8

ARAŞTIRMA BULGULARI..... 47

8.1 Mikrodalga Çıkış Gücünün Deniz börülcesi Numunesinin Kurutulması Üzerindeki Etkisi..... 47
8.1.1 Mikrodalga çıkış gücünün deniz börülcesi numunesinin kuruma kinetiği üzerindeki etkisi..... 47
8.1.1.1 Nem içeriği değişimi..... 47
8.1.1.2 Kuruma hızı değişimi..... 48
8.1.1.3 Kuruma kinetiğine ait model çalışmaları..... 49
8.1.1.4 Efektif difüzivite katsayılarının hesaplanması..... 52
8.1.2 Mikrodalga çıkış gücünün deniz börülcesi numunesinin renk değişimi üzerindeki etkisi..... 53
8.1.3 Mikrodalga çıkış gücünün deniz börülcesi numunesinin rehidratasyon oranı üzerindeki etkisi..... 66
8.2 Sabit Mikrodalga Çıkış Gücünde Deniz Börülcesi Numunesinin Ağırlığının Kuruma Üzerindeki Etkisi..... 68
8.2.1 Deniz Börülcesi Numunesinin Ağırlığının Kuruma Kinetiği Üzerindeki Etkisi..... 68
8.2.1.1 Nem İçeriği Değişimi..... 68
8.2.1.2 Kuruma Hızı Değişimi..... 69
8.2.1.3 Kuruma Kinetiğine Ait Model Çalışmaları..... 70
8.2.1.4 Efektif Difüzivite Katsayılarının Hesaplanması..... 73
8.2.2 Deniz börülcesi Numunesi Ağırlığının Renk Değişimi Üzerindeki Etkisi..... 75
8.2.3 Deniz Börülcesi Numunesinin Ağırlığının Rehidratasyon Oranı Üzerindeki Etkisi..... 86

8.2.4 Sıcaklığın Deniz Börülcesi Numunesinin Rehidratasyon Oranına Etkisi..... 88
8.3 Deniz Börülcesi Numunesine Ait Aktivasyon Enerjilerinin Hesaplanması..... 90
8.3.1 Kuruma Kinetiğine Ait Aktivasyon Enerjisinin Hesaplanması... 90
8.3.2 Renk Değişimi Kinetiğine Ait Aktivasyon Enerjisinin Hesaplanması..... 90
8.3.3 Rehidratasyon Kinetiğine Ait Aktivasyon Enerjisinin Hesaplanması..... 91
8.4 Deniz Börülcesi Numunesinin Konvansiyonel Kurutulması..... 92
8.4.1 Deniz Börülcesi Numunesinin Konvansiyonel Kurutulmasının Kuruma Kinetiği Üzerindeki Etkisi..... 92
8.4.1.1 Nem İçeriği Değişimi..... 92
8.4.1.2 Konvansiyonel Kuruma Kinetiğine Ait Model Çalışmaları..... 93
8.4.2 Deniz börülcesi Numunesinin Konvansiyonel Kurutulmasının Renk Değişimi Üzerindeki Etkisi..... 94

BÖLÜM 9

SONUÇLAR ve ÖNERİLER..... 103

KAYNAKLAR..... 106

EK A

Deniz börülcesi numunesinin kurutulması sırasında mikrodalga çıkış gücünün kuruma hızına ve kinetiğine olan etkisine ait deneysel veriler..... 111

EK B

Deniz börülcesi numunesinin kurutulması sırasında mikrodalga çıkış gücünün renk değişimi üzerindeki etkisine ait deneysel veriler..... 115

EK C

Deniz börülcesi numunesinin kurutulması sırasında mikrodalga çıkış gücünün rehidratasyon oranı üzerindeki etkisine ait deneysel veriler..... 118

EK D

Sabit mikrodalga çıkış gücünde deniz börülcesi numunesinin ağırlığının kuruma hızına ve kinetiğine olan etkisine ait deneysel veriler..... 124

EK E

Sabit mikrodalga çıkış gücünde deniz börülcesi numunesinin ağırlığının renk değişimi üzerindeki etkisine ait deneysel veriler..... 130

EK F

Deniz börülcesi numunesinin kurutulması sırasında sabit mikrodalga çıkış gücünün rehidratasyon oranı üzerindeki etkisine ait deneysel veriler..... 133

EK G

Deniz börülcesi numunesinin kurutulması sırasında sıcaklığın sabit mikrodalga çıkış gücünde rehidratasyon oranı üzerindeki etkisine ait deneysel veriler..... 139

EK H

Deniz börülcesi numunesinin konvansiyonel kurutulması sırasında kuruma hızına ve kinetiğine olan etkisine ait deneysel veriler..... 142

EK I

Deniz börülcesi numunesinin konvansiyonel olarak kurutulmasının renk değişimi üzerindeki etkisine ait deneysel veriler..... 143

ÖZGEÇMİŞ..... 144

SİMGE LİSTESİ

a_w	Su aktivitesi (birimsiz)
M_t	t anındaki nem içerigi (g su. g kuru madde^{-1})
KM	Numunenin içerdiği kuru madde miktarı (g kuru madde. g numune^{-1})
M_{t+dt}	t+dt anındaki nem içeriği (g su. g kuru madde^{-1})
MR	Nem oranı (birimsiz)
M_e	Denge anındaki nem içeriği (g su. g kuru madde^{-1})
M_0	t=0 anındaki nem içeriği (g su. g kuru madde^{-1})
D_{eff}	Efektif difüzivite katsayısı ($m^2.s^{-1}$)
L_0	t=0 anındaki L renk değeri (birimsiz)
L_t	Herhangi bir t anındaki L renk değeri (birimsiz)
ΔL	L renk değişimi (birimsiz)
a_0	t=0 anındaki a renk değeri (birimsiz)
a_t	Herhangi bir t anındaki a renk değeri (birimsiz)
Δa	a renk değişimi (birimsiz)
b_0	t=0 anındaki b renk değeri (birimsiz)
b_t	Herhangi bir t anındaki b renk değeri (birimsiz)
Δb	b renk değişimi (birimsiz)
ΔE	Toplam renk değişimi (birimsiz)
W_t	Herhangi bir rehidratasyon anındaki nem içerigi (g su. g kuru madde^{-1})
W_e	Denge anındaki nem içeriği (g su. g kuru madde^{-1})
W_0	Rehidratasyon işleminden önceki nem içeriği (g su. g kuru madde^{-1})
k	Kinetik sabit (dak^{-1})
n	Page model sabiti (birimsiz)
k_1	Peleg model kinetik sabiti (dak. g kuru madde. g su^{-1})
k_2	Peleg model karakteristik sabiti (g kuru madde. g su^{-1})
C	Herhangi bir t anındaki renk parametresi değeri
C_0	t=0 anındaki renk parametresi değeri
k_0	Pre-eksponansiyel sabit (dak^{-1})
Ea	Aktivasyon enerjisi (W.g^{-1})
CV	Kroma degeri (birimsiz)
HA	Renk Açısı (birimsiz)
BI	Kahverengileşme indeksi (birimsiz)
m	Gözlem sayısı
N_d	Toplam deney sayısı
p	Parametre sayısı
R	Standard sapma

KISALTMA LİSTESİ

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

ŞEKİL LİSTESİ

Sayfa

Şekil 2.1 Gıda kuruma eğrisi [7]..... 5
Şekil 2.2 Kurutulan gıdanın nem içeriğinin bağıl nem ile ilişkisi [21]..... 8
Şekil 2.3 Higroskobik olan (a) ve higroskobik olmayan (b) ürünlerin adsorbsiyon izotermleri [21]..... 10
Şekil 3.1 Tünel tipi kurutucu [38]..... 16
Şekil 3.2 Açık döngü püskürtmeli kurutma sistemi [5]..... 18
Şekil 3.3 Dondurarak kurutma [39]..... 19
Şekil 4.1 Elektrik ve manyetik alanın uzayda hareketi..... 20
Şekil 4.2 Mikrodalga enerjinin çeşitli malzemelerle etkileşimi [43]..... 21
Şekil 4.3 Polar bir madde olan su molekülünün mikrodalga enerji ile etkileşimi[43]..... 21
Şekil 4.4 Gelişi güzel hareket eden ve elektromanyetik alanla hizaya giren polar moleküller [43]..... 22
Şekil 4.5 Precy LeBron Spencer [45]..... 23
Şekil 4.6. İlk sanayii tipi mikrodalga fırın..... 23
Şekil 4.7 Mikrodalga devresi şematik gösterimi [47]..... 24
Şekil 4.8 Magnetron [49]..... 25
Şekil 4.9 Döner tablo motoru [38]..... 26
Şekil 4.10 Yüksek gerilim diyotu [38]..... 26
Şekil 5.1 Deniz börülcesi dünya genelinde yetişme alanları [59]..... 29
Şekil 7.1 Deniz börülcesi numunesi..... 34
Şekil 7.2 Mikrodalga fırını..... 35
Şekil 7.3 Su banyosu..... 36
Şekil 7.4 Konica Minolta CR-400 ve DP-400 cihazlarının genel görünümü [73]... 37
Şekil 7.5 Hunter Lab renk skalası..... 38
Şekil 8.1 Farklı mikrodalga çıkış güçlerinde deniz börülcesi numunesinin nem içeriğinin kuruma zamanı ile değişimi (Numune ağırlığı= 20 g)..... 48
Şekil 8.2 Farklı mikrodalga çıkış güçlerinde deniz börülcesi numunesine ait kuruma hızlarının nem içeriği ile değişimi (Numune ağırlığı= 20 g)..... 49
Şekil 8.3 Farklı mikrodalga çıkış güçlerinde deniz börülcesi numunesine ait nem oranı değerlerinin kuruma zamanı ile değişimi (Numune ağırlığı= 20 g)..... 51
Şekil 8.4 Farklı mikrodalga çıkış güçlerinde deniz börülcesi numunesine ait ln(MR) değerlerinin kuruma zamanı ile değişimi (Numune ağırlığı= 20 g)..... 53

Şekil 8.5 Farklı mikrodalga çıkış güçlerinde deniz börülcesi numunesine ait L değerlerinin kuruma zamanı ile değişimi (Numune ağırlığı= 20 g)..... 55
Şekil 8.6 Farklı mikrodalga çıkış güçlerinde deniz börülcesi numunesine ait a değerlerinin kuruma zamanı ile değişimi (Numune ağırlığı= 20 g)..... 56
Şekil 8.7 Farklı mikrodalga çıkış güçlerinde deniz börülcesi numunesine ait b değerlerinin kuruma zamanı ile değişimi (Numune ağırlığı= 20 g)..... 58
Şekil 8.8 Farklı mikrodalga çıkış güçlerinde deniz börülcesi numunesine ait ΔE değerlerinin kuruma zamanı ile değişimi (Numune ağırlığı= 20 g)..... 59
Şekil 8.9 Farklı mikrodalga çıkış güçlerinde deniz börülcesi numunesine ait Kroma (CV) değerlerinin kuruma zamanı ile değişimi (Numune ağırlığı= 20 g)..... 61
Şekil 8.10 Farklı mikrodalga çıkış güçlerinde deniz börülcesi numunesine ait Renk Açısı (HA) değerlerinin kuruma zamanı ile değişimi (Numune ağırlığı= 20 g)..... 63
Şekil 8.11 Farklı mikrodalga çıkış güçlerinde deniz börülcesi numunesine ait Kahverengileşme İndeksi (BI) değerlerinin kuruma zamanı ile değişimi (Numune ağırlığı= 20 g)..... 65
Şekil 8.12 Farklı mikrodalga çıkış güçlerinde deniz börülcesi numunesine ait rehidratasyon oranı değerlerinin rehidratasyon zamanı ile değişimi (Numune ağırlığı= 20 g, rehidratasyon sıcaklığı= 30°C)..... 67
Şekil 8.13 Farklı mikrodalga çıkış güçlerinde deniz börülcesi numunesinin nem içeriğinin kuruma zamanı ile değişimi (Mikrodalga çıkış gücü= 540 W)..... 69
Şekil 8.14 Farklı ağırlıklardaki deniz börülcesi numunesine ait kuruma hızlarının nem içeriği ile değişimi (Mikrodalga çıkış gücü=540 W)..... 70
Şekil 8.15 Farklı numune ağırlıklarında kurutulan deniz börülcesi numunesine ait nem oranı değerlerinin kuruma zamanı ile değişimi (Mikrodalga çıkış gücü= 540 W)..... 72
Şekil 8.16 Farklı ağırlıklardaki deniz börülcesi numunesine ait ln(MR) değerlerinin kuruma zamanı ile değişimi (Mikrodalga çıkış gücü= 540 W)..... 74
Şekil 8.17 Farklı ağırlıklardaki deniz börülcesi numunesine ait L değerlerinin kuruma zamanı ile değişimi (Mikrodalga çıkış gücü= 540 W)..... 76
Şekil 8.18 Farklı ağırlıklardaki deniz börülcesi numunesine ait a değerlerinin kuruma zamanı ile değişimi (Mikrodalga çıkış gücü= 540 W)..... 77
Şekil 8.19 Farklı ağırlıklardaki deniz börülcesi numunesine ait b değerlerinin kuruma zamanı ile değişimi (Mikrodalga çıkış gücü= 540 W)..... 79
Şekil 8.20 Farklı ağırlıklardaki deniz börülcesi numunesine ait ΔE değerlerinin kuruma zamanı ile değişimi (Mikrodalga çıkış gücü= 540 W)..... 80
Şekil 8.21 Farklı ağırlıklardaki deniz börülcesi numunesine ait Kroma (CV) değerlerinin kuruma zamanı ile değişimi (Mikrodalga çıkış gücü= 540 W)..... 82
Şekil 8.22 Farklı numune ağırlıklarında kurutulan deniz börülcesi numunesine ait Renk Açısı (HA) değerlerinin kuruma zamanı ile değişimi (Mikrodalga çıkış gücü= 540 W)..... 83
Şekil 8.23 Farklı numune ağırlıklarında kurutulan deniz börülcesi numunesine ait Kahverengileşme İndeksi (BI) değerlerinin kuruma zamanı ile değişimi (Mikrodalga çıkış gücü= 540 W)..... 85

Şekil 8.24 Farklı numune ağırlıklarında kurutulan deniz börülcesi numunesine ait rehidratasyon oranı değerlerinin rehidratasyon zamanı ile değişimi (Mikrodalga çıkış gücü= 540 W, rehidratasyon sıcaklığı= 30°C)..... 87
Şekil 8.25 Farklı sıcaklıklarda kurutulan deniz börülcesi numunesine ait rehidratasyon oranı değerlerinin rehidratasyon zamanı ile değişimi (Mikrodalga çıkış gücü = 540 W, rehidratasyon sıcaklığı= 30, 45, 55 ve 70°C)..... 89
Şekil 8.26 Konvansiyonel kurutma ile deniz börülcesi numunesinin nem içeriğinin kuruma zamanına göre değişimi (Sıcaklık 40^{o}C)..... 93
Şekil 8.27 Konvansiyonel kurutma ile deniz börülcesi numunesinin Nem oranının kuruma zamanına göre değişimi (Sıcaklık 40^{o}C)..... 94
Şekil 8.28 Konvansiyonel kurutma ile deniz börülcesi numunesine ait L değerlerinin kuruma zamanına göre değişimi (Sıcaklık 40^{o}C)..... 95
Şekil 8.29 Konvansiyonel kurutma ile deniz börülcesi numunesine ait a değerlerinin kuruma zamanına göre değişimi (Sıcaklık 40^{o}C)..... 96
Şekil 8.30 Konvansiyonel kurutma ile deniz börülcesi numunesine ait b değerlerinin kurumına zamanına göre değişimi (Sıcaklık 40^{o}C)..... 97
Şekil 8.31 Konvansiyonel kurutma ile deniz börülcesi numunesine ait ΔE değerlerinin kuruma zamanına göre değişimi (Sıcaklık 40^{o}C)..... 98
Şekil 8.32 Konvansiyonel kurutma ile deniz börülcesi numunesine ait Kroma (CV) değerlerinin kuruma zamanına göre değişimi (Sıcaklık 40^{o}C)..... 99
Şekil 8.33 Konvansiyonel kurutma ile deniz börülcesi numunesine ait Renk açısı (HA) değerlerinin kuruma zamanına göre değişimi (Sıcaklık 40^{o}C)..... 101
Şekil 8.34 Konvansiyonel kurutma ile deniz börülcesi numunesine ait Kahverengileşme İndeksi (BI) değerlerinin kuruma zamanına göre değişimi (Sıcaklık 40^{o}C)..... 102

ÇİZELGE LİSTESİ

Sayfa

Çizelge 2.1 Deneysel kurutma verilerini tanımlamaya yardımcı olan ince tabaka modelleri..... 6
Çizelge 7.1 Mikrodalga fırının teknik özellikleri..... 35
Çizelge 7.2 Konica Minolta CR-400 ve DP-400 cihazlarının teknik özellikleri [73]..... 37
Çizelge 7.3 Hunter Lab renk skalasında kullanılan indislerin anlamları [74]..... 38
Çizelge 8.1 Farklı mikrodalga çıkış güçlerinde kurutulan deniz börülcesi numunesinin kuruma hızlarının belirlenmesi sırasında kurulan matematiksel modeller ve istatistiksel veriler..... 50
Çizelge 8.2 Farklı mikrodalga çıkış güçlerinde deniz börülcesi numunesine ait kuruma zamanlarına karşılık elde edilen deneysel verilere uyan Page model sabitleri ve istatistiksel veriler (Numune ağırlığı= 20 g)..... 52
Çizelge 8.3 Farklı mikrodalga çıkış güçlerinde deniz börülcesi numunesine ait hesaplanan efektif difüzivite katsayısının değişimi ve istatistiksel veriler (Numune ağırlığı= 20 g)..... 52
Çizelge 8.4 Farklı mikrodalga çıkış güçlerinde deniz börülcesi numunesine ait L değeri için birinci dereceden kinetik denklem kullanılarak elde edilen model sabitleri ve istatistiksel veriler (Numune ağırlığı= 20 g)..... 55
Çizelge 8.5 Farklı mikrodalga çıkış güçlerinde deniz börülcesi numunesine ait a değeri için sıfırıncı dereceden kinetik denklem kullanılarak elde edilen model sabitleri ve istatistiksel veriler (Numune ağırlığı= 20 g).. 57
Çizelge 8.6 Farklı mikrodalga çıkış güçlerinde deniz börülcesi numunesine ait b değeri için sıfırıncı dereceden kinetik denklem kullanılarak elde edilen model sabitleri ve istatistiksel veriler (Numune ağırlığı= 20 g).. 58
Çizelge 8.7 Farklı mikrodalga çıkış güçlerinde deniz börülcesi numunesine ait toplam renk değişimi (ΔE) değeri için sıfırıncı dereceden kinetik denklem kullanılarak elde edilen model sabitleri ve istatistiksel veriler (Numune ağırlığı= 20 g)..... 60
Çizelge 8.8 Farklımikrodalga çıkış güçlerinde deniz börülcesi numunesine ait Kroma (CV) değeri için sıfırıncı dereceden kinetik denklem kullanılarak elde edilen model sabitleri ve istatistiksel veriler (Numune ağırlığı= 20 g)..... 61
Çizelge 8.9 Farklı mikrodalga çıkış güçlerinde deniz börülcesi numunesine ait Renk Açısı (HA) değeri için sıfırıncı dereceden kinetik denklem kullanılarak elde edilen model sabitleri ve istatistiksel veriler (Numune ağırlığı= 20 g)..... 63

Çizelge 8.10 Farklı mikrodalga çıkıs güçlerinde deniz börülcesi numunesine ait Kahverengileşme İndeksi (BI) değeri için sıfırıncı dereceden kinetik denklem kullanılarak elde edilen model sabitleri ve istatistiksel veriler (Numune ağırlığı= 20 g)..... 65
Çizelge 8.11 Farklı mikrodalga çıkış güçlerinde deniz börülcesi numunesine ait rehidratasyon oranı değeri için Peleg model kullanılarak elde edilen model sabitleri ve istatistiksel veriler (Numune ağırlığı= 20 g, rehidratasyon sıcaklığı= 30°C)..... 67
Çizelge 8.12 Farklı numune ağırlıklarında kurutulan deniz börülcesi numunesinin kuruma hızlarının belirlenmesi sırasında kurulan matematiksel modeller ve istatistiksel veriler..... 71
Çizelge 8.13 Farklı ağırlıklardaki deniz börülcesi numunesine ait kuruma zamanlarına karşılık elde edilen deneysel verilere uyan Page model sabitleri ve istatistiksel veriler..... 72
Çizelge 8.14 Farklı ağırlıklardaki deniz börülcesi numunesine ait hesaplanan efektif difüzivite katsayısının değişimi ve istatistiksel veriler (Mikrodalga çıkış gücü= 540 W)..... 74
Çizelge 8.15 Farklı ağırlıklardaki deni börülcesi numunesine ait L değeri için birinci dereceden kinetik denklem kullanılarak elde edilen model sabitleri ve istatistiksel veriler..... 76
Çizelge 8.16 Farklı ağırlıklardaki deniz börülcesi numunesine ait a değeri için birinci dereceden kinetik denklem kullanılarak elde edilen model sabitleri ve istatistiksel veriler (Mikrodalga çıkış gücü= 540 W)..... 78
Çizelge 8.17 Farklı ağırlıklardaki deniz börülcesi numunesine ait b değeri için sıfırıncı dereceden kinetik denklem kullanılarak elde edilen model sabitleri ve istatistiksel veriler (Mikrodalga çıkış gücü= 540 W)..... 79
Çizelge 8.18 Farklı mikrodalga çıkış güçlerinde deniz börülcesi numunesine ait ΔE değeri için sıfırıncı dereceden kinetik denklem kullanılarak elde edilen model sabitleri ve istatistiksel veriler (Mikrodalga çıkış gücü= 540 W)..... 81
Çizelge 8.19 Farklı mikrodalga çıkış güçlerinde deniz börülcesi numunesine ait Kroma (CV) değeri için sıfırıncı dereceden kinetik denklem kullanılarak elde edilen model sabitleri ve istatistiksel veriler (Mikrodalga çıkış gücü= 540 W)..... 82
Çizelge 8.20 Farklı numune ağırlıklarında kurutulan deniz börülcesi numunesine ait Renk Açısı (HA) değeri için sıfırıncı dereceden kinetik denklem kullanılarak elde edilen model sabitleri ve istatistik veriler (Mikrodalga çıkış gücü= 540 W)..... 84
Çizelge 8.21 Farklı numune ağırlıklarında kurutulan deniz börülcesi numunesine ait Kahverengileşme İndeksi (BI) değeri için sıfırıncı dereceden kinetik denklem kullanılarak elde edilen model sabitleri ve istatistik veriler (Mikrodalga çıkış gücü= 540 W)..... 85
Çizelge 8.22 Farklı numune ağırlıklarınd kurutulan deniz börülcesi numunesine ait rehidratasyon oranı değeri için Peleg model kullanılarak elde edilen model sabitleri ve istatistiksel veriler (Mikrodalga çıkış gücü= 540 W, rehidratasyon sıcaklığı= 30°C)..... 87

Çizelge 8.23 Farklı sıcaklıklarda kurutulan deniz börülcesi numunesine ait rehidratasyon oranı değeri için Peleg model kullanılarak elde edilen model sabitleri ve istatistiksel veriler (Mikrodalga çıkış gücü= 540 W, numune ağırlığı= 20 g)..... 89
Çizelge 8.24 Deniz börülcesi numunesinin her bir renk indisi değişimi için hesaplanan aktivasyon enerjisi değerleri..... 91
Çizelge 8.25 Konvansiyonel kurutma ile deniz börülcesi numunesine ait kuruma zamanlarına karşılık elde edilen deneysel verilere uyan Page model sabitleri ve istatistiksel veriler..... 93
Çizelge 8.26 Konvansiyonel kurutma ile deniz börülcesi numunesine ait L değeri için sıfırıncı dereceden kinetik denklem kullanılarak elde edilen model sabitleri ve istatistiksel veriler..... 96
Çizelge 8.27 Konvansiyonel kurutma ile deniz börülcesi numunesine ait a değeri için sıfırıncı dereceden kinetik denklem kullanılarak elde edilen model sabitleri ve istatistiksel veriler..... 97
Çizelge 8.28 Konvansiyonel kurutma ile deniz börülcesi numunesine ait b değeri için sıfırıncı dereceden kinetik denklem kullanılarak elde edilen model sabitleri ve istatistiksel veriler..... 98
Çizelge 8.29 Konvansiyonel kurutma ile deniz börülcesi numunesine ait ΔE değeri için sıfırıncı dereceden kinetik denklem kullanılarak elde edilen model sabitleri ve istatistiksel veriler..... 99
Çizelge 8.30 Konvansiyonel kurutma ile deniz börülcesi numunesine ait Kroma (CV) değeri için sıfırıncı dereceden kinetik denklem kullanılarak elde edilen model sabitleri ve istatistiksel veriler..... 100
Çizelge 8.31 Konvansiyonel kurutma ile deniz börülcesi numunesine ait Renk açısı (HA) değeri için sıfırıncı dereceden kinetik denklem kullanılarak elde edilen model sabitleri ve istatistiksel veriler..... 101
Çizelge 8.32 Konvansiyonel kurutma ile deniz börülcesi numunesine ait Renk Kahverengileşme İndeksi (BI) değeri için sıfırıncı dereceden kinetik denklem kullanılarak elde edilen model sabitleri ve istatistiksel veriler..... 102
Çizelge A.1 180 W mikrodalga çıkış gücünde 20 g deniz börülcesinin kurutulmasına ait deneysel veriler..... 111
Çizelge A.2 360 W mikrodalga çıkış gücünde 20 g deniz börülcesinin kurutulmasına ait deneysel veriler..... 113
Çizelge A.3 540 W mikrodalga çıkış gücünde 20 g deniz börülcesinin kurutulmasına ait deneysel veriler..... 113
Çizelge A.4 720 W mikrodalga çıkış gücünde 20 g deniz börülcesinin kurutulmasına ait deneysel veriler..... 114
Çizelge A.5 900 W mikrodalga çıkış gücünde 20 g deniz börülcesinin kurutulmasına ait deneysel veriler..... 114
Çizelge B.1 180 W mikrodalga çıkış gücünde kurutulan 20 g deniz börülcesinin renk değişimine ait deneysel veriler..... 115
Çizelge B.2 360 W mikrodalga çıkış gücünde kurutulan 20 g deniz börülcesinin renk değişimine ait deneysel veriler..... 116
Çizelge B.3 540 W mikrodalga çıkış gücünde kurutulan 20 g deniz börülcesinin renk değişimine ait deneysel veriler..... 116

Çizelge B.4 720 W mikrodalga çıkış gücünde kurutulan 20 g deniz börülcesinin renk değişimine ait deneysel veriler..... 117
Çizelge B.5 900 W mikrodalga çıkış gücünde kurutulan 20 g deniz börülcesinin renk değişimine ait deneysel veriler..... 117
Çizelge C.1 180 W mikrodalga çıkış gücünde kurutulan 20 g deniz börülcesinin rehidratasyon oranına ait deneysel veriler..... 118
Çizelge C.2 360 W mikrodalga çıkış gücünde kurutulan 20 g deniz börülcesinin rehidratasyon oranına ait deneysel veriler..... 120
Çizelge C.3 540 W mikrodalga çıkış gücünde kurutulan 20 g deniz börülcesinin rehidratasyon oranına ait deneysel veriler..... 121
Çizelge C.4 720 W mikrodalga çıkış gücünde kurutulan 20 g deniz börülcesinin rehidratasyon oranına ait deneysel veriler..... 122
Çizelge C.5 900 W mikrodalga çıkış gücünde kurutulan 20 g deniz börülcesinin rehidratasyon oranına ait deneysel veriler..... 123
Çizelge D.1 540 W sabit mikrodalga çıkış gücünde 20 g deniz börülcesinin kurutulmasına ait deneysel veriler..... 124
Çizelge D.2 540 W sabit mikrodalga çıkış gücünde 40 g deniz börülcesinin kurutulmasına ait deneysel veriler..... 125
Çizelge D.3 540 W sabit mikrodalga çıkış gücünde 60 g deniz börülcesinin kurutulmasına ait deneysel veriler..... 126
Çizelge D.4 540 W sabit mikrodalga çıkış gücünde 80 g deniz börülcesinin kurutulmasına ait deneysel veriler..... 127
Çizelge D.5 540 W sabit mikrodalga çıkış gücünde 100 g deniz börülcesinin kurutulmasına ait deneysel veriler..... 128
Çizelge E.1 540 W sabit mikrodalga çıkış gücünde kurutulan 20 g deniz börülcesinin renk değişimine ait deneysel veriler..... 130
Çizelge E.2 540 W sabit mikrodalga çıkış gücünde kurutulan 40 g deniz börülcesinin renk değişimine ait deneysel veriler..... 131
Çizelge E.3 540 W sabit mikrodalga çıkış gücünde kurutulan 60 g deniz börülcesinin renk değişimine ait deneysel veriler..... 131
Çizelge E.4 540 W sabit mikrodalga çıkış gücünde kurutulan 80 g deniz börülcesinin renk değişimine ait deneysel veriler..... 132
Çizelge E.5 540 W sabit mikrodalga çıkış gücünde kurutulan 100 g deniz börülcesinin renk değişimine ait deneysel veriler..... 132
Çizelge F.1 540 W sabit mikrodalga çıkış gücünde kurutulan 20 g deniz börülcesinin rehidratasyon oranına ait deneysel veriler..... 133
Çizelge F.2 540 W sabit mikrodalga çıkış gücünde kurutulan 40 g deniz börülcesinin rehidratasyon oranına ait deneysel veriler..... 135
Çizelge F.3 540 W sabit mikrodalga çıkış gücünde kurutulan 60 g deniz börülcesinin rehidratasyon oranına ait deneysel veriler..... 136
Çizelge F.4 540 W sabit mikrodalga çıkış gücünde kurutulan 80 g deniz börülcesinin rehidratasyon oranına ait deneysel veriler..... 137
Çizelge F.5 540 W sabit mikrodalga çıkış gücünde kurutulan 100 g deniz börülcesinin rehidratasyon oranına ait deneysel veriler..... 138
Çizelge G.1 45 ^{o}C sıcaklıkta kurutulan 20 g deniz börülcesinin rehidratasyon oranına ait deneysel veriler (540 W)..... 139
Çizelge G.2 55 ^{o}C sıcaklıkta kurutulan 20 g deniz börülcesinin rehidratasyon oranına ait deneysel veriler (540 W)..... 140
Çizelge G.3 70 ^{o}C sıcaklıkta kurutulan 20 g deniz börülcesinin rehidratasyon oranına ait deneysel veriler (540 W)..... 141

Çizelge H.1 Konvansiyonel yöntem ile kurutulan 20 g deniz börülcesinin nem içeriğine ait deneysel veriler (Sıcaklık 40 ^{o}C)..... 142
Çizelge I.1 Konvansiyonel yöntem ile kurutulan 20 g deniz börülcesinin renk değişimine ait deneysel veriler (Sıcaklık 40 ^{o}C)..... 143

ÖZET

DENİZ BÖRÜLCESİNİN MİKRODALGA TEKNİĞİ İLE KURUTULMASI: KURUMA, RENK VE REHİDRATASYON KİNETİĞİNİN MODELLENMESİ

Esra ALTUN

Kimya Mühendisliği Bölümü

Yüksek Lisans Tezi

Tez Danışmanı: Prof.Dr. Belma ÖZBEK

Kurutma, suyun maddeden uzaklaştırılması yöntemi olup bu yöntem gıdanın saklanmasında kullanılmaktadır. Uzun raf ömrü, ürün çeşitliliği ve varolan hacmin azalması kurutulmuş meyve ve sebze gibi gıdaların popülerliğini açıklayabilir. Sıcak havada kurutma, vakum kurutma, güneşte kurutma ve dondurarak kurutma gibi farklı kurutma metodları sebze ve meyveleri kurutmada yararlanılabilinir. Mikrodalga kurutma ise geleneksel kurutma yöntemlerine göre nispeten yeni bir yöntemdir ve daha az enerji tüketimi sağlar.

Bu çalışmada, mikrodalga çıkış gücünün ve numune miktarının nem miktarı, kuruma zamanı, renk değişimi kinetiği ve rehidratasyon kinetiği incelenmiştir. Mikrodalga çıkış gücünün kurutmadaki etkisini incelemek için beş farklı mikrodalga çıkış gücü (180, 360, 540, 720 ve 900 W) kullanılmıştır. Ayrıca deniz börülcesi örnekleri farklı miktarlarda 20, 40, 60, 80, 100 g olmak üzere 540 W sabit mikrodalga çıkış gücünde kurutulmuştur. Mikrodalga çıkış gücünün artması ve numune miktarının azalması ile kuruma süresinin azaldığı görülmüştür. Deniz börülcesinin renk değişimi düşük mikrodalga güçlerinde değiştiği, diğer durumlarda fazla bir değişim olmadığı tespit edilmiştir. Buna ek olarak, deniz börülcesi numunelerine 40 ^{o}C sıcaklıkta konvansiyonel kurutma yöntemi uygulanarak elde edilen sonuçlar mikrodalga yöntemi ile karşılaştırılmıştır. Konvansiyonel kurutma için gereken sürenin 20 g numune için 660 dakika olduğu, bu sürenin mikrodalga kurutma için gereken sürenin (200 dakika, 180 W mikrodalga çıkış gücü) 3.3 katı olduğu bulunmuştur.

Deneysel veriler kullanılarak yapılan matematiksel modelleme çalışmalarından Page modelinin kurutma kinetiğine, sıfırıncı ve birinci dereceden kinetik modelin renk değişim kinetiğine ve Peleg modelinin rehidratasyon kinetiğine uygunluk gösterdiği bulunmuştur. Rehidratasyon kinetiği 30, 45, 55 ve 70 ^{o}C olmak üzere çeşitli sıcaklıklarda çalışılmış olup rehidratasyon kapasitesi değerlerinin %54 ile %70 değerleri arasında değiştiği görülmüştür. Efektif difüzivite katsayısının $0.40x10^{-10}$ $m^2.s^{-1}$ değeri ile $6.45x10^{-10}$ $m^2.s^{-1}$ değeri arasında değiştiği bulunmuştur. Ayrıca, kurutma kinetiği için aktivasyon enerjisi değeri 47.76 $W.g^{-1}$, renk değişim kinetiği için 0.02-3.40 $W.g^{-1}$, 30^{o}C sıcaklıkta gerçekleştirilen rehidratasyon kinetiği için ise 0.2537 $W.g^{-1}$ olarak bulunmuştur.

Anahtar Kelimeler: Deniz börülcesi, mikrodalga tekniği ile kurutma, kurutma kinetiği, renk değişim kinetiği, rehidratasyon kinetiği, aktivasyon enerjisi, efektif difüzivite

ABSTRACT

MICROWAVE DRYING OF SEA ASPARAGUS: MODELLING OF DRYING, COLOUR CHANGE AND REHYDRATION KINETICS

Esra ALTUN

Department of Chemical Engineering
MSc. Thesis

Adviser: Prof.Dr. Belma ÖZBEK

Drying could be defined as removing water from the material which could be used for food preservation. Longer shelf-life, product diversity and substantial volume reduction could be identified as the reasons for the popularity of dried food for example; fruits and vegetables. Different drying methods such as hot-air drying, vacuum drying, sun-drying and freeze drying can be used in the drying of fruits and vegetables. Microwave drying is a relatively newer addition to the family of traditional dehydration techniques and provides less energy consumption.

In the present study, the effect of microwave output powers and sample amount on moisture content, drying time, colour change kinetic and rehydration kinetic of sea asparagus have been investigated. To examine the effect of microwave output on drying, five different output powers; 180, 360, 540, 720 and 900 W; were used. On the other hand, sea asparagus samples at various amounts (20, 40, 60, 80 and 100 g) were dried at constant microwave output of 540 W. Drying time of sea asparagus samples decreased considerably as the microwave power increased or amount of samples decreased. Additionally, the effect of conventional drying on the samples of sea asparagus at the temperature of 40 ^{o}C was investigated for comparison to microwave drying. The results showed that drying time for 20 g of sea asparagus sample on conventional drying took 660 mins. This drying time was 3.3 times higher than the drying time (200 mins) obtained for microwave drying carried out at 180 W which was the lowest microwave output rate.

After evaluation of the experimental data, the mathematical modelling was applied for drying, colour change and rehydration kinetics. It was found that Page model was fitted to drying kinetic, zero and first order kinetic model were fitted to colour change kinetic.

Rehydration characteristics of the dried samples were also investigated at various rehydration temperatures of 30, 45, 55 and 70 ^{o}C. It was observed that the rehydration capacity of sea asparagus samples varied from 54 to 70%. In the meantime, the values of effective moisture diffusivity were calculated and found that these values changed from $0.40x10^{-10}$ $m^2.s^{-1}$ to $6.45x10^{-10}$ $m^2.s^{-1}$. The activation energy values were also calculated by using an exponential expression based on Arrhenius equation. The activation energy values were found as 47.76 $W.g^{-1}$, 0.02–3.40 $W.g^{-1}$ and 0.2537 $W.g^{-1}$ for drying, color change and rehydration kinetic performed at 30 ^{o}C, respectively.

Key Words: Sea asparagus, microwave drying, drying kinetic, colour change kinetic, rehydration kinetic, activation energy, effective moisture diffusivity

BÖLÜM 1

GİRİŞ

1.1 Literatür Özeti

Güneşte bekleterek kurutma, kurutmada en çok rastlanan ve eski çağlardan itibaren süre gelmekte olan bir yöntemdir. Aynı zamanda maliyet yönünden de oldukça elverişli bu yöntem; çevre ve hava kirliliği, böceklenme, tozlanma gibi faktörlerden sebeple artık çok kullanılmamaktadır. Yerleşim yerlerinin artmasıyla birlikte boş alanlardaki azalışta güneşte kurutma yöntemine engel olan diğer bir sebep olarak sayılabilir.. Bu nedenle, ihtiyaçlar doğrultusunda endüstriyel alanda kurutma sistemleri geliştirilmeye başlanmıştır.

Gıda maddelerine uygulanmakta olan kurutmanın birçok amacı bulunmakta olup, bunlardan en önemli olanı ise depolama sırasında ürünün bozulmasının önüne geçebilmektir. Kurutma ile ürünün içerdiği nem, mikrobiyal oluşumları ve diğer reaksiyonları inhibe edecek gerekli olan seviyeye indirilerek bu amaca erişilir. Ayrıca nem miktarının azaltılmasıyla tat, koku ve besin değeri gibi kalite niteliklerinin de muhafazası sağlanmış olur. Kurutma işleminin diğer bir amacı da, ürün hacmini düşürerek taşınma ve depolanmasında verimliliği yükseltmektir.

Mikrodalga ile kurutma metodunda, elektromanyetik alan materyali eksiksiz olarak tesir ettiğinden dolayı bilinen kurutma yöntemlerinden onu ayıran doğrudan materyal bünyesinde bulunan su molekülleri seçerek ayırımlı bir ısıtma gerçekleştirmesidir. Bu yöntemde, ısı direkt olarak ürün içerisinde ortaya çıkmakta ve ürün içerisindeki nem çok az bir zamanda ısınarak buharlaştırılmaktadır.

1.2 Tezin Amacı

Bu çalışmada, mikrodalga ile kurutma yönteminin deniz börülcesi üzerindeki etkilerinin incelenmesi hedeflenmiştir.

Bölüm 2'de gıdaların kurutulması ile meydana gelen fiziksel ve kimyasal değişimler, Bölüm 3'de kurutucu tipleri, Bölüm 4'te mikrodalga ile kurutma teknolojisine değinilmiş, Bölüm 5'te deniz börülcesi hakkında genel bilgi verildikten sonra Bölüm 6'da literatürde yer alan gıdaların mikrodalga yöntemi ile kurutulmasına ait çalışmalar kısaca özetlenmiştir. Bölüm 7'de deneysel çalışmalarda kullanılan cihazlar ve analiz yöntemleri ile hesaplamalar anlatılmıştır. Bölüm 8'de deneysel çalışmalara yer verilmiştir. Deneysel veriler kullanılarak matematiksel denklemler türetilmiş ve istatistiksel veriler hesaplanmıştır. Ayrıca, elde edilen veriler kullanılarak aktivasyon enerjisi değerleri, Arrhenius denklemi temel alınarak türetilen bir eksponansiyel denklem ile hesaplanmıştır. Bölüm 9'da ise deneysel ve teorik çalışmalardan elde edilen sonuçlar değerlendirilmiştir.

1.3 Hipotez

Deniz börülcesi sulak alanlarda yetişmekte olan, birçok faydalı mineral ihtiva eden tek yıllık sukulent tipli bir bitkidir. Bu çalışmadaki amaç, deniz börülcesinin mikrodalga ile kurutulmasının renk ve ürün kalitedeki değişimleri araştırmaktır.

BÖLÜM 2

GIDALARIN KURUTULMASI

Gıdaların kurutularak saklanması en eski yöntemlerden biridir. Antik Çağ'dan beri pek çok gıdanın kurutulduğuna dair bilgiler bulunmaktadır. Orta Doğu ve Şark kültürlerinde gıdaların M.Ö 12 000 yıllarında itibaren kurutulduğuna dair bazı kanıtlar bulunmaktadır [1]. Fenikeli ve Akdenizli balıkçıların yakaladıkları avlarını güneşte sererek kuruttukları bir gerçektir. Eski Mısır'da gerçekleştirilen kazılar ışığında kümbetlerin içerisinde kurutulmuş buğday taneleriyle karşılaşılmıştır. Çinlilerin de çok eski zamanlardan itibaren çay yapraklarını kuruttukları yapılan araştırmalar neticesiyle bilinen bir hakikattir [2]. Bitkisel ilaçların Mısır'da basit bir kurutma yoluyla elde edildiği, ilk çağlarda etin tuzlanıp, balığın ikiye bölünerek kurutulduğu bilinen bir gerçektir. İlk Çağ ile ilgili araştırmaların ışığında gıdaların saklanmasıyla ilgili dört ana yöntemin kullanıldığı belirlenmiştir. Kurutma, dumanlama, tuzlama, turşu yapma bu dört yöntemdir[3].

19 yy.ın başlangıçlarında, gıda kurutma ve saklanması ile ilgili ilk çalışmalar yapılmaya başlanmıştır. Napolyon'un ordusunda bulunan asker ve denizciler tuzlanmış et yemekteydiler; bu gıdalar çok az besin değeri içermekteydi. Aynı zamanda orduda iskorbit hastalığı baş göstermekteydi. Bunun üzerine Napolyon'un kendisi gıda saklama ile ilgili araştırmalar yapmaya başladı ve uygun ve sürdürülebilir bir yöntem bulana ödül teklif etmiştir. Bu ödülün kazananı Fransız kimyacı Nicolas Appert olmuş ve gıdaların mühürlenmiş konteynırlarda ısıtılıp, açılmadığı kapalı kaldığı sürece bozulmayacağını belirtmiştir. Bu gıda kurutma teknolojisinde bir dönüm noktası olmuştur [4]. Meyvelerin dehidratasyonu 1900'lü yılların başında önemli bir dönüm noktası olmuş ve 2. Dünya Savaşı'ndan önce güneşte kurutmanın yerini alacak olan spreyli kurutucular icat edilmiştir. Genelde süt ürünleri ve yumurtaların kurutulmasında bu tür kurutucular kullanılmıştır [5].

2.1 Kurutma Yöntemleri

2.1.1 Doğal Kurutma

Sebze ve meyvelerin güneşte kurutularak bünyesinde içerdikleri su miktarının azaltılması için kullanılan yönteme “doğal kurutma” denir. Ancak her ürünün güneşte kurutulması uygulanabilir olmadığından bu yöntem her durumda kullanılmaz ve kurutma süreleri oldukça fazladır. Bu olumsuz özelliklerinden dolayı birçok gıda için uygun bir yöntem değildir.

2.1.2 Yapay Kurutma

Kurutma işleminin kapalı alanlarda ve kontrol edilebilir koşullarda yapılması yöntemini "yapay kurutma" olarak adlandırılır. Bu tanımda, yapıdaki suyun tamamının ya da tamamına yakın bir kısmının ürünün özelliklerinde kayda değer değişiklikler olmadan uzaklaştırılması kavramı bulunmaktadır. Rehidratasyona maruz bırakılmış gıdaların eski durumlarına çok yakın bir hal almaları ya da eski durum ile rehidratasyon işleminden sonraki durum arasındaki farkın, anlaşılamayacak kadar önemsiz olması kurutulmuş ürünlerdeki başlıca ölçüttür [6].

2.2 Kurutma Prensipleri

Kurutma ürünün, enzimatik ve mikrobiyel aktivitelerden korumak ve raf ömrünü uzatmak sebebiyle nem miktarını düşürmek olarak ifade edilir. Bir katı kurumakta iken sıvıyı buharlaştırmak için gereken ısı transferi ve buhar transferi olacak şekilde iki süreç meydana gelir [6], [7].

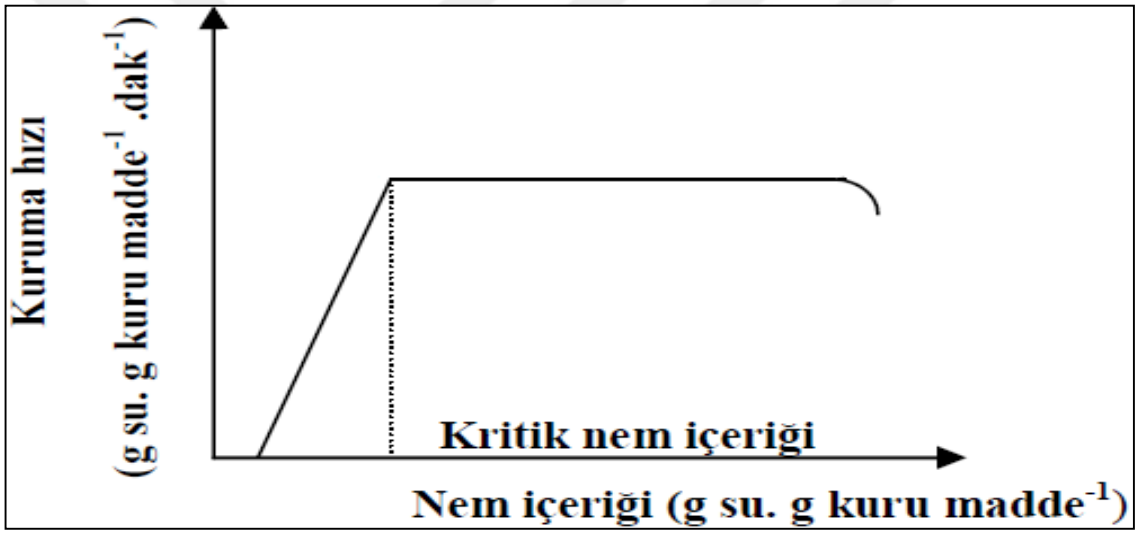
Gerekli olan ısıyı verimli bir şekilde sağlamak ticari kurutmanın en temel amacıdır. Isı transferi ışınım, taşınım, iletim ve üçünün toplamı halinde olabilir. Genelde ısı ilk olarak katının dış yüzeyine daha sonra da katının içine doğru transfer olur. Bu durumun tam tersi yüksek frekanslı elektrik akımı ile oluşturulabilir. İç bölgedeki sıcaklık bu durumda yüzeyden fazladır ve ısı transferi içeriden dışarıya doğru gerçekleşir [7].

2.3 Kurutma Kinetiği

Gıda maddelerinin kurutulabileceği maksimum sıcaklıklar ve kuruma özellikleri birbirinden farklıdır. Kurumanın katı maddenin kurutulması esnasında başlıca iki aşamada meydana geldiği görülür [7].

İlk bölümde kuruma debisi sabit olup, ürünün yüzey sıcaklığı ile kurutma havasının ıslak termometre sıcaklığının aynı olduğu görülür. İkinci aşamada ise sistemin dengeye ulaşmasından dolayı buharlaşma durmakta ve kuruma debisi sürekli olarak azalmaktadır. Kurutmada kullanılan havanın bağıl nemi ve gıda maddesinin su aktivitesi denge halinde aynıdır [7].

İkinci bölümde ise; azalan debide kuruma periyodu esasında, ürün yüzey sıcaklığı artmaya gösterir ve ürün kurudukça, sıcaklık kurutma havasının kuru termometre sıcaklığına erişmeye başlar. Sabit debide kurutma periyodundan azalan debide kurutma periyoduna geçişte, gıdanın mevcut nemi "kritik nem miktarı" olarak bilinir. Kuruma hızına, kurutulan maddenin büyüklüğüne ve kütle transfer mekanizmasına göre kritik nem miktarı değişir. Şekil 2.1'de gıda kuruma eğrisi görülmektedir [7].



Şekil 2.1 Gıda kuruma eğrisi [7]

2.4 Kurutma Eğrilerinin Özellikleri

Kurutma işlemini tanımlamaya yardımcı olan ince tabaka modelleri teorik, yarı-teorik ve empirik olacak şekilde üç ana bölüme ayrılabilmektedir [8]. Teorik modeller nem transferinin difüzyon benzeri dahili mekanizmalar tarafından kontrol edildiğini öne sürerken, diğer modeller hava hızı, hava sıcaklığı gibi harici dirençleri dikkate almaktadırlar [9]. Fick kanunun sadeleştirilmesi ile yarı-teorik modeller bulunabilinir. Empirik modeller direkt olarak nem içeriği ile zaman arasındaki istatistiksel ilişkilerden elde edilebilirken, kurutma işleminin kendisi ile fiziksel bir bağlantı kurmamaktadır [9]. Newton'un soğuma kanuna benzeyen ve farklı kütle transfer işlemlerini sadece bir tane

ince tabaka kuruma sabitinde (k) birleştiren temel eşitlik Lewis [10] tarafından önerilmiştir [9].

$$MR = \frac{\mathrm{M} - \mathrm{M_{denge}}}{\mathrm{M_0} - \mathrm{M}} = \exp(-\mathrm{k} \times \mathrm{t}) \quad (2.1)$$

Eşitlik (2.1)'deki nem oranı (MR) madde içerisindeki tamamlanmamış nem değişimini, t zamanında ürün içerisinde bulunan serbest su miktarının başlangıçtaki serbest su miktarına oranını göstermektedir [9]. Kurutma eğrilerini modellemek için literatürde araştırmacılar tarafından bulunan eşitlikler Çizelge 2.1'de verilmiştir.

Çizelge 2.1 Deneysel kurutma verilerini tanımlamaya yardımcı olan ince tabaka modelleri

Model Adı	**Matematiksel İfade**	**Kaynak**
Lewis	MR= exp(-k.t)	Lewis [10]
Page	$MR = (-k_1 \cdot t^n)$	Page [11]
Henderson ve Pabis	$MR = a \cdot \exp(-k \cdot t)$	Henderson ve Pabis [12]
Logaritmik	$MR = a \cdot \exp(-k \cdot t) + c$	Yaldiz vd. [13]
Difüzyon yaklaşımı	$MR = a \cdot \exp(-k \cdot t) + (1-a)\exp(-k \cdot b \cdot t)$	Yaldız ve Ertekin [14]
Wang ve Singh	$MR = 1 + a_1 .t + b\, t^2$	Wang ve Singh [15]
Midilli vd.	$MR = a. (k_1 t^n) + b. t$	Midilli vd. [16]

2.5 Kuruma Hızını Etkileyen Faktörler

Kuruma hızı, gıdaların kurutulması esnasında birçok değişkenden etkilenmektedir. Kurutma hızına etki eden değişkenler; sıcaklık derecesi, havanın nemi, havanın kurutucudaki hızı ve yüzey alanı gibi fiziksel etkenler olarak sınıflandırılabilir [17].

2.5.1 Sıcaklık

Kurutma işlemi anında sıcaklık yükseldikçe difüzyon hızı artar, bundan dolayı kuruma hızı artar ve kurutma süresi ise azalır. Gıdaların kurutulması esnasında yüksek sıcaklık kullanılmasının avantajları şöyle sıralanabilir [18]:

- Yüksek sıcaklıklarda havanın nem tutma oranı fazla olduğundan, yüksek buhar basıncı elde edilir ve böylelikle daha kolay bir kurutma işlemi sağlanmış olur.
- Isı kayıpları en aza indirgenmiş olunur.
- Gıdanın ulaşabileceği denge nem içeriği yükselir.

Ancak yüksek sıcaklıklarda kurutma işleminin bazı dezavantajları da bulunmaktadır. Özellikle ince tabakalı olan gıdalarda, yüksek sıcaklıklarda yanma ve bundan sebeple besin değerleri kayıpları oluşabilir [18].

2.5.2 Kurutma Havasının Hızı

Uygulanan sıcaklıkta kurutma havasının gıdadan absorplayabileceği nem miktarı sınırlıdır. Bilhassa düşük hava hızlarında gıdanın yüzeyinden absorplanan nem, kurutma havasının kısa zamanda doygun hale getirir ve hava debisinin düşük olmasından dolayı doygun halde olmayan kurutma havası ile yer değiştirmesi zaman alır ve böylelikle gıdanın kurutulması uzun sürede gerçekleşir. Ancak, yüksek kurutma havası hızlarında, doygun havanın, hava dolaşımı sayesinde doygun halde olmayan kurutma havası ile yer değiştirmesi daha çabuk olacağından kurutma işlemlerinde yüksek kurutma havası hızı tercih sebebidir [19]. Aynı zamanda, kurutulan maddenin yüzeyinde kuruma esnasında ortaya çıkan film tabakanın oluşması önlenebilinirse, suyun buharlaşmasında bir hızlanma oluşur [5].

Hava hızı, bu film tabakayı sürekli bir şekilde sürüklemek kaydıyla kuruma hızını arttırıcı yönde etkide de etmektedir. Fakat, hava hızının pozitif yöndeki etkisi, kurutmanın olduğu periyoda göre değişir. Kurutmanın başlangıç kısımlarında hava hızı çok etkili olmasına karşın, kurutma işleminin ileri seviyelerinde kuruma hızı artık alt tabakalardaki suyun yüzeye iletim hızı ile sınırlandırıldığından, hava hızının yüksek oluşunun bu konuda önemli bir etkisi olmaktadır [5].

2.5.3 Kurutulan Gıdanın Yüzey Alanı

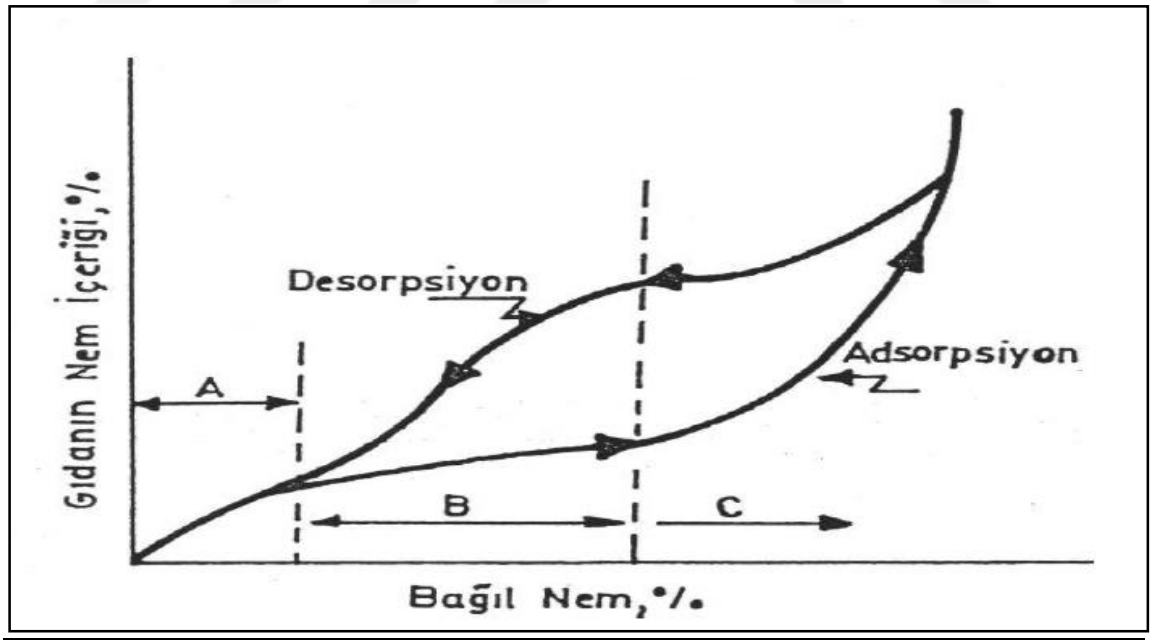
Isı ve kütle aktarım hızını etkileyen bir diğer faktörde kurutulacak olan gıdanın yüzey alanıdır. Daha büyük yüzey alanı elde ederek daha geniş bir ısıtıcı yüzeyde ısı transferini gerçekleştirebilmek için, ürün küçük parçalara ya da ince dilimlere bölünmelidir. Böylece nemin uzaklaşacağı yüzey alanı artırılmış olur. Çok ince dilimlerin gıdanın yanmasına sebep verebileceğinden ötürü optimum dilim kalınlığı seçilmelidir [20].

2.5.4 Ortamın Nem İçeriği

Kurutulan gıdanın ihtiva ettiği nem miktarı ortamdaki su buharı miktarına bağlı olarak farklılık göstermektedir. Maddenin içinde bulunduğu havanın nem miktarının sabit sıcaklıkta değiştirilmesi ile maddenin bünyesindeki nem miktarındaki değişimi gösteren eğriler sorbsiyon izotermleri olarak isimledirilirler.

Histeresis, desorbsiyon izoterminin, adsorbsiyon izotermi gibi aynı yolu takip etmeyerek bir bombe yapması olarak adlandırılır. Desorbsiyon histeresisi; genellikle monomoleküler su tabakasının ilk evresinde sona ermektedir. Şekil 2.2'de görüldüğü üzere A kısmında su, materyal yüzeyinde tek bir molekül katmanı şeklinde sıkı sıkıya tutunmaktadır.

Kurutmada bu suyun uzaklaştırılması oldukça zordur ve birçok kez imkansızdır**.** B kısmındaki su daha gevşek şekilde bağlıdır. C kısmındaki su ise, kapiler ve gözeneklerde yoğuşmuş şekilde var olan ve içinde birtakım maddelerin çözüldüğü serbest sudur. Bu kısımlar arasında kesin bir sınır olmadığı gibi, gıdalar için her kısıma ait belirli genel nem değerlerinin verilebilmesi olanaksızdır [21].



Şekil 2.2 Kurutulan gıdanın nem içeriğinin bağıl nem ile ilişkisi [21]

2.5.5 Kurutulan Gıdaya Özgü Nitelikler

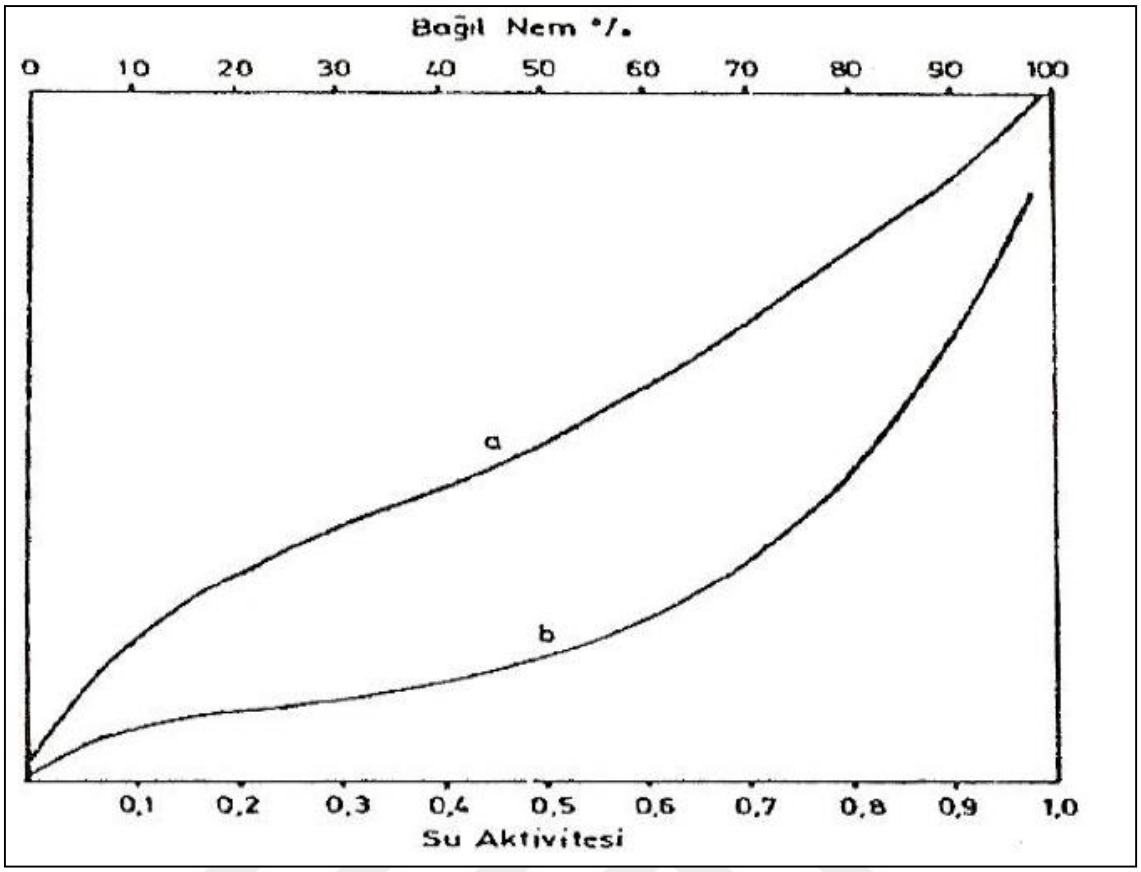
Ürünün kendine has olarak kuruma süresince farklılık gösteren özellikleri de gıdaların kurutulması sırasında önemli bir faktördür. Örneğin; maddenin içindeki ısı transferi ve böylece sıvı ve buhar fazına geçen ısı, maddenin ısıl iletkenliğine bağlı olmasından kuruma hızına etki etmektedir. Gıdanın kimyasal yapısı da kuruma üzerinde etkilidir. Küçük moleküllü erimiş (şeker, tuz vb.) maddeleri ihtiva eden zengin bir gıda, bu maddelerin daha az bulunduğu bir gıda ile kuruma bakımından mukayese edilirse, çözünmüş maddelerin suyun buhar basıncını düşürerek buharlaşma işlemini zorlaştırmasından dolayı, erimiş maddelerce zengin olanın daha zor kuruduğu gözlenir.

Aynı şekilde, ortamda yağ bulunması kuruma hızını olumsuz olarak etkileyen bir faktördür. Yağın devamlı faz olduğu bir emülsiyonda, yağ damlacıkları su moleküllerinin etrafını çevrelediğinden bu gibi bir sistemde suyun buharlaşarak uzaklaşması çok güçtür [21], [22].

Diğer taraftan gıdaların içerdiği serbest su, gıdada ilk olarak ve kolaylıkla uzaklaşabilen su olmasına rağmen, katı parçacıklara adsorbsiyonla bağlanan su daha zor uzaklaştırılabildiği için nişasta ve pektince zengin maddelerin kurutulması oldukça güçtür. En zor uzaklaştırılan su ise, glikoz monohidrat gibi hidrat formunda kimyasal bağlı sudur. Böylece maddenin bileşiminin, suyu bağlama şekli vasıtasıyla kuruma hızına tesir ettiği gözlenmektedir [22].

Meyve ve sebzeler doğal hücrelerden meydana gelmiş dokular olduğundan dolayı, su hem hücre içinde hem de hücreler arasında bulunur. Hücreler arasındaki suyun uzaklaşması daha kolaydır. Ancak hücre ölünce, hücre zarı daha fazla geçirgenlik kazanarak, hücre içindeki suyun uzaklaşması basitleşir. Eğer doku haşlanmışsa, geçirgenlik çok hızlı bir şekilde meydana gelir. Bu nedenle haşlanmış ürünler daha hızlı kururlar [21].

Kurutulmuş ürünlerin higroskobik nitelikleriyle, depolanma koşullarını ortaya koyan adsorpsiyon izoterminde, grafiğin soluna denk gelen ve daha dik bir eğimi ile gelişen gıdalar higroskobik nitelikli gıdalardır. Buna karşın, grafiğin daha sağına denk gelen ve daha düşük bir eğimle gelişen adsorpsiyon veren gıdalar ise, higroskobik olmayan gıdalardır ve bunlar neme karşı daha az duyarlıdırlar. Bu durum Şekil 2.3'te daha ayrıntılı olarak verilmiştir [21].



Şekil 2.3 Higroskobik olan (a) ve higroskobik olmayan (b) ürünlerin adsorbsiyon izotermleri [21]

2.6 Gıdaların Kurutulması Sırasında Meydana Gelen Değişimler

Kurutma sırasında meydana gelen kimyasal, biyokimyasal ve fiziksel değişimler ile biyolojik bir malzemenin kurutma sonrası kalitesi belirlenebilmektedir. Son ürünün kalitesi üzerinde kurutma süresi, sıcaklığı ve su aktivitesi etkili olmaktadır. Düşük kurutma sıcaklığı son ürünün kalitesine olumlu bir etkiye sahip olmasına rağmen kurutma süresini uzatmaktadır.

Diğer taraftan yüksek kurutma sıcaklığı kurutma süresini azaltmasına karşın, çok yüksek seçildiğinde yüzeyin hızlı bir şekilde nem kaybederek kabuk bağlaması sonucu ürünün kuruma süresinin uzamasına da neden olabilmektedir. Düşük su aktivitesine sahip olan son üründe mikroorganizma gelişmesi önlenmekte lakin lipid oksidasyon reaksiyonları hızlanmaktadır [23].

2.6.1 Kimyasal Değişimler

Renk değişimleri:

Renk belki de kurutulmuş gıdaların kalitesi ile ilgili en önemli niteliktir, çünkü genellikle müşteriler tarafından seçim yapılırken ilk dikkate alınan husus ürünün dış görünüşü ve dolayısıyla rengidir. Renk, kurutma işlemi esnasında biyokimyasal reaksiyonlar dolayısıyla değişime uğrayabilir. Bu tarz reaksiyonların hızı, sistem parametreleri ve kurutma metoduna güçlü bir şekilde bağlı olmaktadır. Meyve, sebze, aromatik bitkiler vb. ürünlerin renkleri, kurutma ve depolama sırasında bozunmaya duyarlı enzimatik ve enzimatik olmayan reaksiyonlar tarafından uyarılmış pigmentlerinin mevcudiyeti (antokiyan, klorofil, karetonoid, betalain) ile ilgilidir [24].

Klorofil yağda çözünebilen, yeşil renkli, gıda sistemlerinde bozunmasın nedeni anlaşılamayan bir renk pigmentidir. Bu pigment indirgenerek kahverengi-gri renginde istenmeyen bir bileşik olan feoforbit ve feofitine dönüşür [24].

Karotenoidler ise renk pigmentleri grubunda en yaygın bulunan, oldukça önemli bir pigmenttir; bitkilerden, balık, kuş ve diğer hayvanlara kadar doğada pek çok canlıda mevcuttur. Açık sarıdan koyu kırmızıya değişen farklı tonlarda renk oluşumundan sorumlu olan karotenoidler, proteinlerle kompleks oluşturduklarında yeşil ve mavi renk verirler [25]. Antokyan, meyvelerdeki pembe, mavi, mor renklerini oluşturan suda çözünebilen renk pigmentidir. Asidik pH değerlerinde, genellikle stabildir. Hidroperoksit ile renksiz olan malvona yükseltgenirler [26].

Esmerleşme Reaksiyonları:

Kararma reaksiyonları sadece ürünün rengini değiştirmekle kalmaz, yanı sıra çözünürlüğünü ve besinsel değerlerini de azaltmakta; tadı istenmeyecek şekilde değiştirmekte ve geri dönüşü olmayan yapısal değişimlere de neden olmaktadır. Maillard ve karamelizasyon, enzimatik olmayan iki ana kararma reaksiyonlarıdır. Kararma reaksiyonları orta seviyeli nem miktarında hızlanmakta, çok az ve fazla nem oranlarında ise yavaşlamaktadır. Kararma reaksiyonlarının engellenebilmesi için literatürde farklı bir takım tavsiyeler olmasıyla beraber, hemen hemen hepsi kurutma işlemi sırasında ürünün gerek olmayan yüksek sıcaklıklara maruz kalmamasını önermektedir [27].

Su içeriği ve su aktivitesi Maillard reaksiyonunda oldukça önemlidir [26]. Labuza vd. [28] düşük nem modeli sistemlerinde reaktant ve solvent olarak suyun rolü üzerinde çalışmışlardır. Su, Maillard reaksiyonunun ilk aşamasının gerçekleşmesi için gereklidir

[29]. Maillard reaksiyonları, aminoasitlerin ve proteinlerin şeker üstündeki etkilerini araştırır.

Gıdanın içeriğindeki karbonhidrat indirgenmiş şeker olmalıdır, ve daha sonra melanoidlere ve amin yapılarına dönüşerek gıdanın kahverengi rengi almasına sebep olur [30]. Bu reaksiyonların besinsel, renk, aroma ve tat üzerinde etkisi vardır. Düşük su içeriğinde kahverengileşme hızı fazladır, bu da kurutulmuş ve konsantre gıdadaki kahverengileşmenin kolaylığını açıklar. Ayrıca sıcaklığında kahverengileşme hızında etkisi vardır [26].

2.6.2 Biyokimyasal Değişimler

Genel bir kural olarak, yüksek kuruma sıcaklıkları gıda ürününün kalitesini bozma eğilimindedir. Bu kalite değişimlerinin sıcaklık ve zaman ile bağlantılı olduğunu söylemek hassas bir durumdur. Bu parametreler reaksiyon hızını yükseltir ve ayrıca güçlü bir şekilde ürünün su aktivitesine a_W bağlıdır [24].

Lipid oksidasyonu:

Lipid oksidasyonu birçok gıdada acılaşma, arzu edilmeyen tat değişimlerinden, yağda çözünen vitamin ve pigmentlerin kaybından sorumludur. Ürünün nem miktarı, substrat tipi (yağ asitleri) ve enzim aktivitesi, reaksiyon uzunluğu, oksijen içeriği, sıcaklık, metallerin varlığı, doğal antioksidanların varlığı, UV ışığı, protein ve serbest aminoasit içeriği oksidasyona etki eden etkenler arasında sayılabilmektedir [27]. Saguy ve Karel'e göre [31] özellikle nem içeriği oksidasyon reaksiyon hızı üzerinde etkili olmakta ve su aktivitesinin 0.3 dolaylarına indirgenmesi ise oksidasyon reaksiyonları önemli miktarda azaltmaktadır. Reaksiyon hızını, oksijen varlığının oldukça düşük seviyelere indirgenmesi de önemli ölçüde düşürmektedir [27].

Enzimatik reaksiyonlar:

Suyun aktivite değerinin 0.75'ten küçük olduğu zaman enzimatik reaksiyonlar engellenir. Çoğu zaman enzimatik aktivite gıdadaki besin değerini ve ürünün rengini etkilediğinden dolayı istenmeyen bir durumdur [26].

C vitamini kayıpları:

C-Vitamini veya diğer ismiyle askorbik asit beraber olmak kaydıyla yüksek nem ve yüksek sıcaklıklara duyarlıdır. Kurutma sırasında askorbik asit kayıplarını minumuma

düşürebilmek için, yüksek nem mevcudiyetinde düşük sıcaklık uygulanmalı ve ürünün nem içeriği azaldığı vakit askorbik asit daha istikrarlı bir yapıya sahip olmasından dolayı, sıcaklık aşamalı olarak arttırılmalıdır [27]. Buna ek olarak, genellikle kurutma süresi uzadıkça askorbik asit muhafazası azalır [32]. Dondurarak kurutma bu yüzden düşük sıcaklıklara, reaktantların deviniminin ve O_2'in kısmi basıncının indirgenmesine bağlı olarak yüksek miktarda C-vitamini muhafazasını sağlar [26].

Protein kayıpları:

Proteinler, gıdaların kurutulmaları esnasında uygulanan kurutma yönteminden olduğu gibi, kurutma sırasında meydana gelen fiziksel ve kimyasal değişimlerden de etkilenirler. Teorik olarak gıdalarda mevcut olan su içeriğinin azaltılması ile proteinlerin stabilitelerinin artması nedeniyle gıdaların kurutulması esnasında, proteinlerin biyolojik değeri ve sindirim özelliği kaybolmamaktadır [33].

2.6.3 Fiziksel Değişimler

Kurutma koşullarının hatalı seçilmesi sonucu meydana gelen bir olaydır. Kurumanın ilk aşamasında yüksek sıcaklık uygulanmasından kaynaklanabilir. Yüzeyde hızla oluşan kuru tabaka büzüşme sonunda alt tabakalara baskı uygular. Lakin alt tabakaların henüz ıslak olması üstten gelen basınca direnç göstermesine sebep olur. Bu durumda kuruma sonucu büzüşme fırsatı bulamayan üst tabaka gerilip sert bir kabuk halini alır. Böylece oluşan sert kabuk, kurumanın sonraki aşamalarında, alt tabakalar kuruyup buruşsa bile bir daha geçmez ve alt tabakalardan ayrılarak sert tabaka yapısını muhafaza eder. Kabuk bağlama ile kuruma hızı aniden düşer. Kurutma koşulları ayarlanarak kabuk bağlamanın önlenmesinin imkanı bulunmaktadır [21].

Rehidratasyon ve Büzülme:

Kurutulmuş bir ürünün tekrardan su alma kapasitesi rehidratasyon olarak tanımlanabilmektedir. Kurutulmuş bir ürünün rehidratasyon özellikleri kurutma esnasında meydana gelen kimyasal ve yapısal değişimler, kurutma koşulları, ürüne kurutma öncesi uygulanan ön işlemler ve ürün kompozisyonu ile doğrudan bağlantılıdır. Yapısal ve hücresel bozulmalar minimize edildiğinde rehidratasyon miktarı en yüksek seviyeye varabilmektedir [27].

Meyve ve sebzeler gibi lifli yapıların kurutulması esnasında, özellikle kurutmanın ilk safhalarında %40-50'ye ulaşan büzülmeler oluşur. Büzülme, kurutulan gıdanın yüzeyinin

daralmasına ve sertleşerek su geçişine izin vermemesi nedeniyle kuruma hızını azaltan bir etkendir. Birçok gıdada, yüksek sıcaklıklarda kurutma işlemi gerçekleştiğinde, gıdanın yüzeyinden birim zamanda geçiş yapan su miktarı artması nedeniyle büzülme miktarı da artmaktadır [19].

Büzülmenin etkisinin düşürülebilmesi için, gıdanın daha nemli bir hava ile veya daha düşük bir sıcaklıkta kurutulması gerekmektedir. Bu sayede kuruma hızı ve gıdanın yüzeyinden birim zamanda transfer olan su miktarı azalır. Böylelikle büzülme miktarı da düşüş gösterir. Aynı zamanda; gıdaların mikrodalga ile kurutulduklarında diğer kurutma yöntemleri ile kurutulmalarına nispetle daha az büzülme gösterdikleri ifade edilmiştir [34].

Dokusal değişimler:

Gıdaların kurutulması sonucunda dokularında oluşan değişimler, kurutma işlemi sonucunda gıda yüzeyinde oluşan değişimlerin bir göstergesidir. Dokusal özellikleri etkileyen etkenler; gıdanın nem içeriği, ortamın pH'ı, gıdanın boyutları, gıdanın besin içeriği, kurutma ortamı ve kurutma sıcaklığıdır. Gıdalarda kurutma esnasındaki dokusal değişimlere bağlı olarak meydana gelen kimyasal değişimler; pektinin bozunması, selüloz kristalizasyonu ve nişastanın jelâtinleşmesi şeklinde sıralanabilir. Genel olarak, dokusal değişimler, yüksek sıcaklık ve buna bağlı olarak değişen yüksek kurutma hızları ile doğru orantılı olarak değisir. Sıcaklık ve hız arttıkça, dokudaki değişimlerde artmaktadır [35].

BÖLÜM 3

ENDRÜSTRİYEL KURUTUCULAR

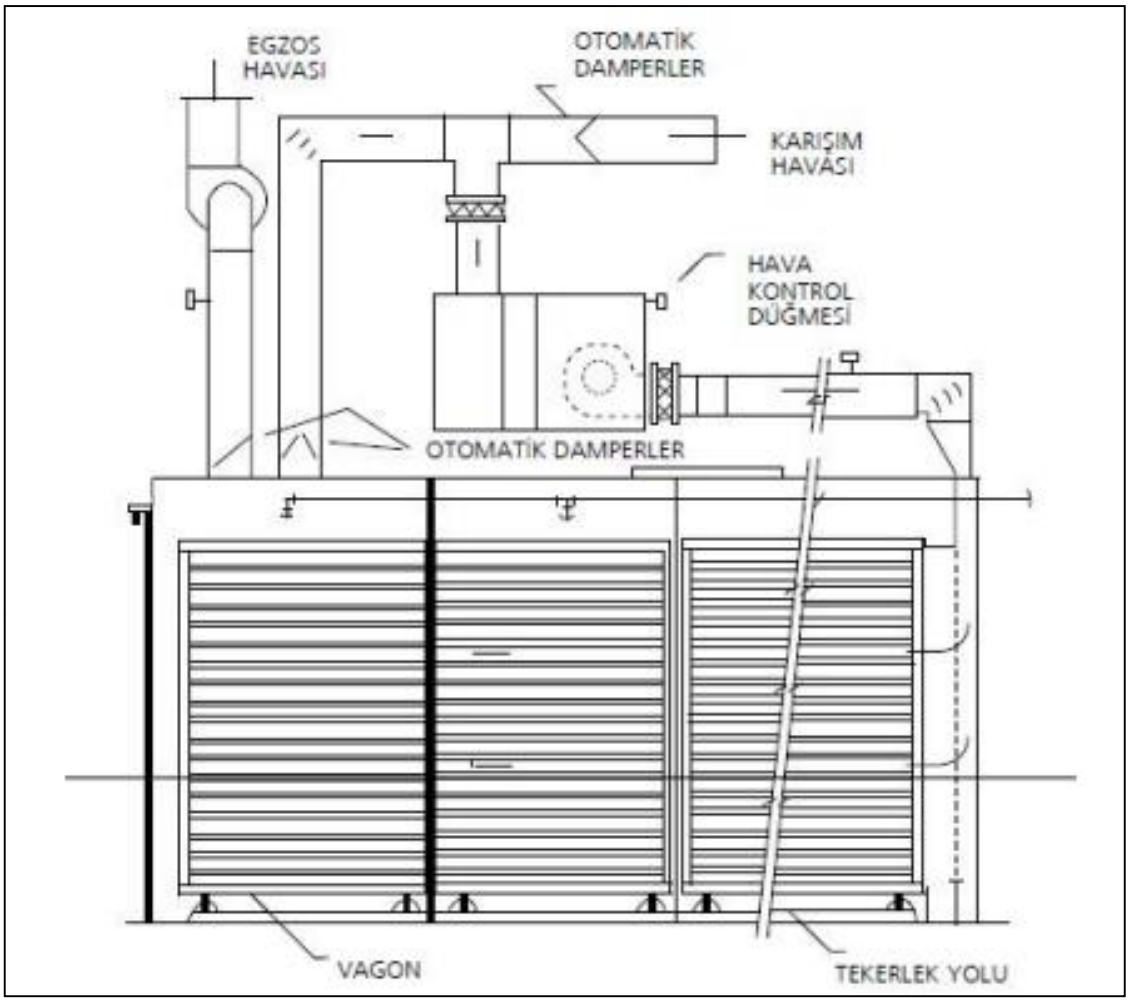
Gıda endüstrisinde kullanılan kurutucular çok yaygın olmakla birlikte değişik şekillerde mevcuttur. Bilinen kurutma prensipleri herhangi bir tipteki kurutucuya uygulanabilir [36]. Endüstride 200'e yakın kurutucu kullanılmasına rağmen, bunlardan sadece 20 kadarı gıdaların kurutulmasına elverişlidir. Aşağıda değişik şekildeki bazı kurutucuların çalışma esasları özetler halinde verilmiştir [35].

3.1 Akışkan Yataklı Kurutucular

Akışkan yataklı kurutucuda kurutulacak olan gıda maddesi aşağıdan yukarıya doğru ilerleyen sıcak hava akımı içerisinde, ağırlığı karşılanacak şekilde asık bir biçimde tutulur. Havadan gıda maddesine ısı genelde konveksiyon yolu ile iletilir [36]. Akışkan yataklı sistemlerde kurutulan malzemelere; kömür, kireç taşı, çimento, kabuklar, dökümhane kumu, fosfat kayası, plastik tıbbi malzeme ve yiyecekler örnek olarak verilebilir [37].

3.2 Tünel Kurutucular

Tünel kurutucular sürekli çalışan kurutucular olmakla birlikte, kullanılmaları ancak kurutulacak hammaddenin miktarı fazla, genel özellikleri homojen ve su miktarı homojen ise doğru olur. Şekil 3.1'de tünel tipi kurutucu görülmektedir. Malzeme, kurutucuda sürekli ya da periyodik olacak şekilde tepsiler, arabalar veya bölmeler içerisinde hareket ettirilir. Hava akışı tepsi yüzeyinde paralel ve ya çapraz şeklinde olabilir. Kurutucudaki havanın dolaştırılması ya da tekrar ısıtılması, hava egzoz edilmeden yüksek bir karışım kalitesine erişmesini ve duyulur ısı kaybının düşürülmesini sağlar. Tünel kurutucularda gözlenen bazı problemler aşağıda verilmiştir [37].



Şekil 3.1 Tünel tipi kurutucu [38]

- İşletmenler, çıkan malzeme miktarını arttırabilmek için tepsileri aşırı yükleyebilir, bu da sistemin aşırı yüklenmesine ve kuruma zamanının artmasına sebep olabilir**.**
- Bazen, kurutma tünelindeki hava üretim kesimine boşaltılabilir ve bu işlemde malzeme nemliliğini yükseltir. Kurutma tünelindeki hava sisteme tekrar gönderilmeli ya da dışarı atılmalıdır.
- Ürün tepsilerinin aşırı yüklenmesi sebebiyle basınç düşer, bu da tünel kurutucunun akış hızını azaltır. Kontrol paneli, tüneldeki optimum akış hızın göstermelidir. Hızlı ve yavaş akış ile yüksek nem oranlarında sesli uyarı sistemi devreye sokulmalıdır.
- Çevrim zamanı karşı-akışlı kurutucu tasarımı ile birlikte paralel akışlı sisteme oranla daha fazla azaltılabilir [39].

Başlangıçta, paralel akış tünellerinde kuruma hızı çok fazladır. Materyalin yüzeyi çok hızlı kuruduğundan dolayı üründe çok az bir buruşma oluşurken, parçacıkların içinde boşluk ve çatlaklar belirir. Kurutma tünelinin sonunda kurutucu hava nispeten soğuk ve fazla nemli olduğu için kurutmanın son evresi çok yavaş gerçekleşir.

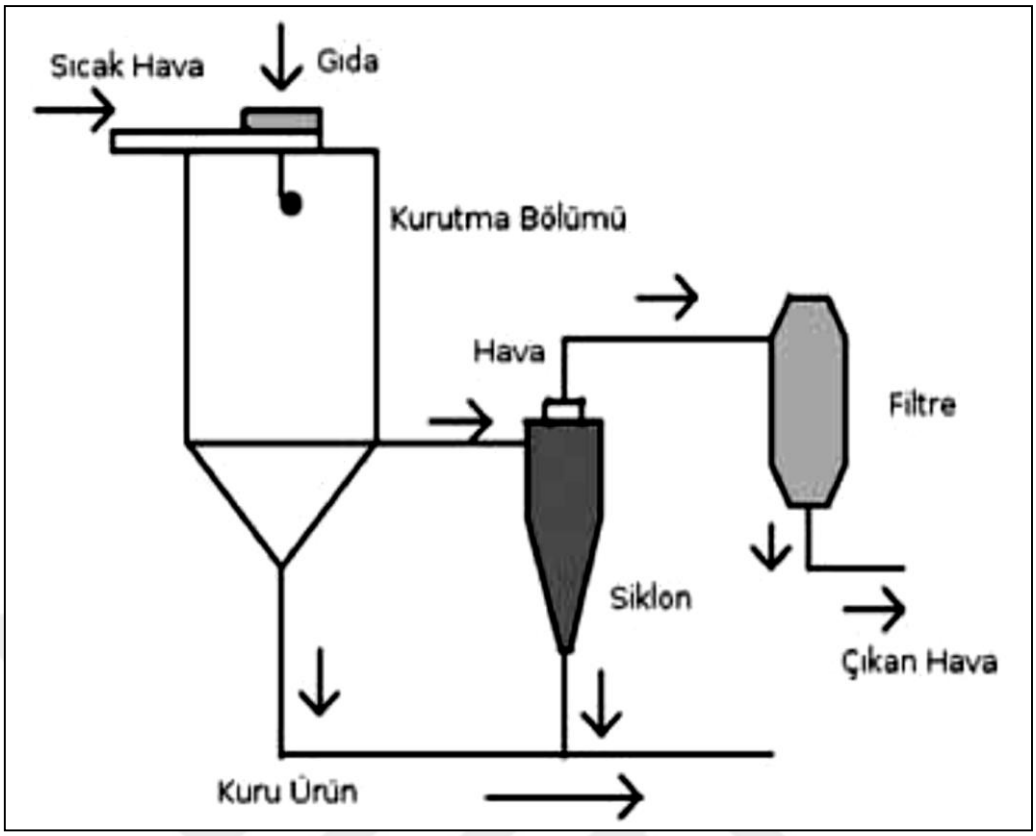
Zıt akış tünellerinde ise madde kurudukça daha uygun kurutma koşulları ile karşı karşıya gelir. Kurumanın ilk kısmı daha soğuk ve daha nemli hava ile meydana geldiğinden ve kurutulan materyal içinde nem dağılımındaki fark az olduğundan, tam ve engelsiz bir buruşma meydana gelir. Zıt akış tüneli, bilhassa erik gibi yumuşak meyveler için oldukça elverişlidir. Tersi durumda kurumanın ilk evresinde ürünün öz suyu dışarı çıkar [38].

3.3 Sprey (Püskürtmeli) Kurutucular

Sprey kurutucularda sıvı veya çok ince katı tanecikler durumundaki gıda maddesi zerreler halinde ısıtılmış hava içerisine püskürtülerek kurutma çok kısa sürede sonlanır. Bu sistem ısı ile zarar görebilecek gıda maddeleri için uygundur. 93-760°C arasında değişirken gaz sıcaklığı, yüksek sıcaklıklar için özel yapı malzemeleri tercih edilir. Gaz sıcaklığı yükseldikçe ısıl verim artar, bu nedenle yüksek sıcaklıklar tercih edilir ve kurutma kısa sürede gerçekleştiğinden gıdalara zarar vermez [39]. Şekil 3.2'de açık döngü püskürtmeli kurutma sistemi verilmiştir. Püskürtmeli kurutucular gıda sanayinde süt, peynir altı suyu, laktoz, yumurta vb. ürünlerin kurtulması; sodyum kazeinat, dondurma karışımları, bebek mamaları vb. ise üretiminde kullanılırlar [40].

3.4 Kabin Kurutucular

Kurutulacak olan ürün ızgara şeklindeki "kerevet" adındaki tavalara yerleştirilir. Kerevetler üst üste konularak vagon oluşturulur ve kurutma kabinine alınır. Burada kerevetler hareketsiz kalır. Kabinin yan tarafındaki ayarlanabilen panjurlardan sıcak hava gönderilirken, içerideki nemli hava aynı şekilde yan duvarlardan kabin dışına alınır. Temel sorun ise kerevetlerde aynı kurutma hızına ulaşılamamasıdır. Bunun nedeni ise kerevetlerde hava hızı, nemi ve sıcaklığın aynı seviyede tutulamayışıdır [39].



Şekil 3.2 Açık döngü püskürtmeli kurutma sistemi [5]

3.5 Pnömatik Kurutucular

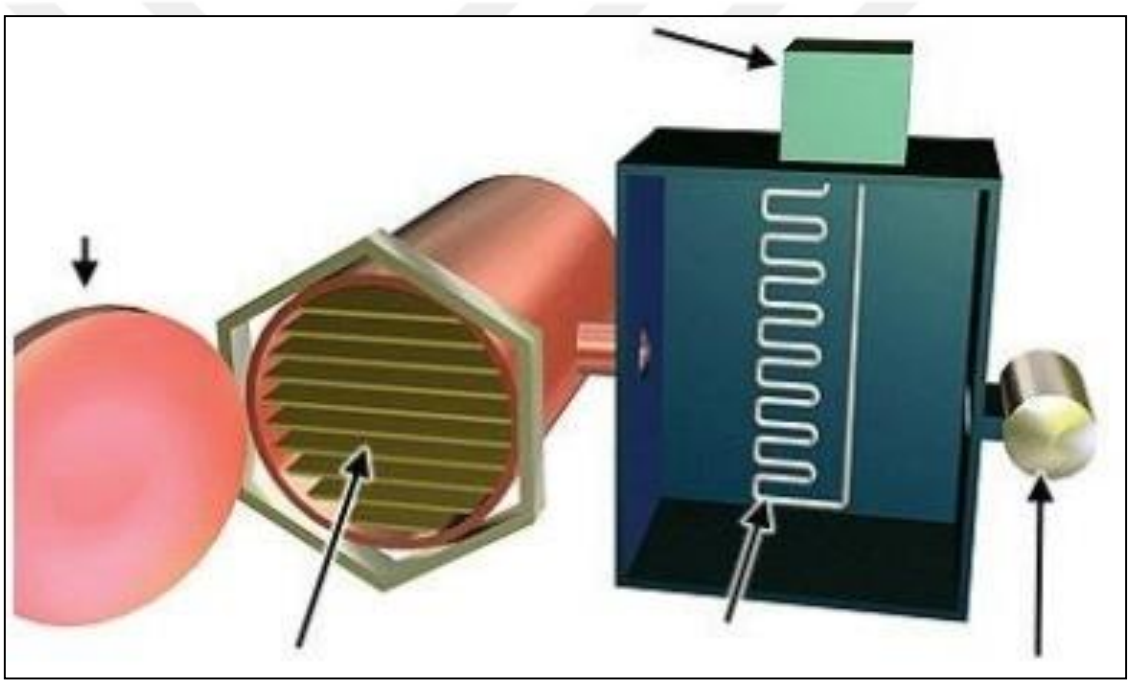
Kurutulacak olan gıda maddesi hızlı bir şekilde hava akımı içerisinde taşınır. Kurutma işlemini ısıtılmış hava gerçekleştirir. Kurutucu içerisinde çoğunlukla bir sınıflandırma düzeni mevcuttur. Bu düzenin yardımıyla; kurumuş olarak bulunan gıda maddesi ayrılarak kurutucudan alınıp, henüz kurumamış olan gıda maddesi ise yeniden devreye sokulup kurutmaya devam edilir [36].

3.6 Döner Kurutucular

Bu tip kurutuculardа gıda maddesi bir silindir içerisine alınır. Gıda maddesi silindir içerisinde ilerlerken silindir boyunca gönderilen sıcak hava akımı veya ısıtılan silindir duvarlarından kondüksiyon yolu ile ısıtma işlemi gerçekleştirilir. Bazı tip silindir kurutuculardа silindirin kendisi dönerken, bazılarında ise silindir sabit olup, içerisinde dönen paletler veya bir vida vasıtasıyla gıda maddesi silindir boyunca taşınır [36].

3.7 Dondurarak Kurutmanın Yapıldığı Kurutucular

Bu yöntem basıncın üçte bire indiği bir kurutma çemberine konulmuş malzemeden soğutulmuş veya dondurulmuş nemin arıtılması temeline dayanır. Gerekli olan ısı değeri genellikle ısıtıcı tabla veya plakalardan iletilmesi ile elde edilir [41], [42]. Eczacılık ürünleri, bakteri, virüs kültürleri, aşılar, meyve suları, sebzeler, deniz ürünleri, etler ve süt gibi gıda ürünleri için şoklama yapılır. Şekil 3.3'de görüldüğü gibi malzeme ilk olarak dondurulur, daha sonra ise düşük sıcaklıklı bir yoğuşturucuya bağlı yüksek vakum odasına konulur. Isı kızılötesi donmuş malzemeye ışınımla iletilir, uçucu madde (su) gaz fazına geçer, yoğuşur ve kimyasal kurutucu ile soğurulur. Bu işlem pahalı ve yavaş olmasına karşın, ısıya duyarlı maddeler için uygundur [39].



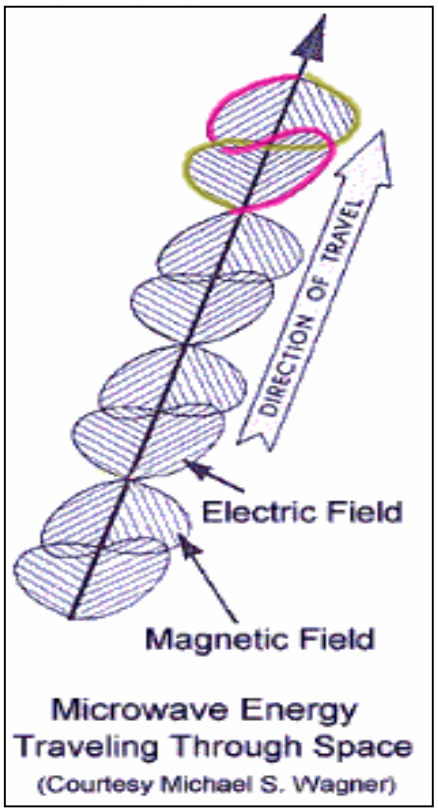
Şekil 3.3 Dondurarak kurutma [39]

BÖLÜM 4

MİKRODALGA ve GIDA SANAYİİNDE KULLANIMI

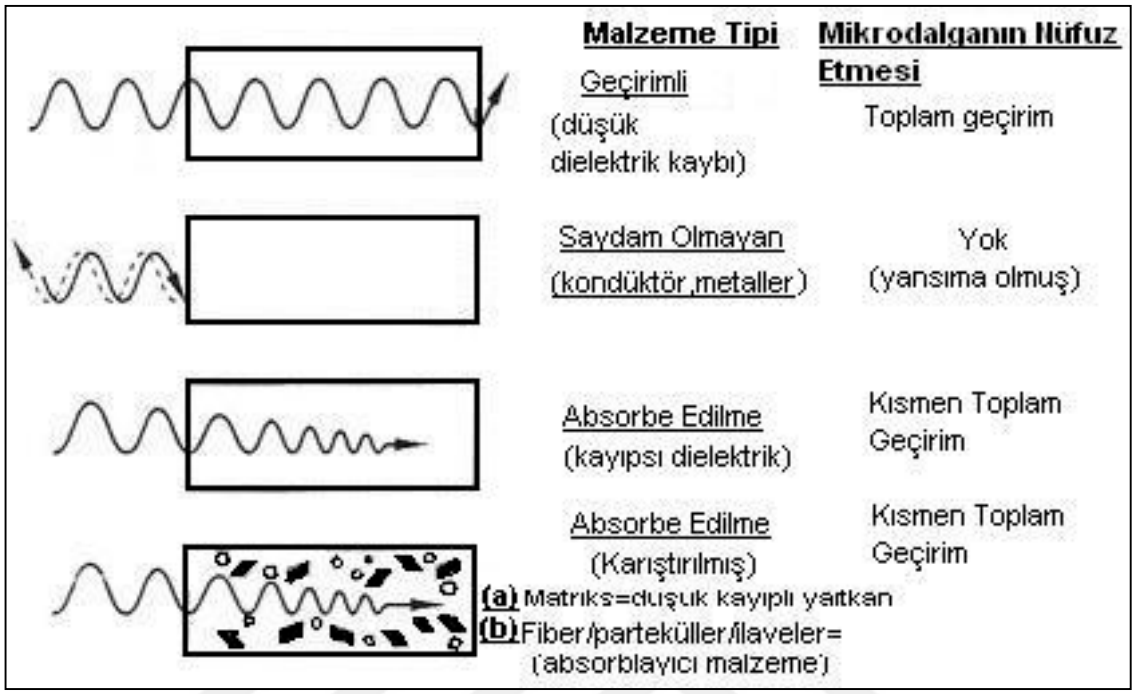
4.1 Mikrodalga Enerji

Dalga boyu 1 mm-1 m ve 0.3-300 GHz frekans aralığındaki iyonize olmamış elektromanyetik radyasyon, mikrodalga enerjisi olarak adlandırılır. Elektromanyetik ışımada; elektrik ve manyetik alan uzayda birbirine dik olacak şekilde hareket eder. Bu ilerleme ışık hızında meydana gelir [43]. Şekil 4.1'de elektrik ve manyetik alanın uzayda birbirine dik olarak ilerleyişini göstermektedir.



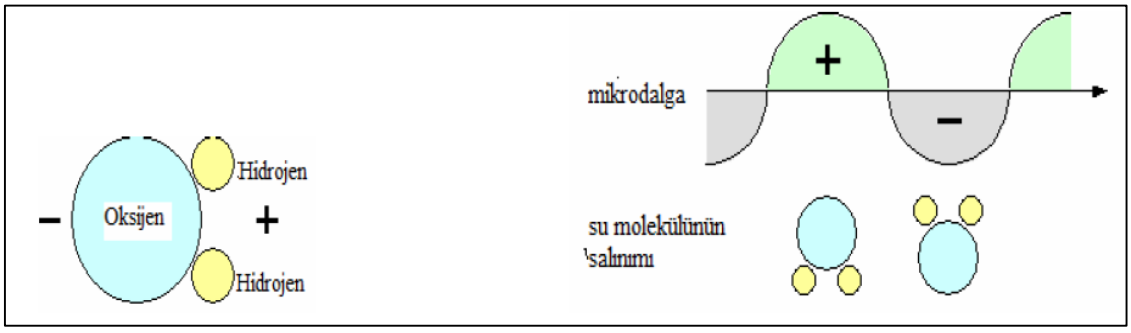
Şekil 4.1 Elektrik ve manyetik alanın uzayda hareketi

Mikrodalga enerji, maddelerle etkileşime girdiğinde üç farklı tepki verir. Malzemeler mikrodalga enerjiyi ya geçirir ya yansıtır ya da absorplar [43]. Şekil 4.2'de malzeme tiplerinin mikrodalga enerjiyle etkileşimleri belirtilmektedir.

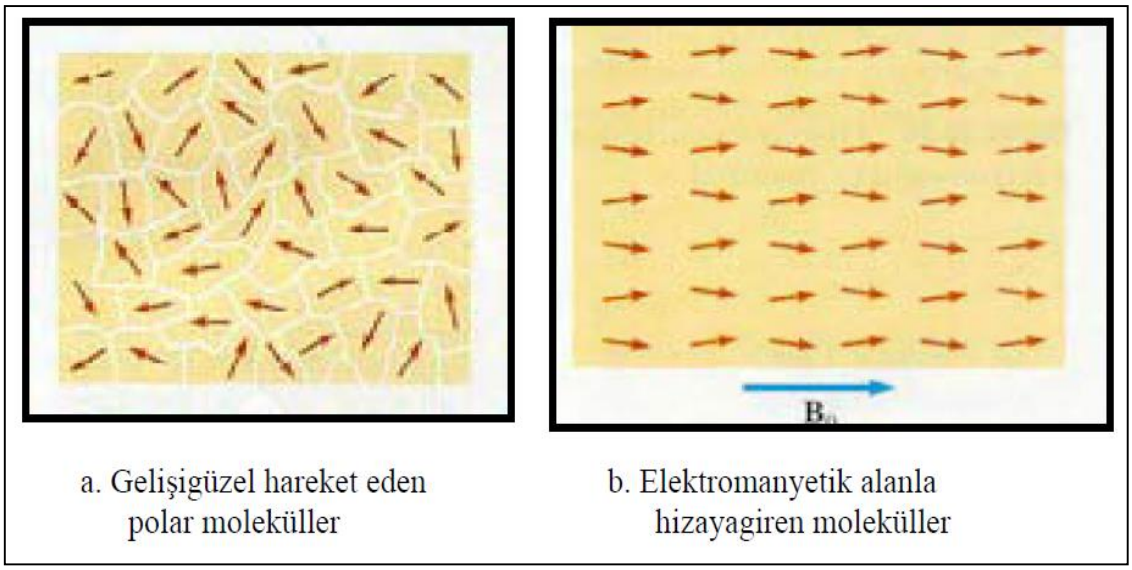


Şekil 4.2 Mikrodalga enerjinin çeşitli malzemelerle etkileşimi [43]

Geçirimli malzemeler; camlar, seramikler ve teflon, yansıtan malzemeler; metaller ve alaşımlar, absorbe eden malzemeler; sulu çözeltiler ve polar çözücüleri içine almaktadır. Mikrodalga enerji polar maddeler üzerinde etkili olmaktadır. Mikrodalgalar iyonik parçacıkların göçü veya dipolar parçacıkların rotasyonu ile moleküler harekete sebep olurlar. Bu hareketler ise sürtünmeye ve dolayısıyla da ısı enerjisine neden olur [43]. Şekil 4.3'de polar bir madde olan su molekülünün mikrodalga enerji ile etkileşimi gösterilmiştir. Şekil 4.4'de gelişi güzel hareket eden ve elektromanyetik alanla hizaya giren polar moleküller verilmiştir.



Şekil 4.3 Polar bir madde olan su molekülünün mikrodalga enerji ile etkileşimi[43]



Şekil 4.4 Gelişi güzel hareket eden ve elektromanyetik alanla hizaya giren polar moleküller [43]

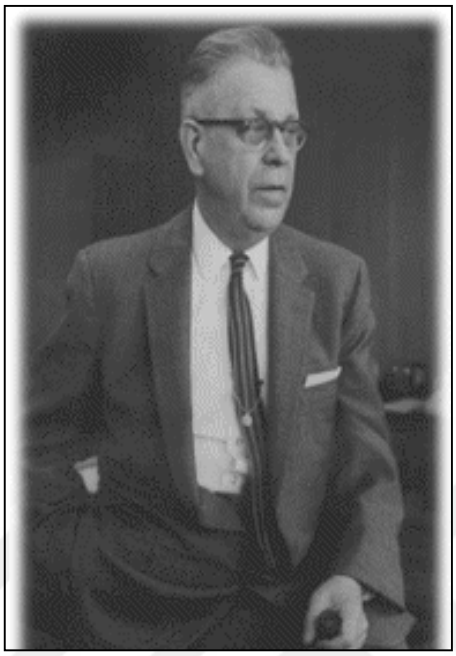
4.2 Mikrodalga Enerjisinin Tarihçesi

İlk olarak İngiliz fizikçi James Clerk Maxwell elektromanyetik dalgaların varlığınından bahsetmiştir. İngiliz O. Heavisi ve Hollandalı H. A. Lorenzt'in elektromanyetik teorinin gelişmesine büyük katkıları olmuştur. Maxwell denklemlerinin bulunmasından 20 yıl sonra Alman fizikçi H. Hertz Maxwell, Maxwell dalgalarını deneysel olarak laboratuvarda oluşturabilmiştir. II. Dünya savaşı sırasında radar telekomünikasyonlarındaki yani iletişimdeki faydaları sebebiyle gelişimi hızlanmıştır [44].

1946 yılında, Raytheon Şirketinde magnetronlar (mikrodalga ışıma üreten vakum tüpleri, 1 mm ile 30 cm dalgaboyu arasında olan bir çeşit elektromanyetik ışıma) üzerinde çalışan mühendis Dr. Percy LeBaron Spencer (Şekil 4.5) tarafından tesadüfî bir şekilde bulunmuştur. Bir gün, laboratuarda çalıştığı sırada yanında getirmiş bulunduğu çikolatanın eridiğini fark etmiş ve bunun mikrodalga yüzünden olduğunu farketmiştir. Yaptığı deneylerin sonunda, mikrodalganın gıdaları normal ısıyla çalışan fırınlardan dahi hızlı bir şekilde pişirdiğini anlamıştır [45].

Raytheon Şirketi, 1954 yılında 1161 Radarange adındaki ilk ticari mikrodalga fırını (Şekil 4.6) piyasaya sürmüştür. Bu fırın, çok büyük ve 1600 Watt gücündeydi. Fiyatı oldukça pahalı olmasına karşın hızlı mikrodalga pişirme konsepti böylelikle hayatımıza giriş yapmıştır [45]. 1967 yılında, Raytheon Şirketinin bir parçası olan Amana, ilk ev tipi Radange adındaki mikrodalga fırını tanıtmıştır. 1971 yılının sonlarına doğru tezgah üstü

mikrodalga fırınların fiyatları düşmeye ve bununla birlikte aynı zamanda özellikleri de artmaya başlamıştır [45].



Şekil 4.5 Precy LeBron Spencer [45]



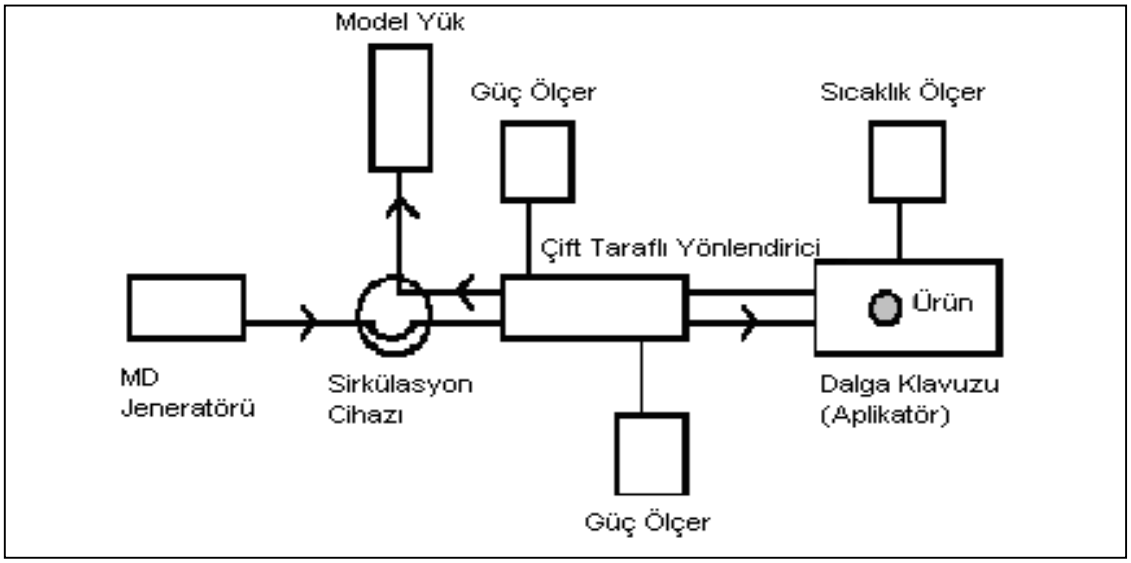
Şekil 4.6. İlk sanayii tipi mikrodalga fırın [45]

4.3 Mikrodalga Teknolojisi

Mikrodalgalar görünür ışık ile radyo dalgaları arasında var olup, elektromanyetik spektrumun bir parçasıdır. Dalga boyları 1 mm–1 m ve frekansları 300 MHz-300 GHz arasındaki değerlerde olan mikrodalgaların ısıtma frekansları endüstriyel, bilimsel ve tıbbi kullanımlar olmak üzere belirlenmiştir [46]. Radar dalgaları ile karışmaması ve pişirmeye en uygun olması sebebiyle fırınlar için, 2 ayrı frekans tercih sebebidir. Bunlar 915 MHz ve 2450 MHz olmakla birlikte, mikrodalga fırınlarda 2450 MHz frekanstaki dalgalar da kullanılabilmektedir [47].

4.4 Mikrodalga Jeneratörleri

Mikrodalgalar genellikle, verimleri mikrowattan megawata kadar olan, sürekli ya da kesikli dalga salınımları yapan, magnetron ve klystron gibi aletler kullanılarak elde edilmektedir. Deneysel çalışmalarda mikrodalga devreler oluşturulmaktadır. Materyaller, devrenin aplikatör olarak isimlendirildiği bölümde elektromanyetik ışığa maruz bırakılırlar. Aplikatör, bir boşluklu dalga kılavuzu, silindir ya da dikdörtgen bir boşluk yankılatıcısı olabilmektedir. İşlem, enerjinin tamamının materyal tarafından emilene kadar devam eder. Elektrik alanının materyallere transferi sürekli veya kesikli dalgalar halinde olabilir [48]. Üretim anında sadece tek bir değerle çalışılabiliniyorsa, sistem sürekli çalışıyor anlamına gelmektedir. Ancak verilecek enerji değerleri değişiyorsa yani sabit değilse sistem *darbe* halinde kesikli çalışıyor demektir [48]. Şekil 4.7'de mikrodalga devresinin şematik gösterimi verilmiştir.

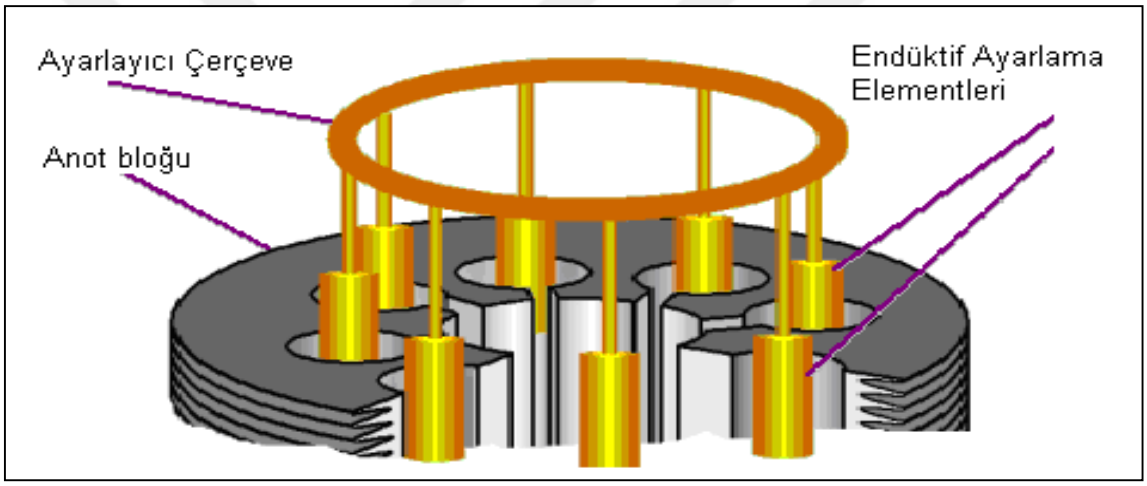


Şekil 4.7 Mikrodalga devresi şematik gösterimi [47]

4.5 Mikrodalga Bileşenleri

4.5.1 Magnetronlar

Magnetronlar, merkezdeki elektron yayıcı katot ile delikli silindirik anottan oluşan sistematik dairesel yüksek vakumlu elektronik valflar olduğu söylenilebilir. (Şekil 4.8). Anot, çıkış frekansına karar veren ayarlı devreler şeklinde servis eden yankılanan boşluklar ihtiva eder. Anten tarafından dalga kılavuzuna bağlanan anot, magnetrondan dalga kılavuzu için mikrodalga enerji iletir [49]. Magnetron, 60 Hz'lik elektriksel gerilimi 2450 MHz frekansındaki mikrodalga enerjisine dönüştüren elektronik bir tüptür. Küçüklük ve ucuzlukları sebebiyle magnetronlardan cisimleri ısıtmak amacıyla ticari fırınların hepsinde ve endüstriyel fırınların büyük bir bölümünde yararlanılır [49].



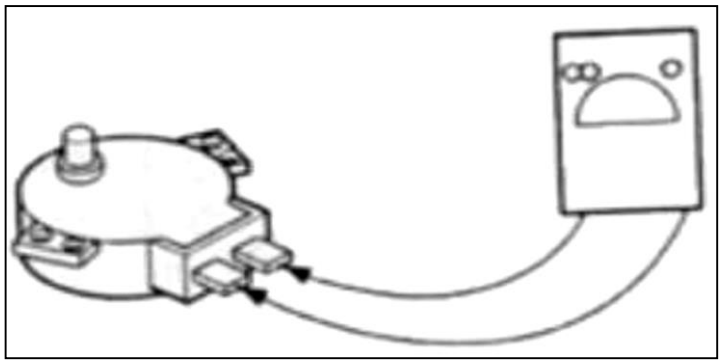
Şekil 4.8 Magnetron [49]

4.5.2 Güç Ünitesi

Mikrodalga fırınlarda bulunan güç ünitesi, şebekeden alınan elektrik enerjisini kullanarak magnetronun çalışabilmesi için gerekli olan voltajı sağlar. Magnetronlar büyük oranda birkaç bin voltluk potansiyel farklarında çalışırlar [50].

4.5.3 Döner Tabla Motoru

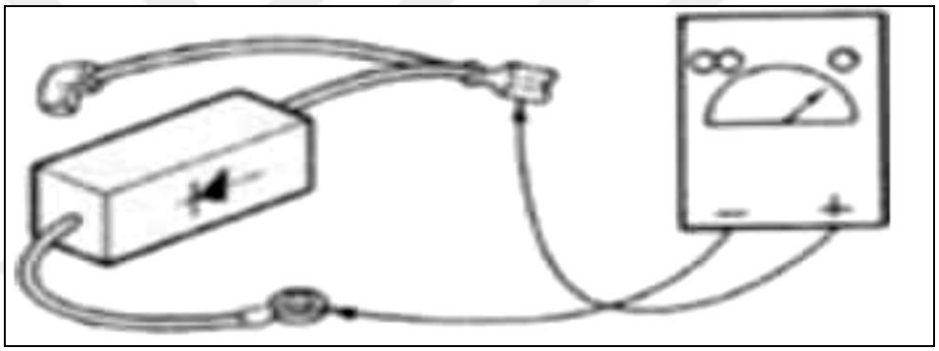
Döner tabla motoru, fırının içindeki döner tablanın dönmesine yarayan küçük senkron bir motordur (Şekil 4.9). Terminaller arası ölçüm yapılmaktadır [38].



Şekil 4.9 Döner tablo motoru [38]

4.5.4 Yüksek Gerilim Diyotu

Yüksek gerilim trafosundan çıkan 4000 V gerilimi doğru gerilime çevirerek magnetronun anot ucuna iletilmesini sağlar. Uçlarından iki taraflı ölçüm yapılır [38]. Şekil 4.10'da yüksek gerilim diyotu verilmiştir



Şekil 4.10 Yüksek gerilim diyotu [38]

4.5.5 Dalga Kılavuzu

Mikrodalga üretildikten sonra bu dalganın fırına verilmesi ve ısıtılacak maddeye yönlendirilmesi elzemdir. Bunun için iki tane iletim cihazından yararlanılmaktadır. Bunlar iki adet tel ve bir kablodan oluşan iletişim hatları ve dalga kılavuzlarıdır. İletim hatları ile yayma çoğunlukla düşük frekansta uygulanmaktadır. Yüksek güçte çalışıldığı durumlarda ise, akım yoğunluğu yüksek olduğundan iletim kayıpları meydana gelmektedir. Bunu önlemek amacıyla kesit alanlarının daha büyük olan içi boş tüpler (dalga kılavuzları) kullanılmaktadır. Optik dalga kılavuzlarında da olduğu üzere, mikrodalga dalga kılavuzlarında da mikrodalgaları yaymak için yüksek yansıtma özelliği olan duvarlar bulunmaktadır [51].

4.5.6 Yüksek Gerilim Kondansatörü

Yüksek gerilim diyotu ile beraber gerilim doğrultulması için yararlanılır. Terminaller arası ve gövde arası ölçüm yapılması için kullanılır [52].

4.5.7 Aplikatör

Aplikatörler (fırın oyuğu) elektromanyetik enerjiyi dalga kılavuzundan işlem görecek maddeye iletirler. İşlem gören maddenin içinde bulunduğu oyuk bu durumda aplikatör olarak adlandırılabilir. Aplikatörün büyüklüğü ve biçimi işlem yapılan frekans, işlem yapılan maddenin şekli, büyüklüğü ve özellikleri ve işlem şekli (sürekli, yığın) gibi özelliklere bağlıdır [51].

BÖLÜM 5

DENİZ BÖRÜLCESİ HAKKINDA GENEL BİLGİ

5.1 Deniz Börülcesi

Deniz börülcesi literatürdeki adıyla Salicornia, deniz kenarında ve tuzlu bataklık ortamlarında yetişebilen tek yıllık, etli, tuz ve mineral içeriği açısından çok zengin olan bir bitkidir. Deniz börülcesi tek yıllık 5-60 cm boylarında, açık ve koyu yeşil renkte olan, genellikle mayıs ayından sonra bariz kirli kırmızı renge dönüşen sukulent (etli/sulu) ve yapraksız bir bitkidir [53]. Akdeniz bölgesinde geniş çapta yetişen, deniz kuşkonmazı (Sea asparagus) ve bataklık rezenesi (Marsh samphire) olarak da bilinen deniz börülcesi yüksek miktarda soda içermesinden dolayı önceleri sabun ve cam yapımında kullanılmıştır ve bu sebeple cam sebze (glasswort) şeklinde isimlendirilmiştir [54].

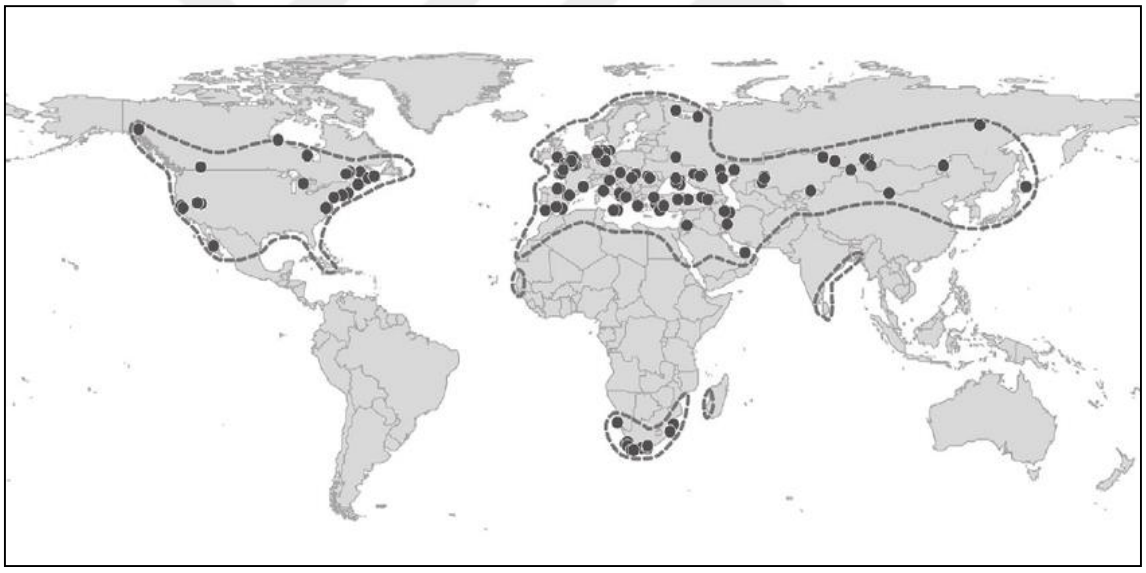
Attia vd. [55], Salicornia bigelovii türünün tohumlarının besin içeriklerinden dolayı çok iyi bir piliç yemi olduğunu ifade etmişlerdir. Bilhassa 64.4 mg/100g olan lipit içeriğinde doymamış yağ asitlerince (özellikle linoleik asit) çok zengin olduğunu belirtmişlerdir. Bu türdeki yağ asitleri miristik 1.17, palmitik 85.04, oleik 199.85, linoleik 634.0, linolenik 13.40, araflidonik 65.90 mg/100g bulunmuştur. Geri kalan küspede ise % 34 protein, % 5.5 yağ kalıntısı bulunduğu ve bu küspenin soya ile ayçiçeği küspesi kadar değerlendirilebileceği bildirilmiştir.

Glenn vd. [56] yaptıkları araştırmalarda Salicornia türlerinin tohumlarının kimyasal bileşimine bakıldığında, % 26-33 ham yağ, % 30-33 ham proteini buna karşılık düşük kil ve lif içerdiğini belirtmişlerdir. Bu içeriklere sahip bu bitkinin soya fasulyesine eşdeğer besinsel içeriğe sahip olduğu belirtilmiştir.

5.2 Deniz Börülcesi Yetişme Alanı

Deniz börülcesi, Şekil 5.1'de görüldüğü üzere doğal olarak başta Avrupa kıtası olmak üzere Kuzey Amerika, Güney Afrika ve Güney Asya bölgelerinde yetişmektedir. Avrupa kıtasında yetişenler yenilebilen türleridir [57]. Özellikle Avrupa'da Atlas Okyanusu, Baltık Denizi ve Akdeniz kıyılarında rastlanmaktadır. Ülkemizde ise Gökova'da yaygın olarak görülmektedir. Bununla beraber Tuz Gölü çevresi, Ereğli, Burdur ve Tarsus kıyılarında da yetişmektedir [58].

Genellikle sukulent yapıda olan bitki, deniz kıyılarında gelgit olan yerlerde sular çekildikten sonra yetişir. Köklerinin suyun altında kalmasıyla ve tuza dayanıklılığı sebebiyle deniz kıyılarında ya da deniz suyunun nüfus ettiği bölgelerde yetişen deniz börülcesi, filizlenebilmek için tatlı suya gereksinim duyar. Bu sebeple filizlenmesi yağmur sonrası olabilmektedir [58].



Şekil 5.1 Deniz börülcesi dünya genelinde yetişme alanları [59]

5.3 Deniz börülcesi Faydaları

Deniz börülcesi denizdeki birçok minerali (sodyum, potasyum, kükürt, iyot, fosfor, demir, çinko, manganez, bakır vb.) bünyesinde içerdiğinden sebeple sağlığa oldukça yararlıdır. İyot ihtiva ettiğinden dolayı Guatr hastalığına için de faydalı olan deniz börülcesi, aynı zamanda idrar söktürücü özelliğinden dolayı güçlü bir antioksidandır [58].

BÖLÜM 6

GIDALARIN KURUTULMASINA İLİŞKİN ÇALIŞMALAR

Gıdaların kurtularak saklanabilmesi, en başından bu yana gıda teknolojilerinin en önemli konularından biri olmuştur. Bu nedenle yapılmış birçok çalışma mevcuttur. Fakat literatürde şu ana kadar deniz börülcesinin mikrodalga yöntemi ile kurutulmasına ilişkin yapılmış olan bir çalışma bulunmamaktadır. Bu bölümde ise konvansiyonel kurutucularla veya mikrodalga kurutma yöntemi ile gıda kurutulmasına ilişkin çalışmalara örnek verilmiştir.

Bualuang vd. [60], (2017) tarafından yapılan çalışmada çimlenmiş mısır tohumları 100, 300, 450, 600 ve 700 W mikrodalga çıkış gücünde kurutulmuş ve kuruma hızı, efektif difüzivite katsayısı, β-karoten içeriği, Toplam Flavonoid İçeriği (TFC), Toplam Fenolik İçeriği (TPC) ve antioksidan kapasitesi hesaplanmıştır. Mısır tohumları 48 saat süreyle distile suda bekletilip, daha sonra 72 saat daha nemli bez üzerinde tohumların çimlenmesi sağlanmıştır. Mikrodalga çıkış gücü artırıldıkça kuruma süresi azalmış, efektif difüzivite katsayısı değerleri $1.50x10^{-6}$ ile $1.81x10^{-6} m^2.s^{-1}$ değerleri arasında değişmiştir. Kuruma azalan hız periyodunda gerçekleşmiştir ve sabit hız periyodu gözlenmemiştir. TFC ve TPC'in mısır tohumları 300 W mikrodalga çıkış gücü ile kurutulduğunda en yüksek değere ulaşmıştır.

Junqueria vd. [61], (2017) tarafından yapılan çalışmada mikrodalga, konvektif ve mikrodalga-konvektif kurutma yöntemi kullanılarak ozmotik dehidrasyon işlemine tabii tutulmuş balkabağı dilimleri kurutulmuştur. Ürünün renk değişimi, su aktivitesi, büzüşme oranı ve rehidratasyon kapasitesi araştırılmıştır. Mikrodalga çıkış gücü 780 W, hava sıcaklığı 30 ^oC - 60 ^oC ve hava hızı 2.22 ile 4.44 $m.s^{-1}$ olup, örneğin son nem içeriği değeri 0.08 kg su. kg kuru $madde^{-1}$ ulaşana kadar kurutulmuştur. Kuruma kinetiğine en iyi uyan modelin Fick's ve Page model olduğu saptanmıştır.

Kuruma süresinin azalması ile birlikte renk özeliklerinin daha iyi korunduğu bunun da mikrodalga kurutma yöntemiyle sağlandığı bulunmuştur. Diğer yandan, konvektif kurutma yöntemi ile beraber su aktivitesinin arttığı ve büzüşmenin azaldığı gözlemlenmiştir.

Karataş vd. [62], (2017) tarafından yapılan çalışmada Capsicon annuum (kırmızı biber); kıyılmış, toz halinde ve tuzlanmış-yağlanmış olmak üzere 3 şekilde mikrodalga (1.0 Kw, 2450 MHz) ve güneşte kurutulmuştur. Ürünün iki çeşit kuruma yöntemi kullanılarak, Vitamin A, E, C, folik asit ve β-karoten içeriği hesaplanmıştır. Ürün kuruma sonunda nem içeriği mikrodalga yöntemi ile % 14, güneşte kuruma yöntemiyle ise %15'e düşmüştür. Vitamin A, E, C, folik asit ve β-karoten içeriği doğranmış halde en fazla, tuzlanmış-yağlanmış halde ise en az olarak bulunmuştur.

Abono [63], (2016) tarafından yapılan çalışmada ilk olarak 50 mm uzunluğunda 20 mm eninde kesilmiş ve 105 ^{o}C sıcaklıkta 24 h etüvde kurutulup ilk nem içeriği 4.65 g su. g kuru madde-1 hesaplanmıştır. 100 g mango dilimleri 300, 450, 600 W mikrodalga gücünde kurutulmuş ve daha sonra 70 ^{o}C sıcaklıkta sıcak hava kabin kurutucuya konulmuştur. Yapılan deneyler sonucu Midilli modelinin kurutma karakteristiklerine uyduğu bulunmuş ve 300 W optimum değer olarak hesaplanmıştır.

Pişkin vd. [64], (2015) tarafından yapılan çalışmada yeşil fasulye dilimleri 180, 360, 600, 800 W mikrodalga gücünde kurutulmuş ve rehidratasyon oranları, renk değişimleri hesaplanmıştır. Yapılan deneyler sonucu mikrodalga gücündeki değişimin etkisinin kurutma hızı, rehidratasyon oranları ve renk değişimleri üzerinde az bir etkisinin bulunduğu gözlenmiştir. Dokuz farklı kuruma kinetik modeli arasında en uygun olanın Midilli modeli olduğu gözlenmiştir ve 800 W mikrodalga gücünde kurutulan yeşil fasulye örneklerinin diğer değerlere göre daha yüksek olduğu gözlenmiştir. Mikrodalga gücü artığında örneklerin parlaklık ve sarılığın arttığı tam tersi olarak yeşilliğinde azaldığı görülmüştür.

Alibaş [65], (2014) tarafından yapılan çalışmada 50 g ağırlığında olacak şekilde kereviz yaprakları tartılmış ve 1000, 850, 750, 650, 500, 350, 160 ve 90 W mikrodalga gücünde kurutulmuştur. Kurutma işlemi nem oranı % 8.952'e düşene kadar devam etmiştir. Deney sonucunda mikrodalga gücü yükseldikçe kuruma zamanının azaldığı görülmüştür. Uygulanan yirmi adet kurutma modelleri arasından en uygun olanının Weibull modeli olduğu saptanmıştır.

Senapati vd. [66], (2014) tarafından yapılan çalışmada hint ginsengi konvektif kurutma ve konvektif-mikrodalga kurutma yöntemiyle kurutulmuştur. Konvektif kurutma 40, 50, 60 ^{o}C sıcaklıkta, konvektif-mikrodalga kurutma ise 200, 400, 600 W mikrodalga gücünde ve 40, 50, 60 ^{o}C'de çalışılmıştır. Kurutma işlemi ürün 0.6 g su.g kuru madde^{-1} olana kadar devam etmiştir. Deney sonucunda, konvektif-mikrodalga kurutma yönteminin konvektif kurutma yöntemine göre 9-10 katı daha hızlı olduğu ve konvektif kurutma yönteminin enerji tüketiminin yüksek olduğu anlaşılmıştır.

Wojdylo vd. [67], (2014) tarafından yapılan çalışmada mikrodalga gücünün vakum-mikrodalga kurutmada etkisini, kurutma kinetiği, ürün renk değişimi, son ürünün fenolik asit gibi bileşiklerin değişimini hesaplanmıştır. Vişne numunelerinin kurutulmasında; vakum-mikrodalga, konvektif kurutma, dondurarak kurutma olmak üzere üç çeşit kurutma yöntemi tercih edilmiştir. Konvektif kurutma 50, 60, 70 ^{o}C' de yapılmış, vakum-mikrodalga için ilk olarak 240, 360, 480 W gücünde çalışılmıştır ve numunenin aniden 1 kg su. kg kuru madde^{-1} nem içeriğine düşmemesi için daha sonra mikrodalga gücü 240 ve 120 W değerine düşürülmüştür. Fenolik bileşenler bakımından en kaliteli ürüne ve istenen renk özelliklerine 480 W mikrodalga gücünde vakum-mikrodalga kurutma yöntemiyle ulaşılmıştır ve kurutulmuş vişnenin daha uzun raf ömrüne sahip olduğu gözlenmiştir.

Çelen ve Kahveci [68], (2013) tarafından yapılan çalışmada mikrodalga yöntemi ile 90, 180, 360 ve 600 W çıkış gücünde domates dilimlerinin kurutulması ve mikrodalga çıkış gücünün kurutma hızı, enerji tüketimi ve ürünün kalitesine olan etkisi incelenmiştir. Çapı 6 ± 0.3 cm ve ağırlığı 50 ± 1 g olan domates numunelerinin nem içeriği % 96 olarak hesaplanmıştır. Domates numuneleri 5 mm boyutunda kesilmiş ve mikrodalgada kurutulmuştur. Mikrodalga gücünün artmasıyla kuruma zamanının ve enerji tüketiminin düştüğü, renk kalitesinin ise azaldığı görülmüştür.

Sarımeşeli [69], (2011) tarafından yapılan çalışmada kişniş yapraklarının 180, 360 W çıkış gücünde mikrodalga yöntemiyle kurutulması ve mikrodalga çıkş gücünün, ürünün renk parametresi ve rehidratasyon karakteristiğine etkisi araştırılmıştır. Kurutulan kişniş yapraklarının renk parametrelerinin mikrodalga çıkış gücünden bağımsız olduğu ve en yüksek rehidratasyon kapasitesinin 180 W çıkış gücünde gerçekleştiği gözlemlenmiştir.

Wojdylo vd. [70], (2009) tarafından yapılan çalışmada çilek meyvesinin vakum-mikrodalga yöntemi ile kurutulmasının renk, polifenol bileşenleri, kurutma kinetiği değerleri bakımından dondurarak kurutma, konvektif kurutma ve vakum kurutma yöntemleri ile mukayese edilmiştir. Vakum-mikrodalga kurutmada 240, 360, 480 W gücünde çalışılmıştır. Vakum-mikrodalga kurutma yönteminin enerji tüketimi ve kurutma hızı bakımından diğer yöntemlere nazaran daha üstün olduğu gözlemlenmiştir. 240 W çıkış güçlü vakum-mikrodalga kurutma yönteminde diğer yöntemlere göre daha yüksek miktarda C vitamini, fenolik bileşenler içerdiği görünmüştür.

Alibaş vd. [71], (2007) tarafından yapılan çalışmada, 90 ile 1000 W arasında değişen mikrodalga güçlerinde 50 g ağırlığındaki ıspanak yaprakları mikrodalga yöntemi ile kurutulmuşlardır. 350-1000 W mikrodalga çıkış güçlerinde enerji tüketimi sabit iken, 160 ve 90 W mikrodalga çıkış güçlerinde enerji tüketimi önemli bir artış göstermiştir. Yapılan deneyler sonucu 750 W optimum değer olarak bulunmuş ve bu değerde enerji gereksiminin 0.12 kWh olduğu hesaplanmıştır. Page modelinin kurutma karakteristiklerine uyduğu gözlenmiştir.

Wang ve Sheng [72], (2006) tarafından yapılan çalışmada, 10 ile 1000 W arasında değişen mikrodalga güçlerinde 9.36 g su. g kuru madde^{-1} başlangıç nem içeriğine sahip 75-83 mm uzunluğunda, 70-80 mm çapında şeftali numuneleri, 5 ± 0.2 mm dilim kalınlığında mikrodalga yöntemi ile kurutulmuşlardır. Yapılan çalışmada, mikrodalga çıkış gücü ile kütle transferinin arttığı ve bundan dolayı kuruma zamanları azaldığı gözlemlenmiştir. Mikrodalga ile şeftali numunesinin kurutulması 2 farklı azalan hızda kuruma periyodu tamamlanmıştır. Birinci azalan hızda kuruma periyodunda nem içeriği 9.36 g su. g kuru madde^{-1} değerinden 1.70 g su. g kuru madde^{-1} değerine düşerken, ikinci azalan hızda kuruma periyodunda ise nem içeriği 1.70 g su. g kuru madde^{-1} değerinden 1.0 g su. g kuru madde^{-1} değerine düşmüştür.

BÖLÜM 7

MATERYAL VE YÖNTEM

7.1 Kullanılan Materyaller

Mikrodalga tekniği ile kurutulacak olan deniz börülcesi numuneleri yerel bir marketten temin edilmiştir. Numuneler, deneylere başlamadan önce 1 gün süre ile buzdolabında bekletilerek nem içeriklerinin dengeye gelmesi sağlanmıştır.

Numunelerin başlangıç nem içeriklerinin hesaplanabilmesi için 5 gramlık numuneler 75°C sıcaklıktaki fırında 24 saat kurutulmuştur. Daha sonra elde edilen nem içeriği değerlerinin ortalamaları alınmıştır. Şekil 7.1'de deniz börülcesi numuneleri gösterilmiştir.



Şekil 7.1 Deniz börülcesi numunesi

7.2 Kullanılan Cihazlar

7.2.1 Mikrodalga Fırın

Deniz börülcesinin mikrodalga tekniği ile kurutulması çalışmaları, Arçelik firması tarafından üretilen MD 594 ürün koduna sahip mikrodalga fırın ile yapılmıştır. Deneylerde kullanılan mikrodalga Şekil 7.2'de, mikrodalga fırınına ait teknik özellikler ise Çizelge 7.1'de verilmiştir.



Şekil 7.2 Mikrodalga fırını

Çizelge 7.1 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

7.2.2 Su Banyosu

Deniz börülcesi numunelerin rehidratasyon çalışmaları için 30, 45, 55, 70 °C'ye ayarlanmış Memmert marka su banyosu kullanılmıştır (Şekil 7.3).



Şekil 7.3 Su banyosu

7.2.3 Renk Ölçüm Cihazı

Deniz börülcesinin mikrodalga tekniği ile kurutulması sırasında meydana gelen renk değişimlerinin gözlemlenebilmesi için, Konica Minolta firmasının ürettiği CR–400 (renk okuma cihazı) ve DP–400 (data işlemcisi) kullanılmıştır. Renk okuma cihazının ve data işlemcisinin genel görünümü Şekil 7.4'de, teknik özellikleri ise Çizelge 7.2'de verilmiştir.

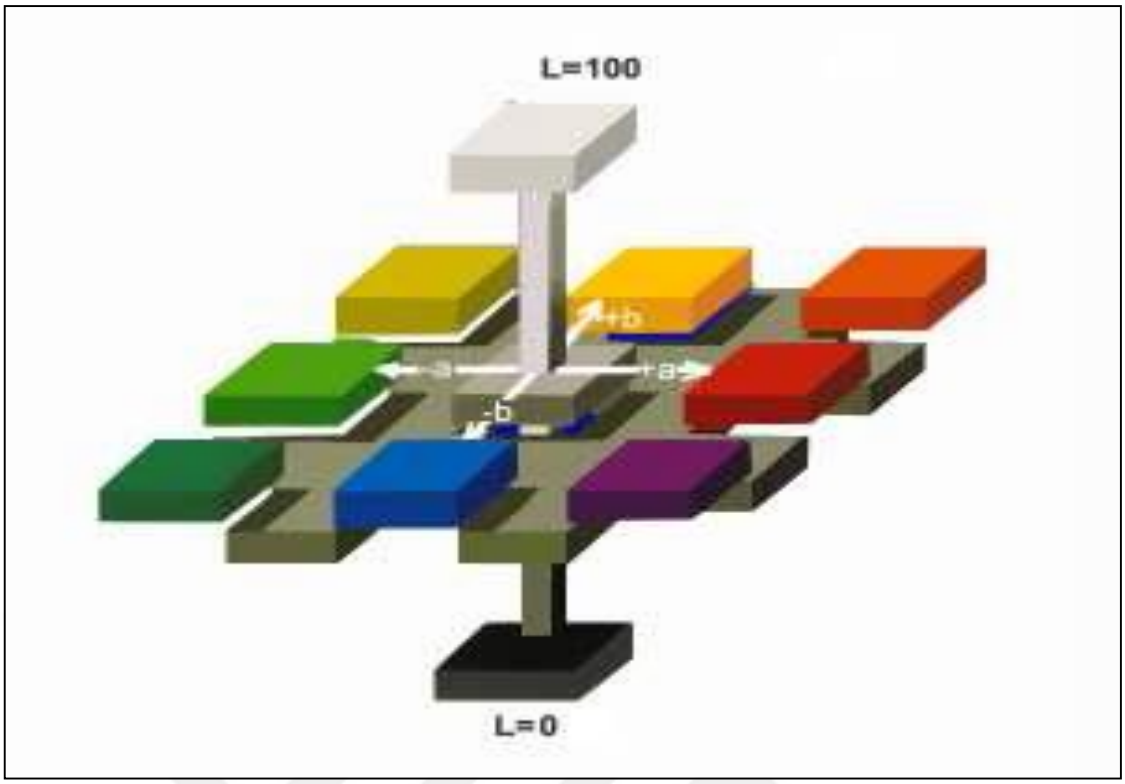
Renk ölçüm cihazında ölçümler "Hunter Lab Renk Skalası (L, a, b)" metodu ile yapılmıştır. Hunter Lab Renk Skalası R.S Hunter tarafından 1948 yılında fotoelektrik bir renk ölçme cihazı ile direkt olarak okunabilen düzenli bir renk skalası olarak tasarlanmıştır. Renk skalası Şekil 7.5'te, L, a ve b indislerinin renk skalasındaki anlamlarını gösteren açıklama ise Çizelge 7.3'te verilmiştir.



Şekil 7.4 Konica Minolta CR-400 ve DP-400 cihazlarının genel görünümü [73]

Çizelge 7.2 Konica Minolta CR-400 ve DP-400 cihazlarının teknik özellikleri [73]

Özellikler	**Değerler**
Işık kaynağı	Pulsen Xenon lamba
Ölçüm zamanı	1 saniye
Minimum ölçüm aralığı	3 saniye
Net ağırlık	550 g
Boyutları	102*217*63 mm
Operasyon koşulları	0-40°C oda sıcaklığı, %85 relatif nem
Saklama koşulları	-20-40°C oda sıcaklığı, %85 relatif nem
Standart aksesuarlar	Beyaz kalibrasyon tabağı CR-A43
Pil performansı	~800 ölçüm
Renk skalası	L, a, b renk ölçüm skalası



Şekil 7.5 Hunter Lab renk skalası

Çizelge 7.3 Hunter Lab renk skalasında kullanılan indislerin anlamları [74]

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

7.3 Deneylerin Yapılışı

7.3.1 Kuruma Hızlarının Belirlenmesi

Deniz börülcesi numunelerinin mikrodalga ile kurutma tekniği kullanılarak kurutulmasına ait deneylerin ilk bölümünde; 20 g deniz börülcesi farklı mikrodalga güçlerinde belli bir nem içeriğine kadar kurutulması, belirli zaman aralıklarında tartım alınarak incelenmiştir.

Deneyler üçer kez yapılmış ve elde edilen değerlerin ortalamaları alınmıştır. Tartım sürelerinin 10 saniyeyi geçmemesine dikkat edilmiştir. Mikrodalga ile kurutma tekniği kullanılarak deniz börülcesi numunelerinin kurutulması deneylerinin ikinci bölümünde ise; 540 W sabit mikrodalga çıkış gücü için farklı ağırlıklarda kurutulan numuneler için aynı kuruma kinetiği incelenmiştir.

7.3.2 Renk Değişimlerinin İncelenmesi

Mikrodalga ile kurutma yönteminin deniz börülcesi numunesinin renk değişimi üzerindeki etkisini incelemek için yapılan çalışmaların ilk bölümünde; 20 g deniz börülcesinin farklı mikrodalga güçlerinde belli bir nem içeriğine kadar kurutulması sırasında, önceden belirlenen zaman aralıklarında numunelerin renk değişim değerleri, renk ölçüm cihazı ile belirlenmiştir. Renk ölçümleri yapılmadan önce Konica Minolta renk ölçüm cihazı beyaz standart kalibrasyon plakası ile kalibre edilmiştir.

Kurutulan deniz börülcesi numunelerinin renk değişimlerinin tüm numunenin renk değişimini kapsaması amacıyla, 5 farklı noktadan renk ölçümü yapılmış ve elde edilen değerlerin ortalamaları alınmıştır. Renk ölçümleri üçer kez yapılmış ve elde edilen değerlerin ortalamaları alınmıştır.

Mikrodalga ile kurutma yönteminin deniz börülcesi numunelerinin renk değişimi üzerindeki etkisini incelemek için yapılan denemelerin ikinci bölümünde ise; 540 W sabit mikrodalga çıkış gücü için farklı miktarlarda kurutulan numuneler için aynı işlemler tekrar edilmiştir.

7.3.3 Rehidratasyon Oranlarının Belirlenmesi

Mikrodalga ile kurutma tekniğinin deniz börülcesi numunelerinin rehidratasyon oranı üzerindeki etkisini incelemek için yapılan deneylerin birinci bölümünde; 20 g deniz börülcesinin farklı mikrodalga güçlerinde belirli bir nem içeriğine kadar kurutulması sonucunda elde edilen kurutulmuş ürünler, bir gün süre ile desikatörde bekletilip soğutulmuştur. Daha sonra 30°C sıcaklığında su banyosunda rehidratasyon işlemine tabi tutulmuştur. Kurutulmuş numune tarafından geri absorplanan su miktarı belirli zaman aralıklarında numunelerin tartımları alınarak hesaplanmıştır. Deneyler üçer kez yapılmış olup elde edilen değerlerin ortalamaları alınmıştır.

Mikrodalga ile kurutma tekniğinin deniz börülcesi numunelerinin rehidratasyon oranı üzerindeki etkisini incelemek için yapılan denemelerin ikinci bölümünde ise; 540 W sabit mikrodalga çıkış gücü için farklı ağırlıklardaki deniz börülcesi numuneleri için aynı işlemler tekrar edilmiştir. Buna ek olarak 20 g deniz börülcesinin 540 W mikrodalga gücünde belirli bir nem içeriğine kadar kurutulması sonucunda elde edilen kurutulmuş ürünler, bir gün süre ile desikatörde bekletilip soğutulmuştur. Daha sonra numuneler 30, 45, 55 ve 70°C sıcaklıklarda su banyosunda rehidratasyon işlemine tabi tutulmuştur.

7.4 Hesaplamalar

7.4.1 Kuruma Hızının Belirlenmesi İçin Yapılan Hesaplamalar

7.4.1.1 Nem İçeriğinin Hesaplanması

Deniz börülcesi numunelerinin mikrodalga tekniği ile kurutulması sırasında, nem içeriği değeri Eşitlik 7.1 kullanılarak hesaplanmıştır;

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

Eşitlik 7.1'de;

M_t: Herhangi bir t anındaki nem içeriği (g su. g kuru madde^{-1}),

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^{-1} olduğu kabul edilmiştir.

7.4.1.2 Kuruma Hızının Hesaplanması

Kuruma hızı, nem içeriğine karşılık kuruma zamanı eğrilerinin türevlerinin alınması ile bulunmuştur. Kuruma hızının birimi; g su. g kuru madde. dak^{-1}'dır.

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

Eşitlik 7.2'de;

M_{t+dt}: t+dt anındaki nem içeriği (g su. g kuru madde-^{1}),

dt: Kuruma zamanı (dakika) olarak tanımlanmıştır.

7.4.1.3 Nem Oranının Hesaplanması

Nem oranı terimi aşağıdaki gibi hesaplanır,

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

Eşitlik 7.3'de;

MR: Nem oranı (birimsiz),

M_t: Herhangi bir zamandaki nem içeriği (g su. g kuru madde^{-1}),

M_e: Denge anındaki nem içeriği (g su. g kuru madde^{-1}),

M_0: Başlangıçtaki nem içeriği (g su. g kuru madde^{-1}) olarak tanımlanmıştır.

7.4.1.4 Efektif Difüzivite Katsayısının Hesaplanması

Gıdaların kurutulması esnasında meydana gelen kütle transferinin en önemli ölçütü olan efektif difüzivite katsayısı silindir kabulü yapılan deniz börülcesi numunesi için Eşitlik 7.4 ve Eşitlik 7.5'te sırası ile verilmiştir.

$$MR = \sum_{n=1}^{\infty} \frac{4}{\lambda^n} \exp\left(-\lambda^2 \frac{D_{eff} t}{{r_s}^2}\right) \tag{7.4}$$

Eşitlik 7.4'de;

D_{eff}: Efektif difüzivite katsayısı ($m^2.s^{-1}$),

r_s: Silindir kabulü yapılan deniz börülcesinin numunelerinin yarıçap değerleri (r=0.064 cm),

λ: Bessel fonksiyonu (n=1 için λ=2.405),

t: Kuruma zamanı (saniye) olarak tanımlanmıştır.

Numuneler için efektif difüzivite değerleri, Eşitlik 7.5'de verilen lineer denklem kullanarak her bir numune için ayrı ayrı hesaplanmıştır.

$$\ln MR = \ln\left(\frac{4}{\lambda^2}\right) - \frac{D_{eff}}{{r_s}^2}\lambda \quad (7.5)$$

7.4.2 Renk Değişiminin İncelenmesi İçin Yapılan Hesaplamalar

Deniz börülcesi numunesinin mikrodalga yöntemi ile kurutulması sırasında meydana gelen renk değişiminin incelenmesinde renk ölçüm cihazı ile belirlenen L, a, b değerleri kullanılarak Eşitlik 7.6-7.7'de verilen Toplam renk değişimi (ΔE), Kroma değeri, Eşitlik 7.8-7.9'da ise Renk Açısı ve Kahverengilik indeksi hesaplanmıştır.

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

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

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

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

Eşitlik 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.

7.5 Modelleme Çalışmaları

7.5.1 Kuruma Kinetiğine Ait Modelleme Çalışmaları

Page Model

Gıdaların kuruma kinetiklerinin açıklanması sırasında en fazla kullanılan modellerden olan Page model denklemi 7.10'te verilmiştir [75].

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

Eşitlik (7.10)'da;

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

n: Page modele ait bir katsayı,

t: Kuruma zamanı (dak) olarak tanımlanmıştır.

Henderson ve Pabis Model

Henderson ve Pabis model Eşitlik 7.11'de sunulmuştur [75];

$$MR = A.\exp(-k.t) \quad (7.11)$$

Eşitlik (7.11)'de;

A: Katsayı (birimsiz),

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

t: Kuruma zamanı (dak) olarak tanımlanmıştır.

Lewis Model

Lewis model Eşitlik 7.12'de sunulmuştur [75];

$$MR = \exp(-k.t) \quad (7.12)$$

Eşitlik (7.12)'de;

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

t: Kuruma zamanı (dak) olarak tanımlanmıştır.

Logaritmik Model

Logaritmik model Denklem 7.13'de sunulmuştur [75];

$$MR = A.\exp(-k.t) + B \quad (7.13)$$

Eşitlik (7.13)'de;

A: Katsayı (birimsiz),

B: Katsayı (birimsiz),

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

t: Kuruma zamanı (dak) olarak tanımlanmıştır.

7.5.2 Renk Değişiminin İncelenmesi İçin Yapılan Modelleme Çalışmaları

Sıfırıncı Dereceden Kinetik Model

Sıfırıncı dereceden kinetik model Eşitlik (7.14)'de verilmiştir [76];

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

Eşitlik (7.14)'de;

C: Herhangi bir t anındaki renk parametresi değeri,

C_0: t=0 anındaki renk parametresi değeri,

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

t: Kuruma zamanı (dak) olarak tanımlanmıştır.

Birinci Dereceden Kinetik Model

Birinci dereceden kinetik model Eşitlik 7.15'de verilmiştir [76];

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

Eşitlik 7.15'de;

C: Herhangi bir t anındaki renk parametresi değeri,

C_0: t=0 anındaki renk parametresi değeri,

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

t: Kuruma zamanı (dak) olarak tanımlanmıştır.

7.5.3 Rehidratasyon Miktarının Belirlenmesi İçin Yapılan Modelleme Çalışmaları

Peleg Model

Peleg model Eşitlik 7.16'de verilmiştir [77];

$$M = M_0 + \frac{t}{k_1 + k_2 t} \tag{7.16}$$

Eşitlik (7.16)'da;

M_t: Herhangi bir t anındaki rehidratasyon miktarı (g kuru madde^{-1} . g su-^{1}),

M_0: t=0 anındaki rehidratasyon miktarı (g kuru madde^{-1} . g su^{-1}),

k_1: Peleg modele ait kinetik sabit (dak. g kuru madde-^{1} . g su^{-1}),

k_2: Peleg modele ait karakteristik sabit (g kuru madde^{-1} . g su^{-1}),

t: Kuruma zamanı (dak) olarak tanımlanmıştır.

7.5.4 Aktivasyon Enerjisinin Hesaplanması

Deniz börülcesi numuneleri için aktivasyon enerjileri; Dadali vd. [19] tarafından Arrhenius denklemi temel alınarak türetilen eksponansiyel denklem temel alınarak hesaplanmıştır (Eşitlik 7.17).

$$k = k_0 \exp\left(\frac{E_a . m}{P}\right) \tag{7.17}$$

Eşitlik 7.17'de;

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

k_0: Eksponansiyel sabit,

m: Numune ağırlığı (g),

E_a: Aktivasyon enerjisi (W.g^{-1}),

P: Mikrodalga çıkış gücü (W) olarak tanımlanmıştır.

7.5.5 İstatistiksel Hesaplamalar

İstatistiksel verilerin hesaplanması için Curve Expert Professional 2.4 programı kullanılmıştır. Bu program yardımı ile deneysel ve hesaplanan değerler arasındaki sapma, en küçük kareler metodu kullanılarak bulunmuştur (Eşitlik 7.18-7.19).

$$SSR = \sum_{m=1}^{N_d} (C_m^{obs} - C_m^{cal})^2 \tag{7.18}$$

$$\delta^2 \approx s^2 = \frac{(SSR)_{min}}{(m - p)} \tag{7.19}$$

Eşitlik 7.18 ve 7.19'da;

m: gözlem sayısı,

N_d: toplam deney sayısı,

p: parametre sayısı,

δ: standart sapma olarak tanımlanmıştır.

BÖLÜM 8

ARAŞTIRMA BULGULARI

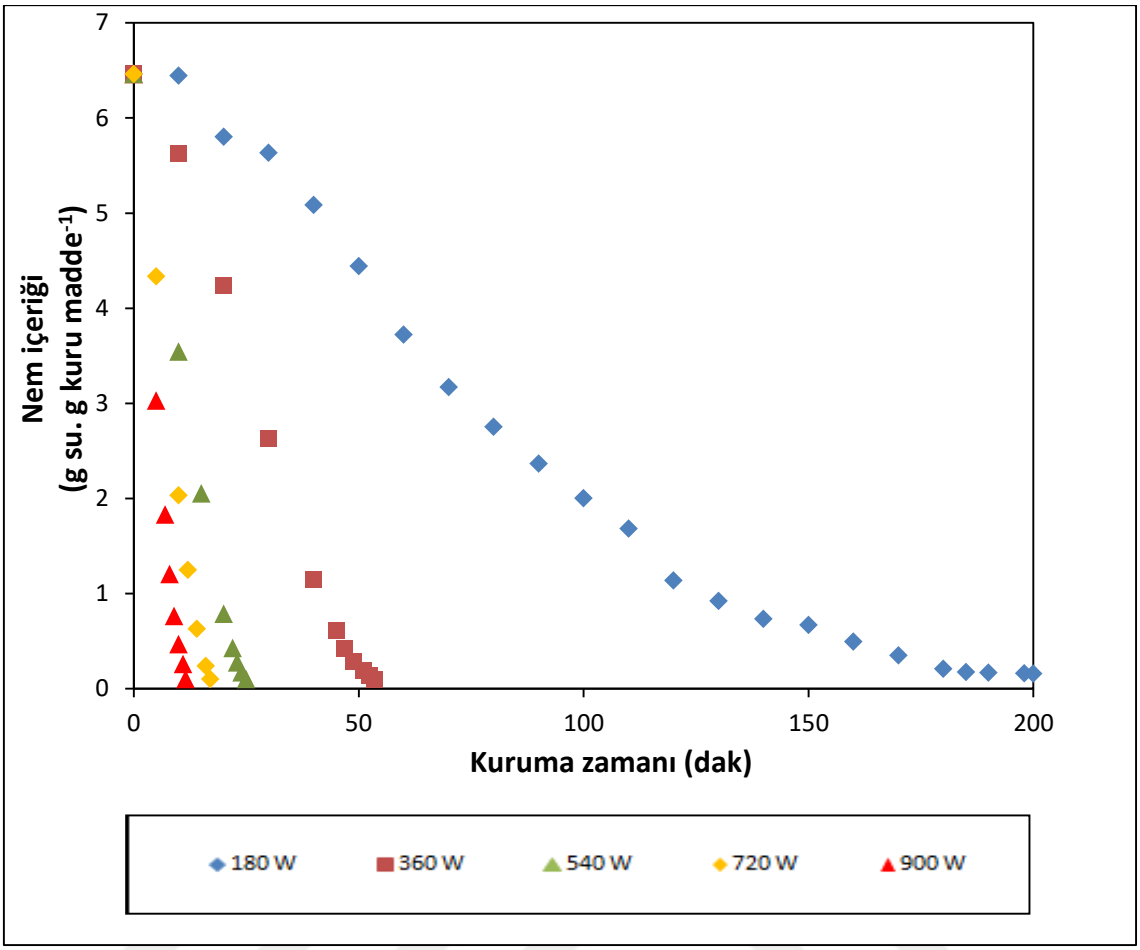
8.1 Mikrodalga Çıkış Gücünün Deniz börülcesi Numunesinin Kurutulması Üzerindeki Etkisi

8.1.1 Mikrodalga Çıkış Gücünün Deniz Börülcesi Numunesinin Kuruma Kinetiği Üzerindeki Etkisi

8.1.1.1 Nem içeriği Değişimi

Bu çalışmada kullanılan deniz börülcesi örneğinin ortalama toplam nem değeri, M_0 6.46 g su. g kuru madde^{-1} olarak bulunmuştur. Mikrodalga çıkış gücünün nem içeriği değişimi üzerindeki etkisini incelemek için; 180, 360, 540, 720 ve 900 W mikrodalga çıkış güçlerinde 20 g deniz börülcesi numunesi kurutulmuştur.

Nem içeriği değişimi için elde edilen değerler Ek A, Çizelge A.1-A.5'te sırası ile verilmiş ve Şekil 8.1'de grafiksel olarak gösterilmiştir. Yapılan deneyler sonucunda mikrodalga çıkış gücü arttırıldığında 20 g deniz börülcesi numunesi için kuruma sürelerinin azaldığı görülmüştür. Şekil 8.1 incelendiğinde 180 W mikrodalga çıkış gücü için deniz börülcesi numunesinin nem içeriğinin 6.46 g su. g kuru madde^{-1}'den 0.1 g su. g kuru madde^{-1} değerine düşmesi 200 dakika sürerken, 900 W mikrodalga çıkış gücü için 11.5 dakika sürmüştür.

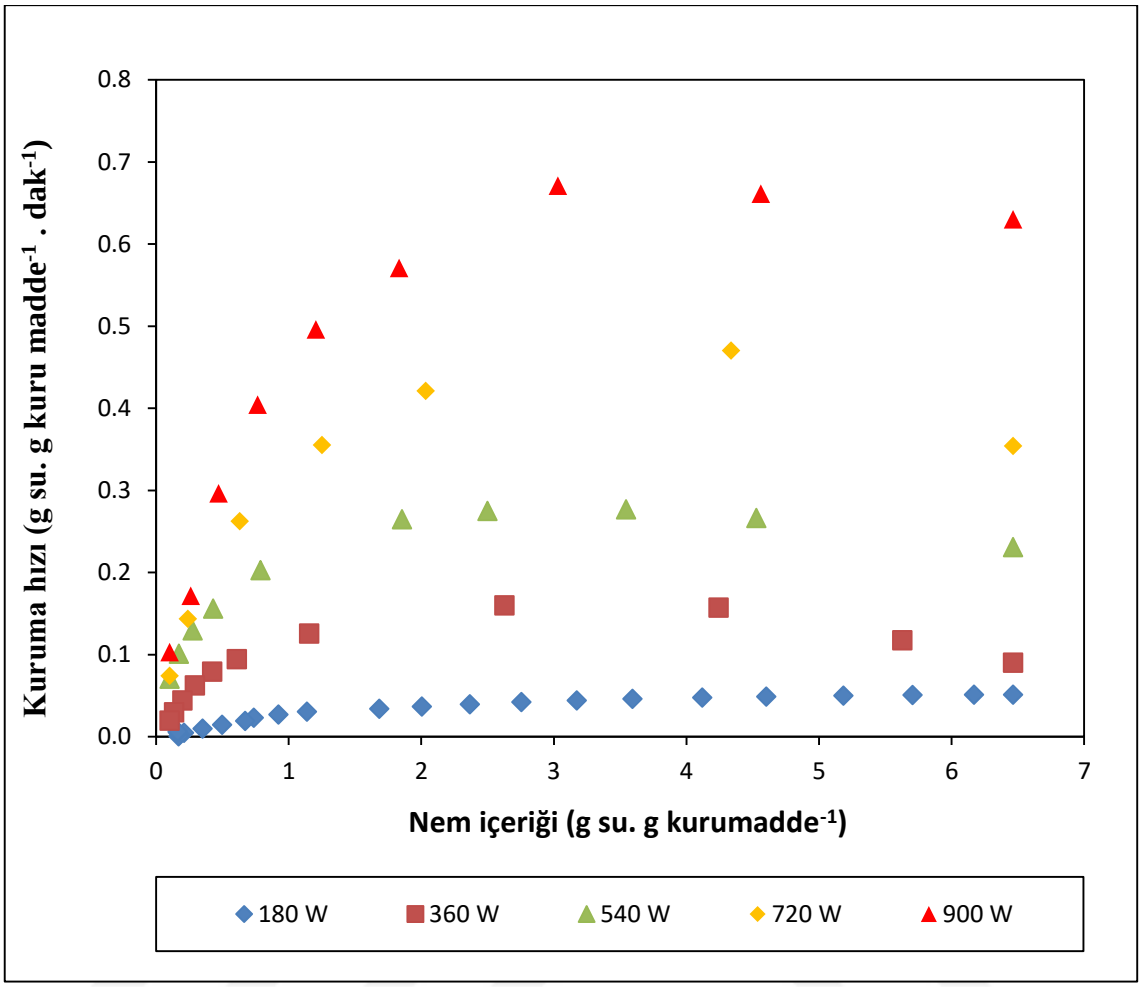


Şekil 8.1 Farklı mikrodalga çıkış güçlerinde deniz börülcesi numunesinin nem içeriğinin kuruma zamanı ile değişimi (Numune ağırlığı= 20 g)

8.1.1.2 Kuruma Hızı Değişimi

Mikrodalga çıkış gücünün kuruma hızı üzerindeki etkisini incelemek için; 180, 360, 540, 720 ve 900 W mikrodalga çıkış güçlerinde kurutulan 20 g deniz börülcesi numunesinin kuruma hızları Eşitlik 7.2'den hesaplanmış ve deniz börülcesi numunelerine ait kuruma hız değerleri Şekil 8.2'de grafiksel olarak verilmiştir.

Şekil 8.2 incelendiğinde, deniz börülcesi numunesinin kurutulması sırasında kısa bir ısınma süresinin ardından; sabit hızda kuruma periyodu ve azalan hızda kuruma periyodu olmak üzere 2 farklı kuruma periyodu olduğu gözlemlenmiştir.



Şekil 8.2 Farklı mikrodalga çıkış güçlerinde deniz börülcesi numunesine ait kuruma hızlarının nem içeriği ile değişimi (Numune ağırlığı= 20 g)

Deniz börülcesi numunelerinin sabit hızda kuruma periyodunda ortalama kuruma hızları, mikrodalga çıkış gücü 180 W mikrodalga çıkış gücünden 900 W mikrodalga çıkış gücüne yükseltildiğinde, 0.05 değerinden 0.65 g su. g kuru madde^{-1}.dak^{-1} değerine çıktığı gözlemlenmiştir. Sabit hızda kuruma periyodunu azalan hızda kuruma periyodu izlemiştir.

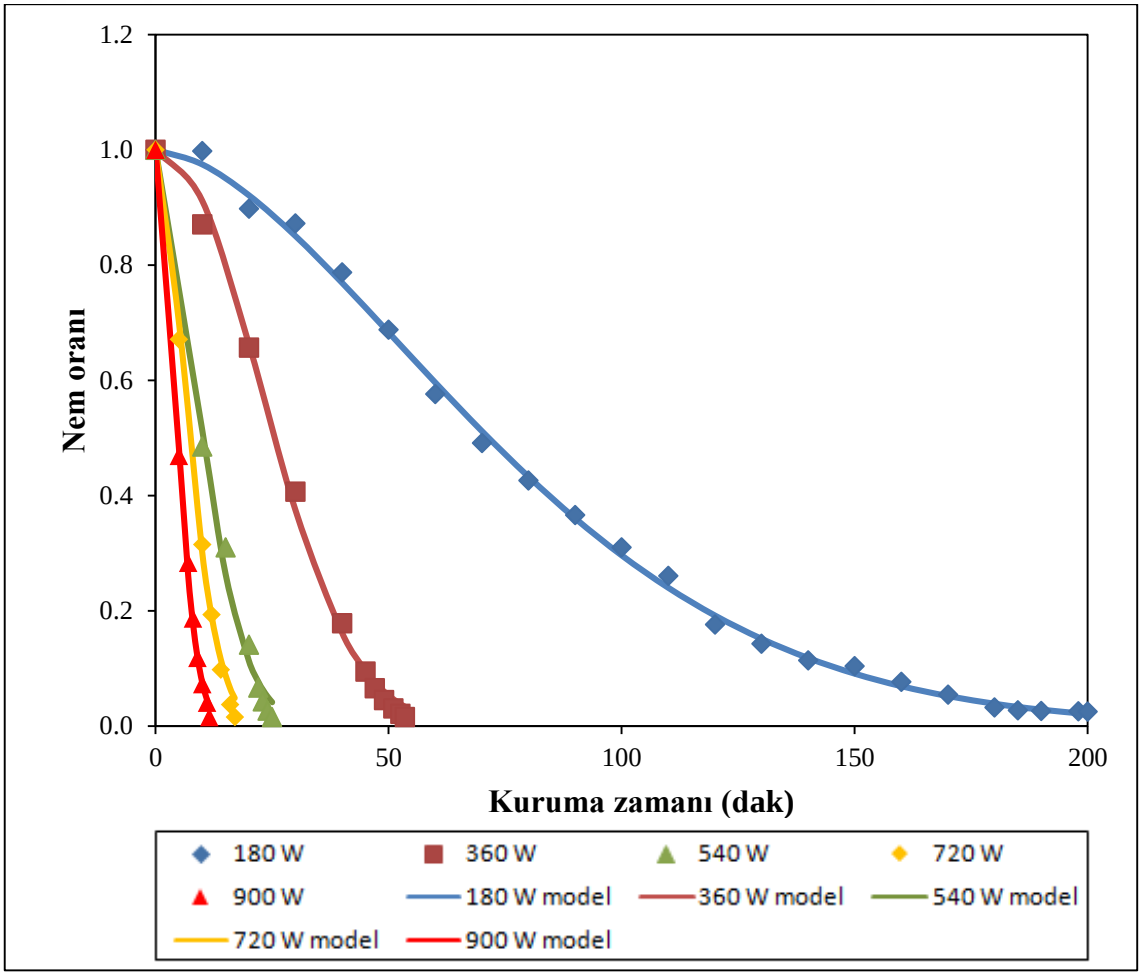
8.1.1.3 Kuruma Kinetiğine Ait Model Çalışmaları

Mikrodalga tekniği kullanılarak 20 g deniz börülcesi numunesinin beş farklı mikrodalga çıkış gücünde (180, 360, 540, 720 ve 900 W) kurutulması sırasında elde edilen nem oranı değerlerinin kuruma zamanı ile değişimini içeren deneysel değerler dört ayrı ince tabaka kurutma modeli ile modellenmiştir. Matematiksel modellere ait istatistiksel veriler Çizelge 8.1'de verilmiştir.

Çizelge 8.1 Farklı mikrodalga çıkış güçlerinde kurutulan deniz börülcesi numunesinin kuruma hızlarının belirlenmesi sırasında kurulan matematiksel modeller ve istatistiksel veriler

Modeller	**Mikrodalga Çıkış Gücü (W)**	**R^2**	**δ**
Page Model	180	0.9992	0.0139
	360	0.9993	0.0183
	540	0.9966	0.0302
	720	0.9984	0.0226
	900	0.9991	0.0143
Hendersonve PabisModel	180	0.9805	0.0700
	360	0.9529	0.1180
	540	0.9895	0.0747
	720	0.9870	0.0226
	900	0.9904	0.0692
LewisModel	180	0.9835	0.0884
	360	0.8219	0.3230
	540	0.9946	0.0697
	720	0.9861	0.0865
	900	0.7052	0.3587
Logaritmik Model	180	0.9966	0.0424
	360	0.9982	0.0490
	540	0.9357	0.1946
	720	0.9989	0.0301
	900	0.9992	0.0208

Elde edilen verilerden; yüksek R^2 ve düşük standart sapma (δ) değerleri incelendiğinde Page modelinin deniz börülcesi numunesinin kuruma kinetiğine uyan en iyi model olduğu saptanmıştır. Kurumanın meydana geldiği her bir mikrodalga çıkış gücünde nem oranı değerlerinin kuruma zamanı ile değişimi için elde edilen deneysel değerler ile kullanılan Page modelin teorik değerlerinin karşılaştırılmasını içeren grafiksel gösterim Şekil 8.3'de matematiksel model sabitleri ve istatistiksel veriler ise sırasıyla Çizelge 8.2'de sunulmuştur. Çizelge 8.2 incelendiğinde; Page modele ait kinetik sabitin (k) değerinin mikrodalga çıkış gücü arttıkça 0.0005 dak^{-1} değerinden 0.0386 dak^{-1} değerine ulaşmıştır. Bu durum yüksek mikrodalga çıkış güçlerinde yüksek sıcaklıkların oluşmasından sebeple kurumanın daha kısa sürdüğünü göstermektedir.



Şekil 8.3 Farklı mikrodalga çıkış güçlerinde deniz börülcesi numunesine ait nem oranı değerlerinin kuruma zamanı ile değişimi (Numune ağırlığı= 20 g)

Çizelge 8.2 Farklı mikrodalga çıkış güçlerinde deniz börülcesi numunesine ait kuruma zamanlarına karşılık elde edilen deneysel verilere uyan Page model sabitleri ve istatistiksel veriler (Numune ağırlığı= 20 g)

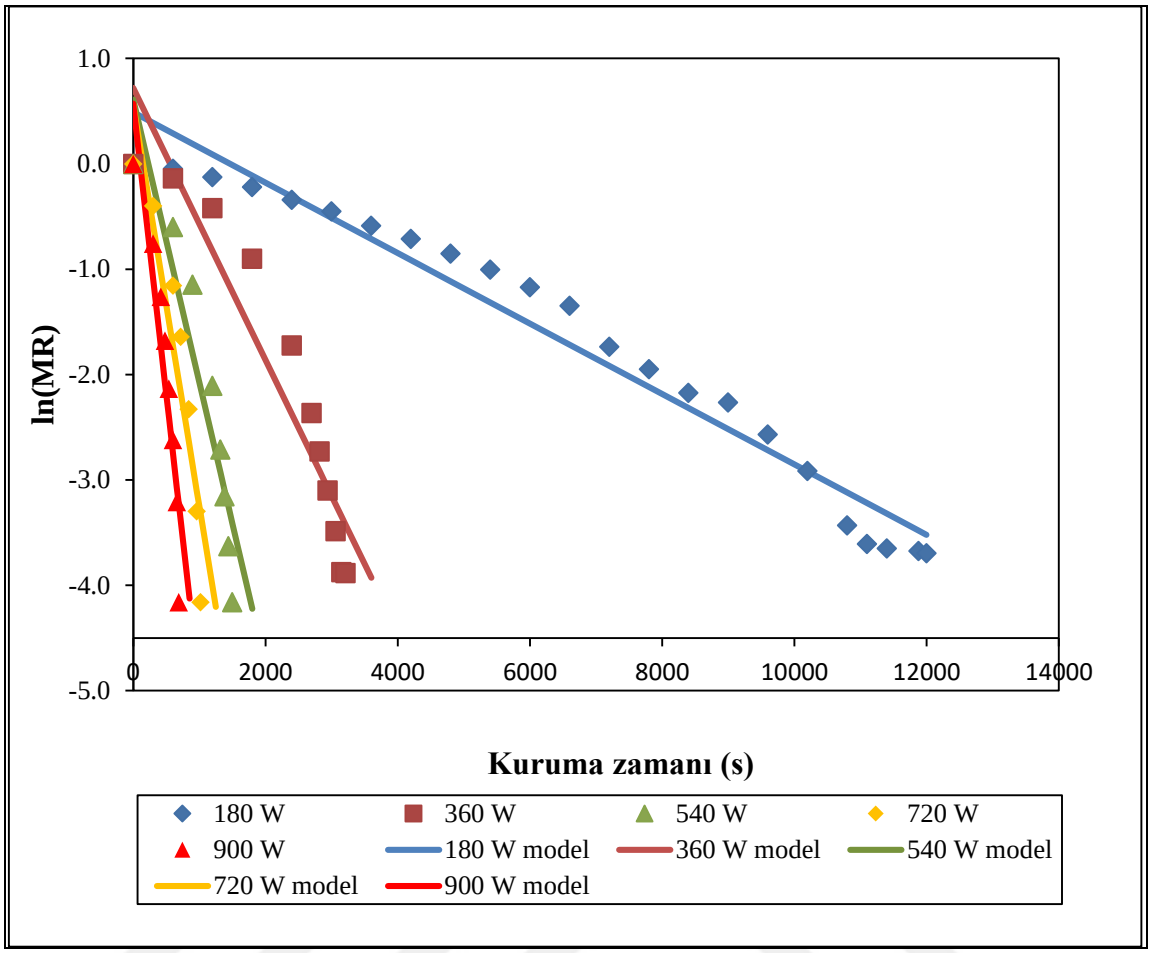
Mikrodalga Çıkış Gücü (W)	**k (dak^{-1})**	**n (birimsiz)**	**R^2**	**δ**
180	0.0005	1.67	0.9992	0.0139
360	0.0058	1.64	0.9993	0.0183
540	0.0131	1.70	0.9966	0.0302
720	0.0212	1.75	0.9984	0.0226
900	0.0386	1.82	0.9991	0.0143

8.1.1.4 Efektif difüzivite katsayılarının hesaplanması

Gıdaların kurutulması sırasında meydana gelen kütle transferinin en önemli ölçütü olan efektif difüzivite katsayısı; silindir kabulü yapılan deniz börülcesi numunelerinin beş farklı mikrodalga çıkış gücünde, 180, 360, 540, 720 ve 900 W kurutulmaları esnasında Eşitlik 7.5 yararlanılarak bulunmuştur. Matematiksel model sabitleri ve istatistiksel veriler ise Çizelge 8.3'te sunulmuştur. Şekil 8.4'te ln(MR)'ın kuruma zamanına karşı grafiği verilmiştir.

Çizelge 8.3 Farklı mikrodalga çıkış güçlerinde deniz börülcesi numunesine ait hesaplanan efektif difüzivite katsayısının değişimi ve istatistiksel veriler (Numune ağırlığı= 20 g)

Mikrodalga Çıkış Gücü (W)	**Deff *10^{10}(m^2.s^{-1})**	**R^2**	**δ**
180	0.40	0.9806	0.2659
360	1.51	0.9406	0.5479
540	3.24	0.9347	0.5727
720	4.55	0.9321	0.5991
900	6.54	0.9269	0.5464



Şekil 8.4 Farklı mikrodalga çıkış güçlerinde deniz börülcesi numunesine ait ln(MR) değerlerinin kuruma zamanı ile değişimi (Numune ağırlığı= 20 g)

Şekil 8.4 ve Çizelge 8.3'de görüldüğü üzere mikrodalga çıkış gücü yükseldikçe efektif difüzivite katsayısı değerleri de yükselmektedir. Bunun sebebi, daha yüksek mikrodalga çıkış güçlerinde gıdanın içerisinde oluşan sıcaklıkların artması ile kütle transferinin de artış göstermesi ve kuruma sürelerinin düşmesidir.

8.1.2 Mikrodalga Çıkış Gücünün Deniz Börülcesi Numunesinin Renk Değişimi Üzerindeki Etkisi

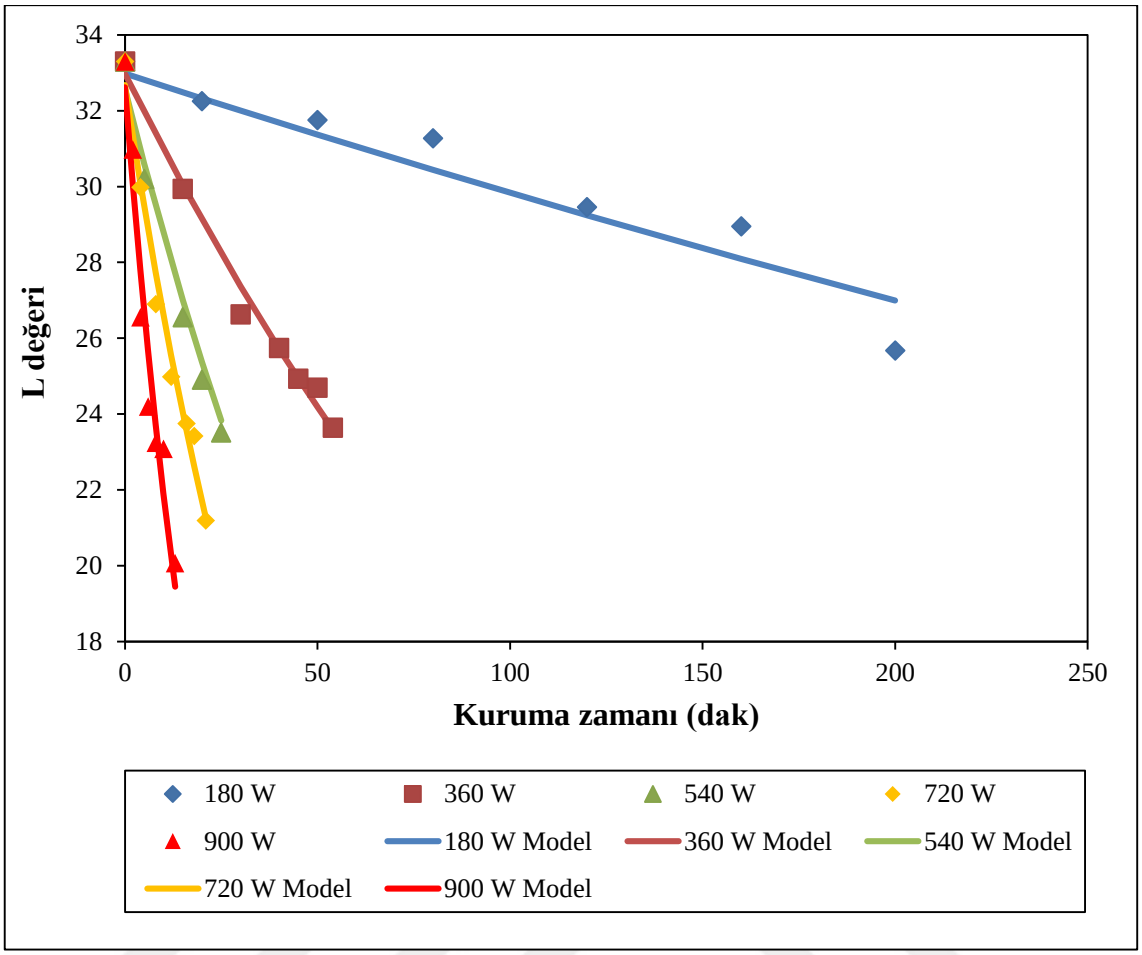
Mikrodalga ile kurutma yöntemi kullanılarak deniz börülcesi numunesinin zamana bağlı olarak renk değişimleri belirlenmiştir. Numuneler, farklı mikrodalga güçlerinde (180, 360, 540, 720 ve 900 W) 20 g deniz börülcesinin kurutulması ile elde edilmiştir. Bulunan L,a, b ve toplam renk değişimi (ΔE)'ye ait deneysel veriler Ek B, Çizelge B.1-B.5'te sırası ile sunulmuş ve modellenmiştir.

Yapılan modelleme çalışmaları sonucunda; L, a değerlerinin birinci dereceden kinetik modele (Eşitlik 7.15); b, Kroma (CV), ΔE, Renk Açısı (HA) ve Kahverengileşme İndeksi (BI) değerlerinin sıfırıncı dereceden kinetik modele (Eşitlik 7.14) uyduğu 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) değerlerinin grafiksel gösterimi Şekil 8.5-8.11'de, matematiksel model sabitleri ve istatistiksel veriler Çizelge 8.4-10'da sırası ile sunulmuştur.

L değeri değişimi

Farklı mikrodalga çıkış güçlerinde elde edilen L değerinin kuruma zamanı ile değişimi Şekil 8.5'de matematiksel model sabitleri ve istatistiksel veriler de Çizelge 8.4'de sunulmuştur. Şekil 8.5'den de görülebileceği gibi, L değeri kuruma zamanı boyunca düşmüştür. Bu durum gıdanın renginin koyulaşmaya başladığının belirtisidir. L değeri mikrodalga çıkış gücü 180 W iken; 33.29 değerinden 25.67 değerine, mikrodalga çıkış gücü 900 W iken; 33.29 değerinden 20.07 değerine düşmüştür.

Yapılan matematiksel modelleme sonucunda; birinci dereceden kinetik denkleme ait hız sabiti (k); mikrodalga çıkış gücü 180 W değerinden 900 W değerine arttırıldığında, 0.0011 dak^{-1} değerinden 0.0398 dak^{-1} değerine artış göstermiştir. Bu sonuç, gıdanın içinde meydana gelen yüksek sıcaklık neticesinde termal bozunma reaksiyonlarının daha hızlı gerçekleştiğini göstermektedir [78].



Şekil 8.5 Farklı mikrodalga çıkış güçlerinde deniz börülcesi numunesine ait L değerlerinin kuruma zamanı ile değişimi (Numune ağırlığı= 20 g)

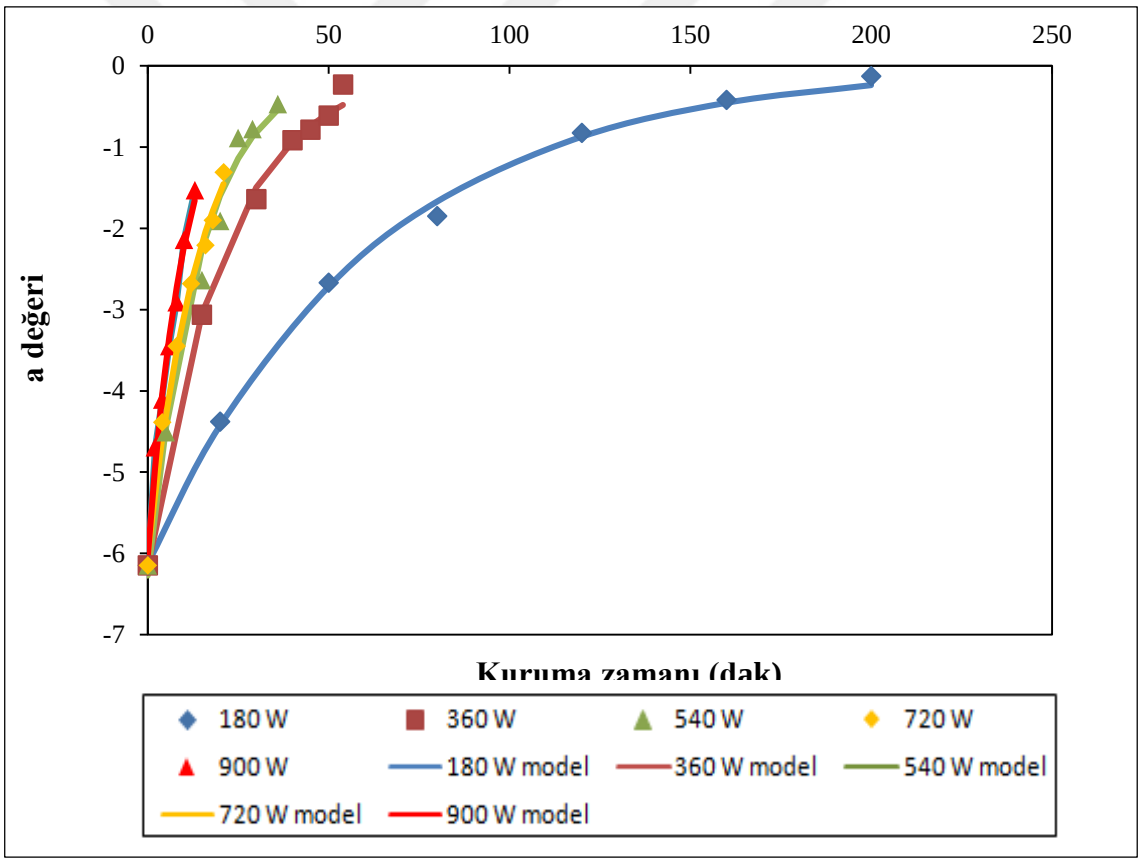
Çizelge 8.4 Farklı mikrodalga çıkış güçlerinde deniz börülcesi numunesine ait L değeri için birinci dereceden kinetik denklem kullanılarak elde edilen model sabitleri ve istatistiksel veriler (Numune ağırlığı= 20 g)

Mikrodalga Çıkış Gücü (W)	**k (dak^{-1})**	**C_0 (birimsiz)**	**R^2**	**δ**
180	0.0011	32.9798	0.9633	0.7569
360	0.0062	32.9746	0.9933	0.4336
540	0.0125	32.5870	0.9925	0.5729
720	0.0205	32.6791	0.9898	0.6550
900	0.0398	32.6212	0.9732	1.1859

a değeri değişimi

Farklı mikrodalga çıkış güçlerinde elde edilen a değerinin kuruma zamanı ile değişimi Şekil 8.6'da ve matematiksel model sabitleri ve istatistiksel veriler Çizelge 8.5'de sunulmuştur. Şekil 8.6'da görüldüğü üzere, a değeri kuruma zamanı boyunca yükselmiştir. Bu durum, gıdanın renginin yeşilden kahverengiye dönmeye başladığının bir ölçütüdür. a değeri mikrodalga çıkış gücü 180 W iken; -6.15 değerinden -0.13 değerine; mikrodalga çıkış gücü 900 W iken; -6.15 değerinden -1.65 değerine artmıştır.

Yapılan matematiksel modelleme neticesinde; sıfırıncı dereceden kinetik denkleme ait hız sabiti (k); mikrodalga çıkış gücü 180 W değerinden 900 W değerine yükseldiğinde, Lopez vd. [79] tarafından da belirtildiği gibi gıdanın içinde oluşan ve yüksek sıcaklıkta meydana gelen kahverengi pigmentlerin artması sonucunda k değeri 0.0162 dak^{-1} değerinden 0.0997dak^{-1} değerine ulaşmıştır.



Şekil 8.6 Farklı mikrodalga çıkış güçlerinde deniz börülcesi numunesine ait a değerlerinin kuruma zamanı ile değişimi (Numune ağırlığı= 20 g)

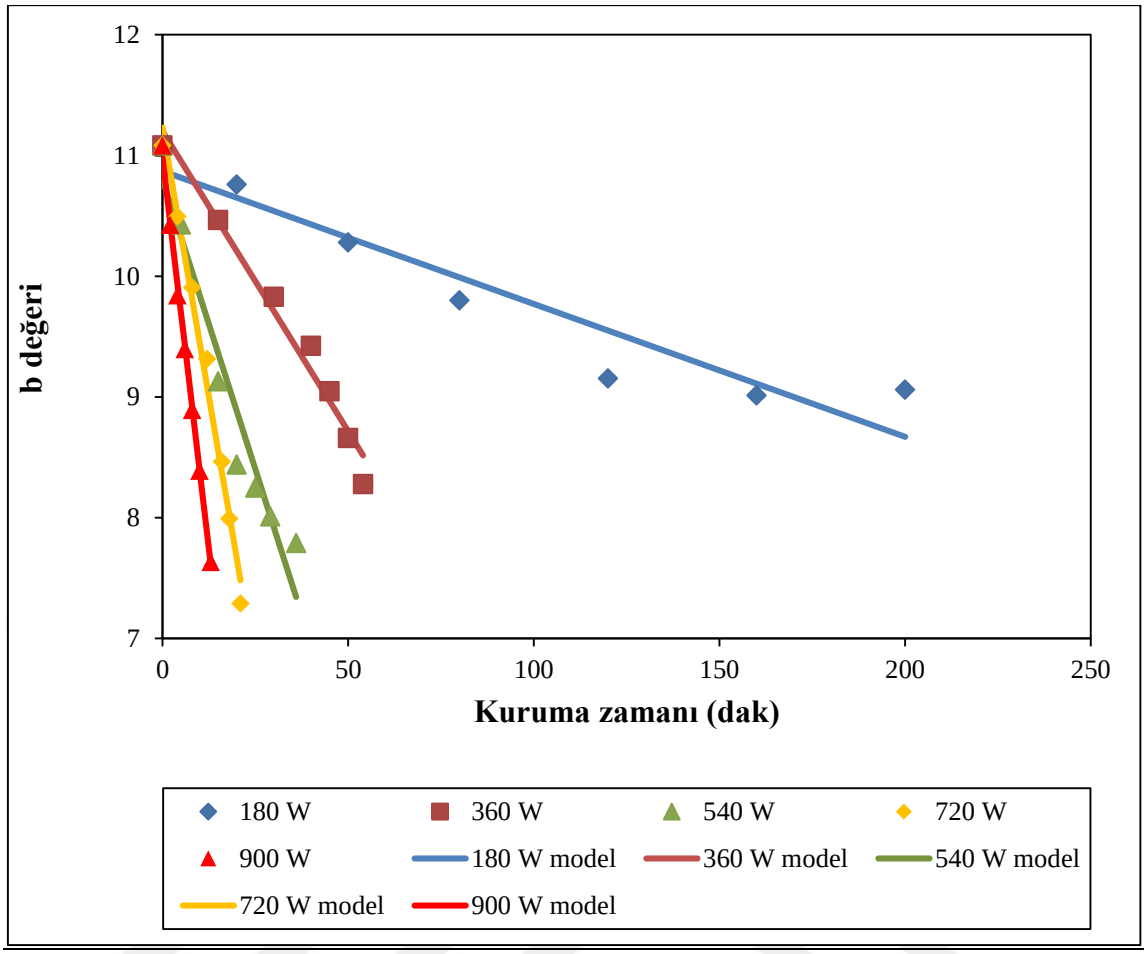
Çizelge 8.5 Farklı mikrodalga çıkış güçlerinde deniz börülcesi numunesine ait a değeri için sıfırıncı dereceden kinetik denklem kullanılarak elde edilen model sabitleri ve istatistiksel veriler (Numune ağırlığı= 20 g)

Mikrodalga Çıkış Gücü (W)	**k (dak^{-1})**	**C_0 (birimsiz)**	**R^2**	**δ**
180	0.0162	-6.1278	0.9991	0.1025
360	0.0472	-6.1737	0.9972	0.1725
540	0.0683	-6.2725	0.9893	0.3556
720	0.0777	-6.0242	0.9962	0.1580
900	0.0997	-6.0529	0.9948	0.1751

b değeri değişimi

Farklı mikrodalga çıkış güçlerinde elde edilen b değerinin kuruma zamanı ile değişimi Şekil 8.7'de ve matematiksel model sabitleri ve istatistiksel veriler Çizelge 8.6'da sunulmuştur. Şekil 8.7'de görüldüğü üzere, b değeri kuruma zamanı boyunca düşmüştür. b değeri mikrodalga çıkış gücü 180 W iken; 11.08 değerinden 9.06 değerine; mikrodalga çıkış gücü 900 W iken; 11.08 değerinden 7.64 değerine düşmüştür.

Yapılan matematiksel modelleme neticesinde; sıfırıncı dereceden kinetik denkleme ait hız sabiti (k); mikrodalga çıkış gücü 180 W değerinden 900 W değerine arttırıldığında, 0.0110 dak^{-1} değerinden 0.2601 dak^{-1} değerine artış meydana gelmiştir. Bu durum, gıdanın içinde meydana gelen yüksek sıcaklık sebebiyle klorofil ve karoten pigmentlerinin bozunma reaksiyonlarının daha hızlı meydana geldiğini göstermektedir [80].



Şekil 8.7 Farklı mikrodalga çıkış güçlerinde deniz börülcesi numunesine ait b değerlerinin kuruma zamanı ile değişimi (Numune ağırlığı= 20 g)

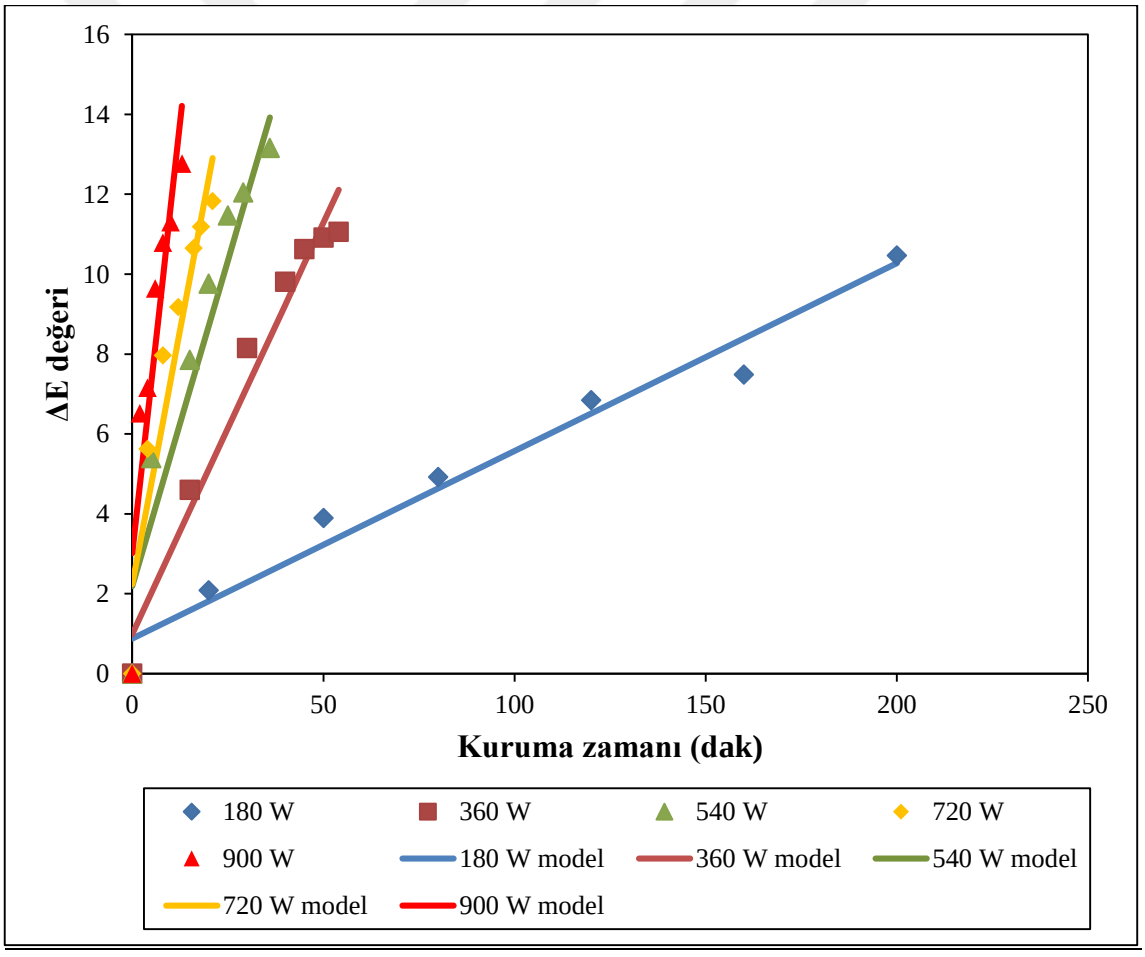
Çizelge 8.6 Farklı mikrodalga çıkış güçlerinde deniz börülcesi numunesine ait b değeri için sıfırıncı dereceden kinetik denklem kullanılarak elde edilen model sabitleri ve istatistiksel veriler (Numune ağırlığı= 20 g)

Mikrodalga Çıkış Gücü (W)	**k (dak^{-1})**	**C_0 (birimsiz)**	**R^2**	**δ**
180	0.0110	10.8701	0.9512	0.2875
360	0.0497	11.2001	0.9883	0.1670
540	0.0958	10.8001	0.9707	0.3348
720	0.1784	11.2301	0.9943	0.1610
900	0.2601	10.9801	0.9986	0.0685

Toplam renk değişimi (ΔE) değeri

Toplam renk değişimi (ΔE) değerleri Eşitlik 7.6 kullanılarak hesaplanmıştır. Toplam renk değişimi (ΔE) değerlerinin kuruma zamanı ile değişiminin grafiksel gösterimi Şekil 8.8'de, matematiksel model sabitleri ve istatistiksel veriler ise Çizelge 8.7'de verilmiştir. Toplam renk değişimi (ΔE) değerleri, mikrodalga çıkış gücü 180 W iken 10.47 değerinden; mikrodalga çıkış gücü 900 W iken; 12.77 değerine yükselmiştir.

Yapılan matematiksel modelleme neticesinde; sıfırıncı dereceden kinetik denkleme ait hız sabiti (k); mikrodalga çıkış gücü 180 W değerinden 900 W değerine yükseltildiğinde, 0.0470 dak^{-1} değerinden 0.8607 dak^{-1} değerine ulaşmıştır.



Şekil 8.8 Farklı mikrodalga çıkış güçlerinde deniz börülcesi numunesine ait ΔE değerlerinin kuruma zamanı ile değişimi (Numune ağırlığı= 20 g)

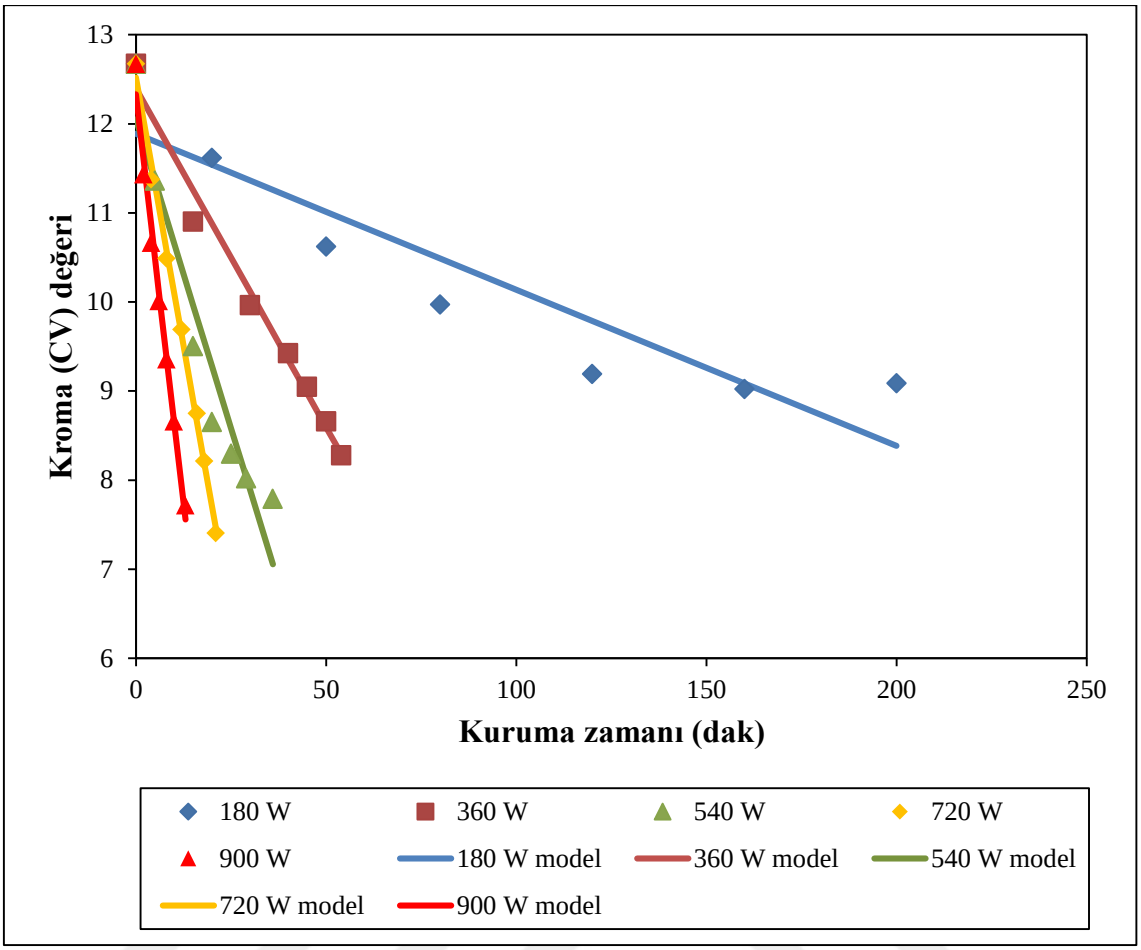
Çizelge 8.7 Farklı mikrodalga çıkış güçlerinde deniz börülcesi numunesine ait toplam renk değişimi (ΔE) değeri için sıfırıncı dereceden kinetik denklem kullanılarak elde edilen model sabitleri ve istatistiksel veriler (Numune ağırlığı= 20 g)

Mikrodalga Çıkış Gücü (W)	**k (dak^{-1})**	**C_0 (birimsiz)**	**R^2**	**δ**
180	0.0470	0.8743	0.9841	0.6836
360	0.2061	0.9902	0.9808	0.8876
540	0.3326	2.1880	0.9566	1.4300
720	0.5082	2.3270	0.9421	1.5200
900	0.8607	3.0200	0.9157	1.8873

Kroma değeri (CV) değişimi

Eşitlik 7.7 kullanılarak elde edilen Kroma (CV) değerlerinin kuruma zamanı ile değişimlerini Şekil 8.9'da, matematiksel model sabitleri ve istatistiksel veriler Çizelge 8.8'de gösterilmiştir. Şekil 8.9 incelendiğinde; Kroma (CV) değerinin kuruma zamanı boyunca azalma gösterdiği görülmüştür. Kroma (CV) değeri mikrodalga çıkış gücü 180 W iken; 12.67 değerinden 9.09 değerine; mikrodalga çıkış gücü 900 W değerine yükseltildiğinde; 12.67 değerinden 7.72 değerine inmiştir.

Yapılan matematiksel modelleme neticesinde; sıfırıncı dereceden kinetik denkleme ait hız sabiti (k); mikrodalga çıkış gücü 180 W değerinden 900 W değerine yükseltildiğinde, 0.0198 dak^{-1} değerinden 0.3670 dak^{-1} değerine ulaşmıştır.



Şekil 8.9 Farklı mikrodalga çıkış güçlerinde deniz börülcesi numunesine ait Kroma (CV) değerlerinin kuruma zamanı ile değişimi (Numune ağırlığı= 20 g)

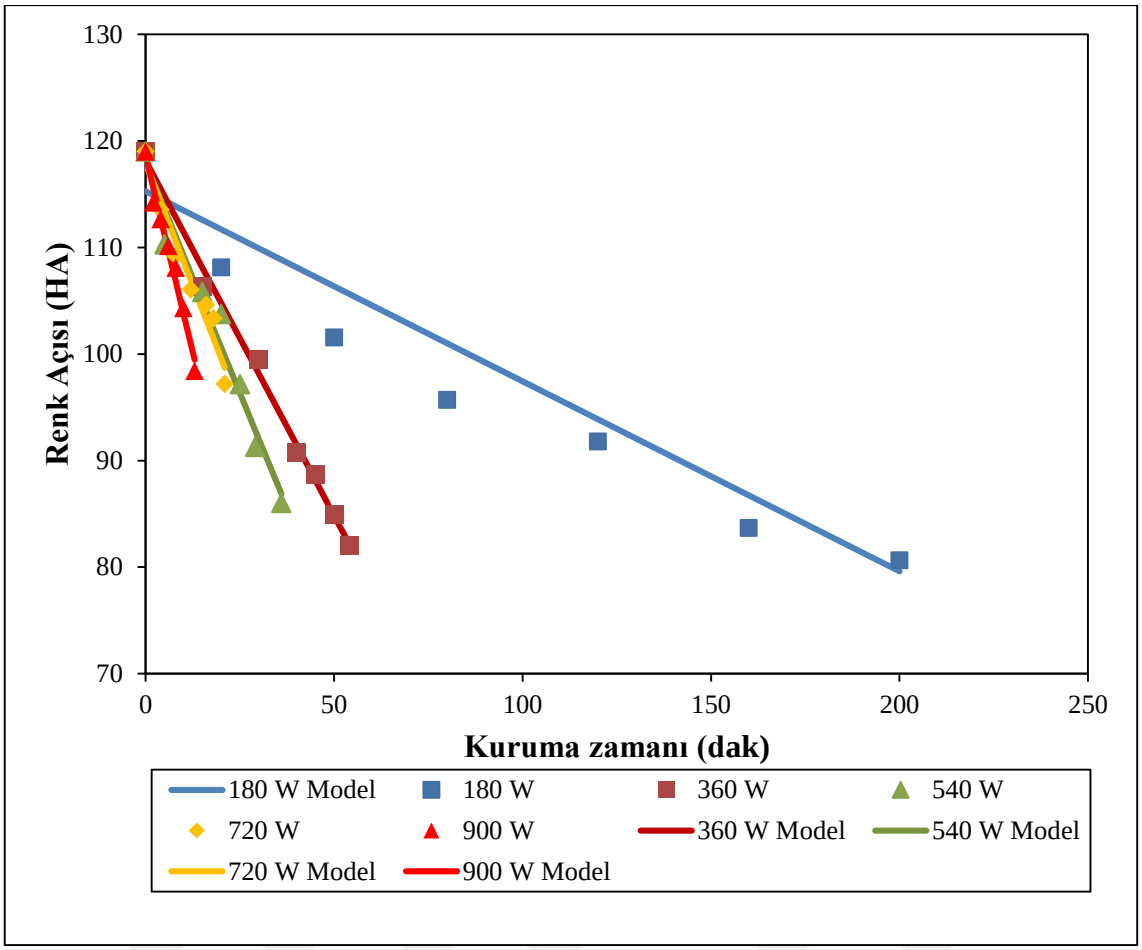
Çizelge 8.8 Farklı mikrodalga çıkış güçlerinde deniz börülcesi numunesine Kroma (CV) değeri için sıfırıncı dereceden kinetik denklem kullanılarak elde edilen model sabitleri ve istatistiksel veriler (Numune ağırlığı= 20 g)

Mikrodalga Çıkış Gücü (W)	**k (dak^{-1})**	**C_0 (birimsiz)**	**R^2**	**δ**
180	0.0198	11.9986	0.9570	0.4842
360	0.0761	12.4000	0.9913	0.2186
540	0.1387	12.0501	0.9604	0.5684
720	0.2410	12.5201	0.9980	0.1285
900	0.3670	12.3302	0.9934	0.2120

Renk Açısı (HA) değişimi

Eşitlik 7.8 kullanılarak hesaplanılan Renk Açısı (HA) değerlerinin kuruma zamanı ile değişimleri Şekil 8.10'da matematiksel model sabitleri ve istatistiksel veriler Çizelge 8.9'da verilmiştir. Şekil 8.10 incelendiğinde; Renk Açısı (HA) değerlerinin kuruma zamanı boyunca düşme gösterdiği anlaşılmıştır. Renk Açısı (HA) değerleri mikrodalga çıkış gücü 180 W iken; 119.03 değerinden 80.65 değerine; mikrodalga çıkış gücü 900 W iken; 119.03 değerinden 98.42 değerine ulaşmıştır. Bu durum deniz börülcesi numunesinin mikrodalga yöntemi ile kurutulması sırasında düşük mikrodalga çıkış gücü için (180, 360 W) renginin yeşilden (Renk Açısı> 90°C) kırmızı (Renk Açısı< 90°C) renge döndüğünün belirtisidir [81].

Yapılan matematiksel modelleme sonucunda; sıfırıncı dereceden kinetik denkleme ait hız sabiti (k); mikrodalga çıkış gücü 180 W değerinden 900 W değerine arttırıldığında, 0.1785 dak^{-1} değerinden 1.4710 dak^{-1} değerine yükselmiştir. Bunun sebebi; uygulanan yüksek mikrodalga çıkış güçlerinde gıdanın içerisinde oluşan yüksek sıcaklıklar renk değişimine sebep olan bozunma reaksiyonlarını hızlandırmakta ve rengin daha hızlı ve daha fazla değişmesine yol açmaktadır.



Şekil 8.10 Farklı mikrodalga çıkış güçlerinde deniz börülcesi numunesine ait Renk Açısı (HA) değerlerinin kuruma zamanı ile değişimi (Numune ağırlığı= 20 g)

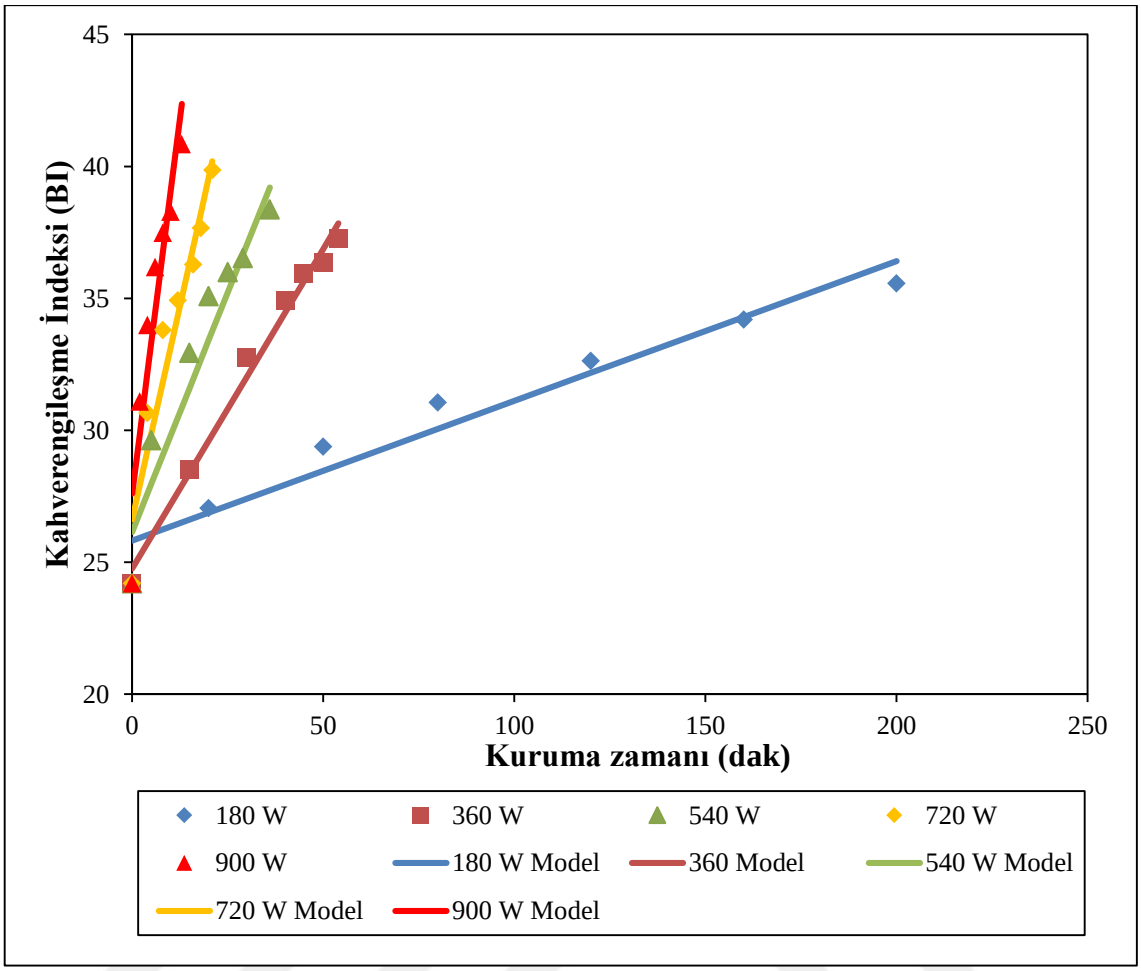
Çizelge 8.9 Farklı mikrodalga çıkış güçlerinde deniz börülcesi numunesine ait Renk Açısı (HA) değeri için sıfırıncı dereceden kinetik denklem kullanılarak elde edilen model sabitleri ve istatistiksel veriler (Numune ağırlığı= 20 g)

Mikrodalga Çıkış Gücü (W)	**k (dak^{-1})**	**C_0 (birimsiz)**	**R^2**	**δ**
180	0.1785	115.29	0.9703	3.5964
360	0.6664	118.1605	0.9967	1.1724
540	0.7410	116.2460	0.9677	2.7268
720	0.9116	117.8603	0.9800	1.5686
900	1.4710	118.6010	0.9904	1.0264

Kahverengileşme İndeksi (BI) değişimi

Eşitlik 7.9 kullanılarak hesaplanan Kahverengileşme İndeksi (BI) değerlerinin kuruma zamanı ile değişimlerinin verildiği grafiksel gösterim Şekil 8.11'de, matematiksel model sabitleri ve istatistiksel veriler Çizelge 8.10'da sunulmuştur. Kahverengileşme İndeksi (BI) değerlerinin kuruma zamanı boyunca arttığı gözlemlenmiştir. Kahverengileşme İndeksi değerleri mikrodalga çıkış gücü 180 W iken; 24.20 değerinden 35.56 değerine; mikrodalga çıkış gücü 900 W iken; 24.20 değerinden 40.84 değerine yükselmiştir. Bu durum gıdanın renginin yüksek mikrodalga çıkış güçlerinde enzimatik ve enzimatik olmayan reaksiyonlar sonucunda oluşan kahverengi pigmentlerden dolayı daha koyu bir renge sahip olduğuna işaret etmektedir.

Yapılan matematiksel modelleme neticesinde; birinci dereceden kinetik denkleme ait hız sabiti (k); mikrodalga çıkış gücü 180 W değerinden 900 W değerine arttırıldığında, 0.0529 dak^{-1} değerinden 1.1361 dak^{-1} değerine ulaşmıştır



Şekil 8.11 Farklı mikrodalga çıkış güçlerinde deniz börülcesi numunesine ait Kahverengileşme İndeksi (BI) değerlerinin kuruma zamanı ile değişimi (Numune ağırlığı= 20 g)

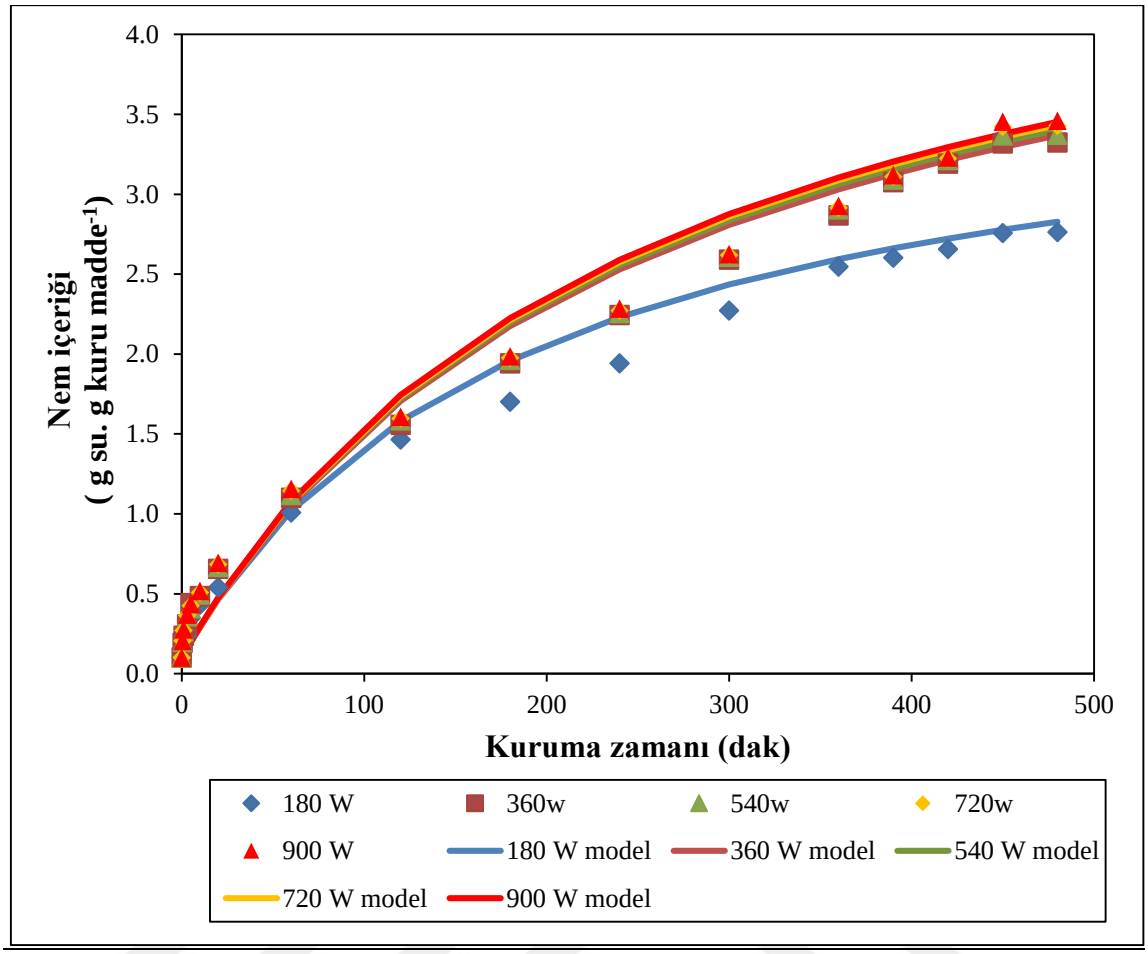
Çizelge 8.10 Farklı mikrodalga çıkış güçlerinde deniz börülcesi numunesine ait Kahverengileşme İndeksi (BI) değeri için sıfırıncı dereceden kinetik denklem kullanılarak elde edilen model sabitleri ve istatistiksel veriler (Numune ağırlığı= 20 g)

Mikrodalga Çıkış Gücü (W)	**k (dak^{-1})**	**C_0 (birimsiz)**	**R^2**	**δ**
180	0.0529	25.8195	0.9716	1.0402
360	0.2422	24.7590	0.9937	0.5937
540	0.3626	26.1447	0.9586	1.5222
720	0.6467	26.6163	0.9582	1.6225
900	1.1361	27.6037	0.9356	2.1418

8.1.3 Mikrodalga çıkış gücünün deniz börülcesi numunesinin rehidratasyon oranı üzerindeki etkisi

Mikrodalga ile kurutma yöntemi kullanılarak 20 g deniz börülcesi numunesinin beş farklı mikrodalga çıkış gücünde 180, 360, 540, 720 ve 900 W kurutulmasından sonra elde edilen kuru ürünler bir gün süre ile desikatörde tutulmuş ve daha sonra 30°C sıcaklıktaki 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. Elde edilen tartım değerlerinden rehidratasyon değerleri Eşitlik 7.3 yardımıyla hesaplanmıştır ve Ek C Çizelge C.1-C.5'te sırası ile verilerek modellenmiştir. Yapılan modelleme çalışmaları neticesinde deneysel değerlerin Peleg modele (Eşitlik 7.16) uygunluk gösterdiği belirlenmiştir.

Mikrodalga yöntemi kullanılarak 20 g deniz börülcesinin kurutulması işleminin gerçekleştirildiği her bir mikrodalga çıkış gücünde rehidratasyon değerlerinin rehidratasyon zamanı ile değişimi için elde edilen deneysel değerler ile kullanılan teorik değerlerin karşılaştırılmasını içeren grafiksel gösterim Şekil 8.12'de, matematiksel model sabitleri ve istatistiksel veriler Çizelge 8.11'de sunulmuştur.



Şekil 8.12 Farklı mikrodalga çıkış güçlerinde deniz börülcesi numunesine ait rehidratasyon oranı değerlerinin rehidratasyon zamanı ile değişimi (Numune ağırlığı= 20 g, rehidratasyon sıcaklığı= 30°C)

Çizelge 8.11 Farklı mikrodalga çıkış güçlerinde deniz börülcesi numunesine ait rehidratasyon oranı değeri için Peleg model kullanılarak elde edilen 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	58.6251	0.2548	0.9600	0.0982
360	58.5525	0.1909	0.9940	0.1416
540	57.8830	0.1889	0.9936	0.1479
720	57.5856	0.1865	0.9927	0.1577
900	57.2602	0.1855	0.9922	0.1641

* dak.g kuru madde. g su^{-1}; ** g kuru madde. g su^{-1}

Şekil 8.12 incelendiğinde; mikrodalga çıkış gücü arttıkça deniz börülcesi numunesinin geri absorplayabileceği su miktarının arttığı ama bu artışın yüksek mikrodalga güçlerinde kayda değer bir artış olmadığı görülmüştür. Ancak mikrodalga yöntemi ile kurutulmuş olan deniz börülcesi numunesinin absorplayabildiği su miktarı, kurutulmadan önceki sahip olduğu su miktarının %54'ü kadardır. Bu durum kurutulan numunelerin kurutma ve rehidratasyon aşamasında yapılarında bazı değişikliklerin ya da doku farklılıklarının oluştuğunun bir göstergesi olarak anlaşılabilir [82].

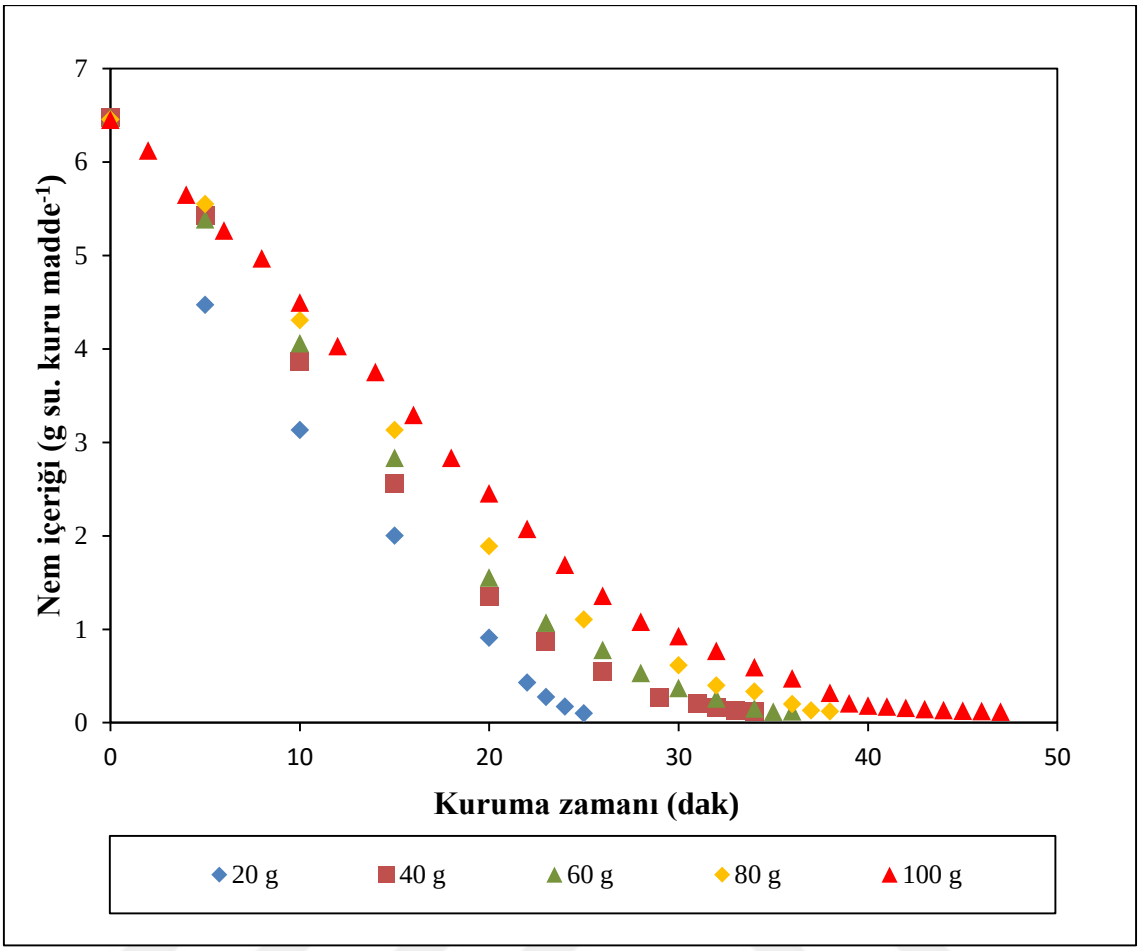
8.2 Sabit Mikrodalga Çıkış Gücünde Deniz Börülcesi Numunesinin Ağırlığının Kuruma Üzerindeki Etkisi

8.2.1 Deniz Börülcesi Numunesinin Ağırlığının Kuruma Kinetiği Üzerindeki Etkisi

8.2.1.1 Nem İçeriği Değişimi

Deniz börülcesi numunelerinin ortalama toplam nem içeriği M_0=6.46 g su.g kuru madde^{-1}olarak bulunmuştur. 540 W mikrodalga sabit çıkış gücü için 40, 60, 80 ve 100 g ağırlığındaki deniz börülcesi numunesi ile yapılan kurutma işlemi için nem içeriği değişimi elde edilen değerler Ek D. Çizelge 4.1-4.5'te sırası ile verilmiş ve Şekil 8.13'de 20, 40, 60, 80 ve 100 g numune ağırlıklarında nem içeriği değişimi grafiksel olarak sunulmuştur.

Yapılan deneyler neticesinde, kurutulan deniz börülcesi numunesinin ağırlığı arttırıldığında kuruma sürelerinin arttığı gözlemlenmiştir. Nem içeriğinin ise 6.46'den 0.1 g su. g kuru madde^{-1} değerine düşmesi için gerekli olan sürenin 20 g için 25 dakika iken, 100 g madde için 47 dakika sürdüğü gözlemlenmiştir. 100 g numune ağırlığı yerine 20 g numune ağırlığı kullanıldığında kuruma süresinin (47 dakikadan 25 dakikaya düştüğü) %46.8 oranında azaldığı gözlemlenmiştir.

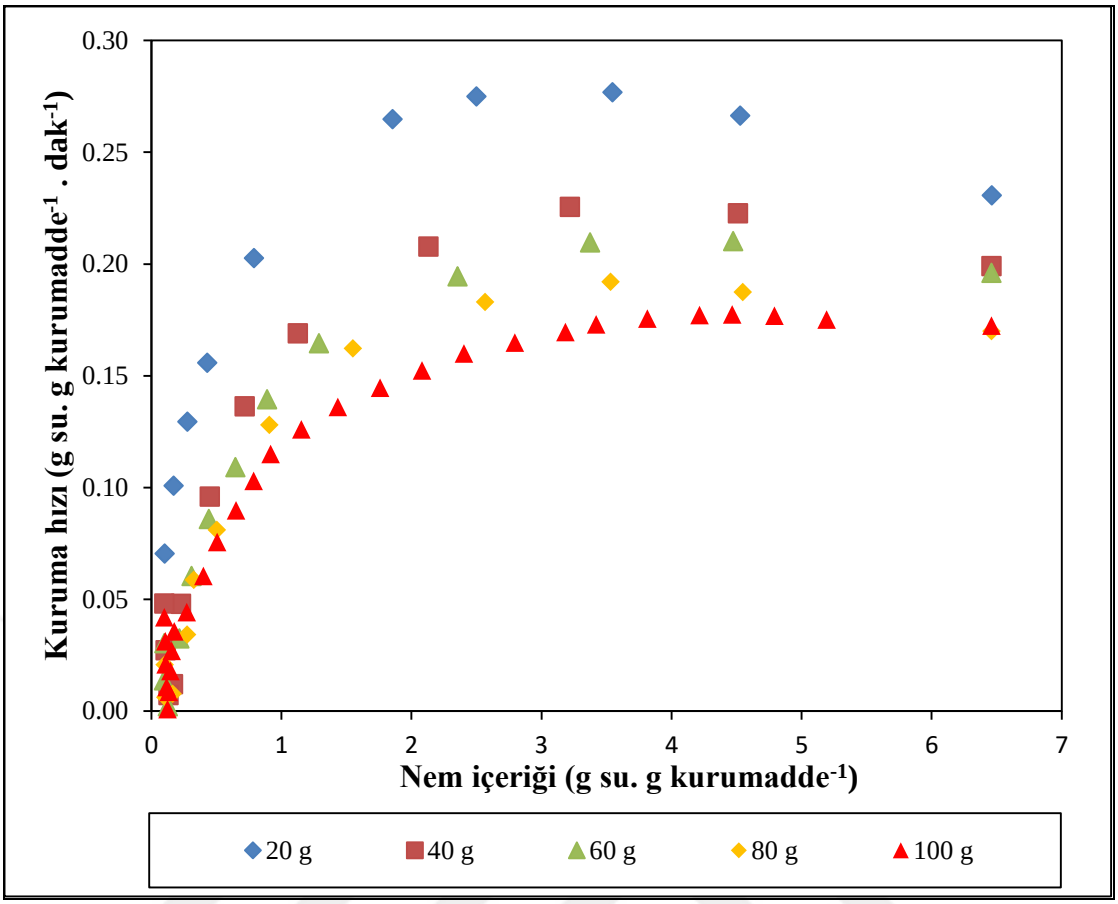


Şekil 8.13 Farklı mikrodalga çıkış güçlerinde deniz börülcesi numunesinin nem içeriğinin kuruma zamanı ile değişimi (Mikrodalga çıkış gücü= 540 W)

8.2.1.2 Kuruma Hızı Değişimi

Numune ağırlığının kuruma hızı üzerindeki etkisini incelemek için; 20, 40, 60, 80 ve 100 g ağırlığındaki deniz börülcesi numuneleri 540 W sabit mikrodalga çıkış gücünde kurutulmuştur. Kurutulan deniz börülcesi numunelerine ait kuruma hız değerleri Şekil 8.14'te grafiksel olarak verilmiştir. Sabit hızda kuruma periyodu ve azalan hızda kuruma periyodu olacak şekilde 2 farklı kuruma periyodu olduğu belirlenmiştir.

Deniz börülcesi numunelerinin sabit hızda kuruma periyodunda ortalama kuruma hızları, numune ağırlığı 100 gramdan 20 grama düşürüldüğünde, 0.17 değerinden 0.28 g su. g kuru madde^{-1}. dak^{-1} değerine yükseldiği gözlemlenmiştir. Sabit hızda kuruma periyodunu azalan hızda kuruma periyodu takip etmiştir.



Şekil 8.14 Farklı ağırlıklardaki deniz börülcesi numunesine ait kuruma hızlarının nem içeriği ile değişimi (Mikrodalga çıkış gücü=540 W)

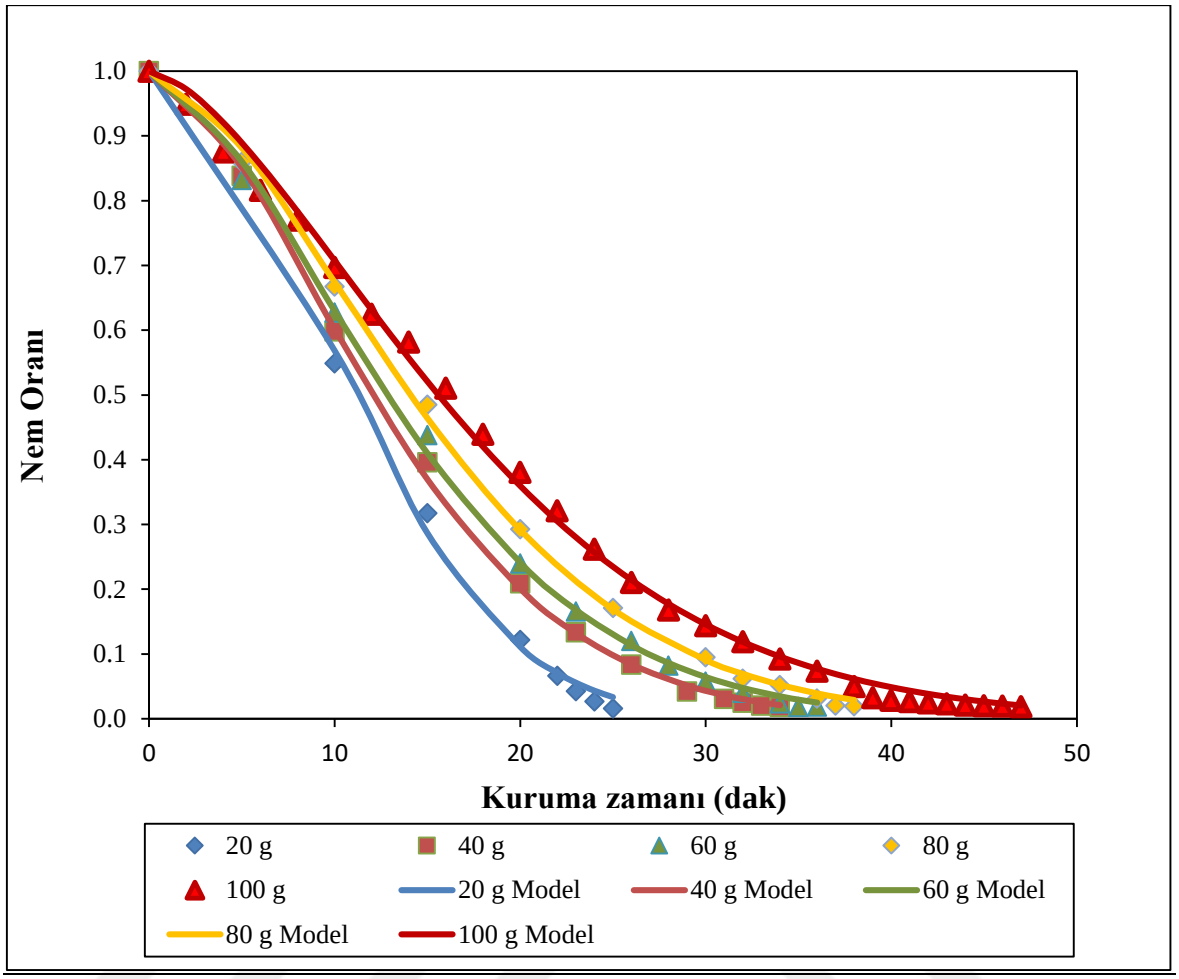
8.2.1.3 Kuruma Kinetiğine Ait Model Çalışmaları

Mikrodalga yöntemi kullanılarak beş farklı ağırlıkta kurutulan; 20, 40, 60, 80 ve 100 g deniz börülcesi numunesinin kurutulması sırasında elde edilen nem oranı değerlerinin kuruma zamanı ile değişimini içeren deneysel değerler, dört ayrı ince tabaka kurutma modeli ile modellenmiştir. Matematiksel modellere ait istatistiksel veriler Çizelge 8.12'de verilmiştir. Elde edilen verilerden; deniz börülcesi numunesinin kuruma kinetiğine uyan en iyi modelin yüksek R^2 ve düşük standart sapma (δ) değerleri ile Page modeli olduğu bulunmuştur.

Kurumanın gerçekleştirildiği her bir numune ağırlığında nem oranı değerlerinin kuruma zamanı ile değişimi için elde edilen deneysel değerler ile kullanılan Page modelin teorik değerlerinin karşılaştırılmasını içeren grafiksel gösterim Şekil 8.15'de, matematiksel model sabitleri ve istatistiksel veriler Çizelge 8.13'te sunulmuştur.

Çizelge 8.12 Farklı numune ağırlıklarında kurutulan deniz börülcesi numunesinin kuruma hızlarının belirlenmesi sırasında kurulan matematiksel modeller ve istatistiksel veriler

Modeller	**Numune (g)**	**R^2**	**δ**
Page Model	20	0.9966	0.0302
	40	0.9961	0.0101
	60	0.9992	0.0137
	80	0.9995	0.0120
	100	0.9985	0.0180
Henderson ve Pabis Model	20	0.9792	0.0747
	40	0.9780	0.0761
	60	0.9789	0.0716
	80	0.9782	0.0770
	100	0.9820	0.0640
Lewis Model	20	0.9893	0.0699
	40	0.4867	0.2987
	60	0.9742	0.0760
	80	0.9725	0.0824
	100	0.9738	0.0751
Logaritmik Model	20	0.8760	0.1946
	40	0.9948	0.0390
	60	0.9954	0.0351
	80	0.9960	0.0347
	100	0.9957	0.0341



Şekil 8.15 Farklı numune ağırlıklarında kurutulan deniz börülcesi numunesine ait nem oranı değerlerinin kuruma zamanı ile değişimi (Mikrodalga çıkış gücü= 540 W)

Çizelge 8.13 Farklı ağırlıklardaki deniz börülcesi numunesine ait kuruma zamanlarına karşılık elde edilen deneysel verilere uyan Page model sabitleri ve istatistiksel veriler

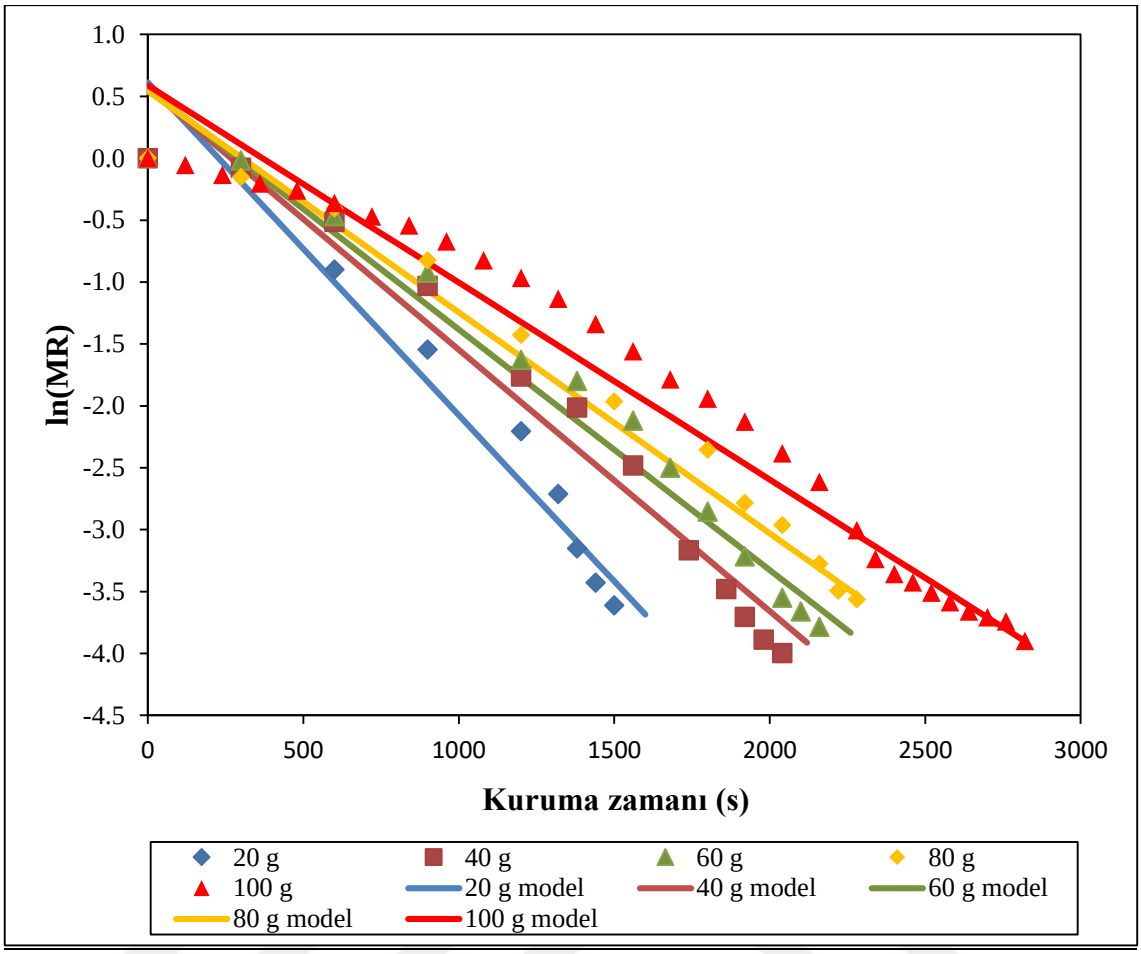
Numune (g)	**k (dak^{-1})**	**n (birimsiz)**	**R^2**	**δ**
20	0.0131	1.70	0.9966	0.0302
40	0.0111	1.66	0.9992	0.0101
60	0.0098	1.62	0.9992	0.0137
80	0.0089	1.64	0.9989	0.0118
100	0.0094	1.56	0.9997	0.0179

Çizelge 8.13 incelendiğinde; Page modele ait kinetik sabitin (k) değerinin kurutulan numune miktarı arttıkça 0.0131 dak^{-1} değerinden 0.0094 dak^{-1} değerine azaldığı görülmüştür. Bu durum kurutulan düşük numune ağırlıklarında gıdanın içinde yüksek sıcaklıkların oluşmasından dolayı kurumanın daha kısa sürede meydana geldiğini göstermektedir. Diğer taraftan, Page modele ait diğer bir katsayı olan n 1.56-1.70 değerleri arasında değişmiştir.

8.2.1.4 Efektif Difüzivite Katsayılarının Hesaplanması

Efektif difüzivite katsayısı, silindir kabulü yapılan deniz börülcesi numunelerinin beş farklı 20, 40, 60, 80 ve 100 g numune ağırlığında kurutulmaları sırasında meydana gelen kütle transferinin en büyük göstergesidir ve Eşitlik 7.5'de verilen lineer denklemin eğimi yardımıyla hesaplanmıştır.

Hesaplanan değerler ile kullanılan teorik değerlerin karşılaştırılmasını içeren grafiksel gösterim Şekil 8.16'da, matematiksel model sabitleri ve istatistiksel veriler Çizelge 8.14'de belirtilmiştir. Çizelge 8.14'de görüldüğü gibi numune ağırlığı arttıkça efektif difüzivite katsayısı değerleri düşmektedir. Bunun nedeni; daha düşük numune miktarlarında gıdanın içerisinde meydana gelen sıcaklıkların artması ile kütle transferinin de artış göstermesi olarak söylenebilir.



Şekil 8.16 Farklı ağırlıklardaki deniz börülcesi numunesine ait ln(MR) değerlerinin kuruma zamanı ile değişimi (Mikrodalga çıkış gücü= 540 W)

Çizelge 8.14 Farklı ağırlıklardaki deniz börülcesi numunesine ait hesaplanan efektif difüzivite katsayısının değişimi ve istatistiksel veriler (Mikrodalga çıkış gücü= 540 W)

Numune (g)	**Deff *10^{10} (m^2.s^{-1})**	**R^2**	**δ**
20	3.24	0.9347	0.5727
40	2.62	0.9782	0.3274
60	2.40	0.9740	0.3363
80	2.18	0.9721	0.3597
100	1.92	0.9792	0.3023

8.2.2 Deniz börülcesi Numunesi Ağırlığının Renk Değişimi Üzerindeki Etkisi

Mikrodalga ile kurutma yöntemi kullanılarak deniz börülcesi numunesinin 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 Çizelge E.1-E.5'te sırası ile verilmiştir.

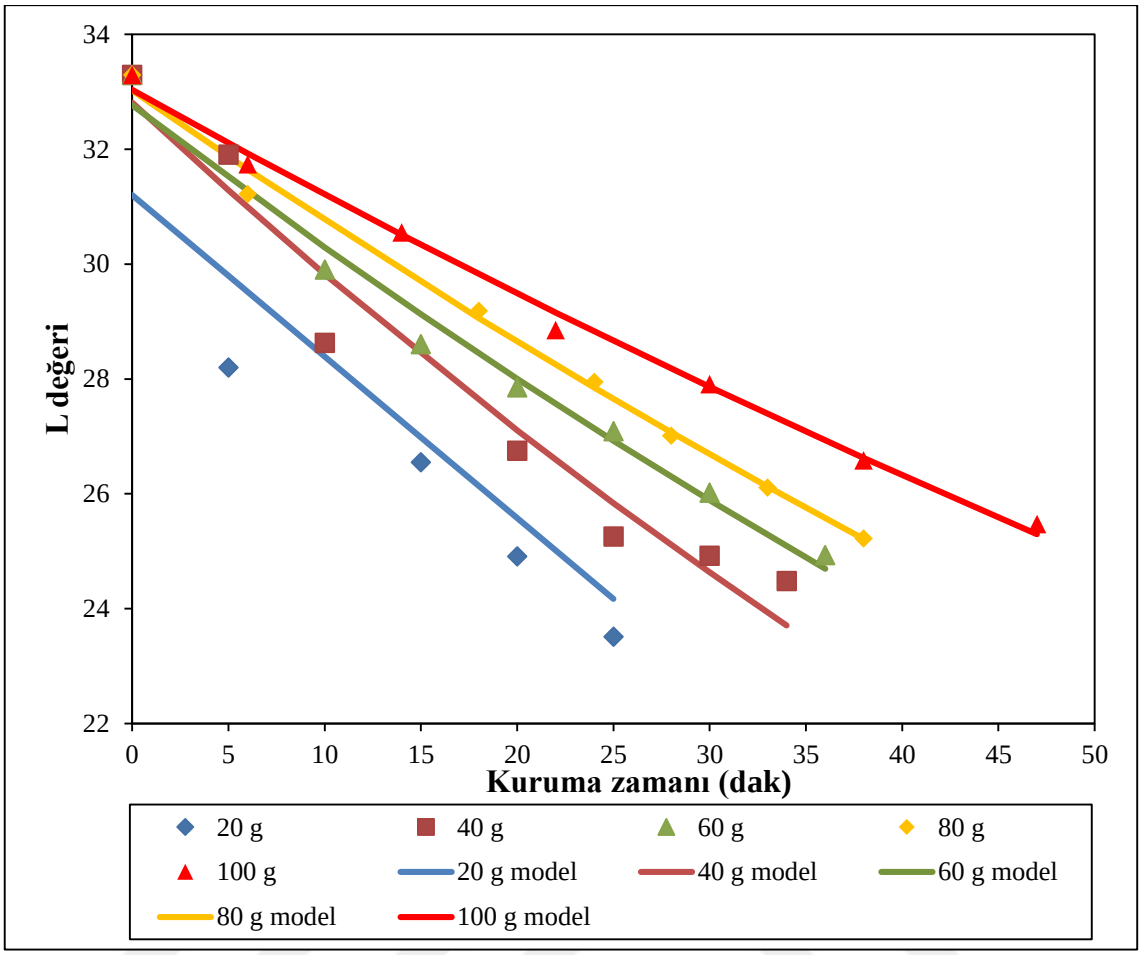
Yapılan modelleme çalışmaları neticesinde; elde edilen L, a değerlerinin birinci dereceden kinetik modele (Eşitlik 7.15); b, Kroma (CV), Kahverengileşme İndeksi (BI), toplam renk değişimi (ΔE) ve Renk Açısı (HA) değerlerinin sıfırıncı dereceden kinetik modele (Eşitlik 7.14) uyumluluk gösterdiği gözlenmiştir.

L, a, b, toplam renk değişimi (ΔE), Kroma (CV), Renk Açısı (HA) ve Kahverengileşme İndeksi (BI) değerlerinin kuruma zamanı ile değişimi için elde edilen deneysel değerler ile kullanılan teorik değerlerin karşılaştırılmasını içeren grafiksel gösterim ise Şekil 8.17-8.23'te, matematiksel model sabitleri ve istatistiksel veriler Çizelge 8.15-8.21'de sırasıyla sunulmuştur.

L değeri değişimi

Farklı ağırlıklardaki deniz börülcesi numunesi için elde edilen L değerinin kuruma zamanı ile değişimi Şekil 8.17'de matematiksel model sabitleri ve istatistiksel veriler de Çizelge 8.15'de verilmiştir. Şekil 8.17'den de görülebileceği gibi, L değeri kuruma zamanı boyunca düşmüştür. L değeri 20 g numune için 33.29 değerinden 22.19 değerine, 100 g numune için; 33.29 değerinden 25.47 değerine düşmüştür.

Yapılan matematiksel modelleme sonucunda; birinci dereceden kinetik denkleme ait hız sabiti(k); 20 g numune değerinden 100 g değerine arttırıldığında, 0.0125 dak^{-1} değerinden 0.0057 dak^{-1} değerine azalma göstermiştir. Bu sonuç, gıdanın renginin koyulaşmaya başladığının bir göstergesidir.



Şekil 8.17 Farklı ağırlıklardaki deniz börülcesi numunesine ait L değerlerinin kuruma zamanı ile değişimi (Mikrodalga çıkış gücü= 540 W)

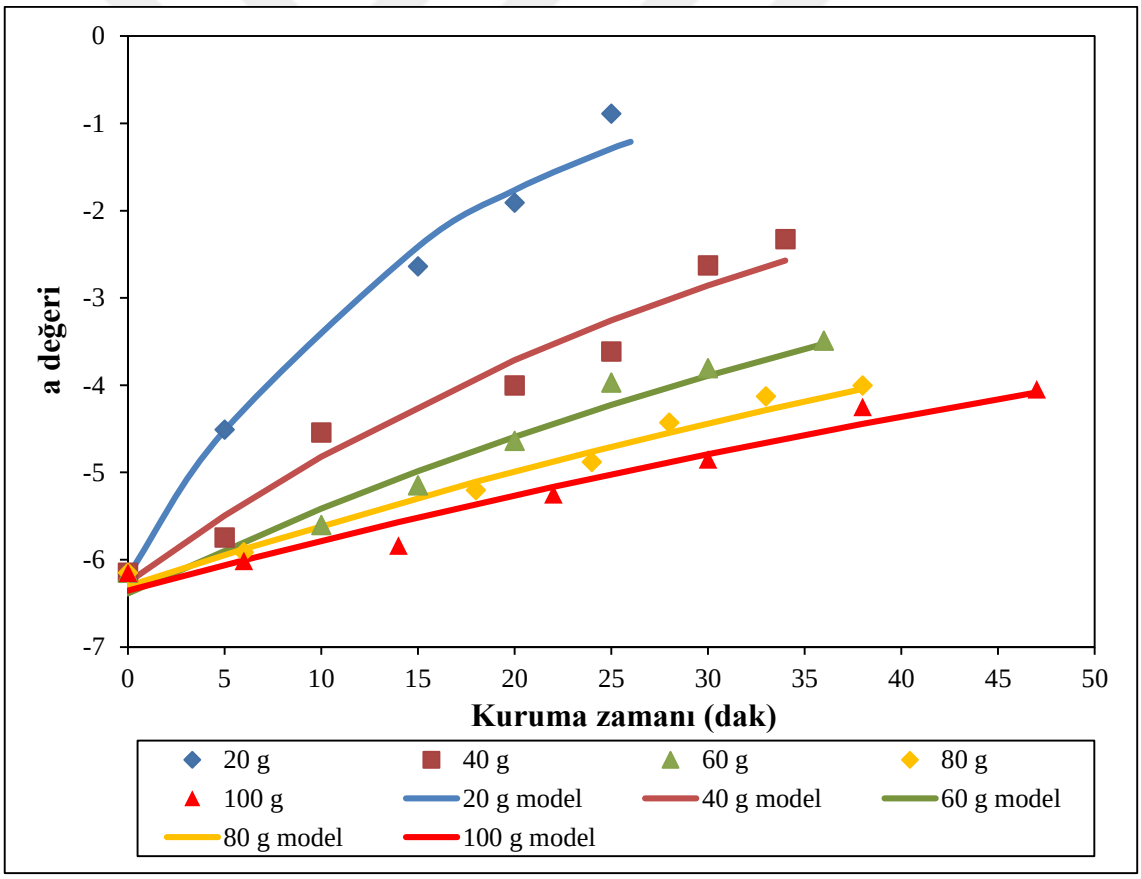
Çizelge 8.15 Farklı ağırlıklardaki deniz börülcesi numunesine ait L değeri için birinci dereceden kinetik denklem kullanılarak elde edilen model sabitleri ve istatistiksel veriler

Numune (g)	**k (dak^{-1})**	**C_0 (birimsiz)**	**R^2**	**δ**
20	0.0125	32.58	0.9925	0.5729
40	0.0096	32.81	0.9784	0.7984
60	0.0079	32.77	0.9910	0.4051
80	0.0071	33.02	0.9971	0.2385
100	0.0057	33.03	0.9976	0.2155

a değeri değişimi

Farklı ağırlıklardaki deniz börülcesi numunesi için elde edilen a değerinin kuruma zamanı ile değişimi Şekil 8.18'de ve matematiksel model sabitleri ve istatistiksel veriler Çizelge 8.16'da verilmiştir. Şekil 8.18'de görüldüğü üzere, a değeri kuruma zamanı boyunca artmıştır. Bu durum, gıdanın renginin yeşilden kahverengiye dönmeye başladığının bir ölçütüdür. a değeri 20 g numune için -6.15 değerinden -0.89 değerine; 100 g numune için -6.15 değerinden -4.05 değerine artış göstermiştir.

Yapılan matematiksel modelleme neticesinde; birinci dereceden kinetik denkleme ait hız sabiti (k); numune ağırlığı 20 g'dan 100 g'a arttırıldığında, Lopez vd. [79] tarafından da belirtildiği gibi düşük miktarlarda gıdanın içinde oluşan ve yüksek sıcaklıkta meydana gelen kahverengi pigmentlerin azalması sonucunda k değeri 0.0683 dak^{-1} değerinden 0.0094 dak^{-1} değerine düşüş göstermiştir.



Şekil 8.18 Farklı ağırlıklardaki deniz börülcesi numunesine ait a değerlerinin kuruma zamanı ile değişimi (Mikrodalga çıkış gücü= 540 W)

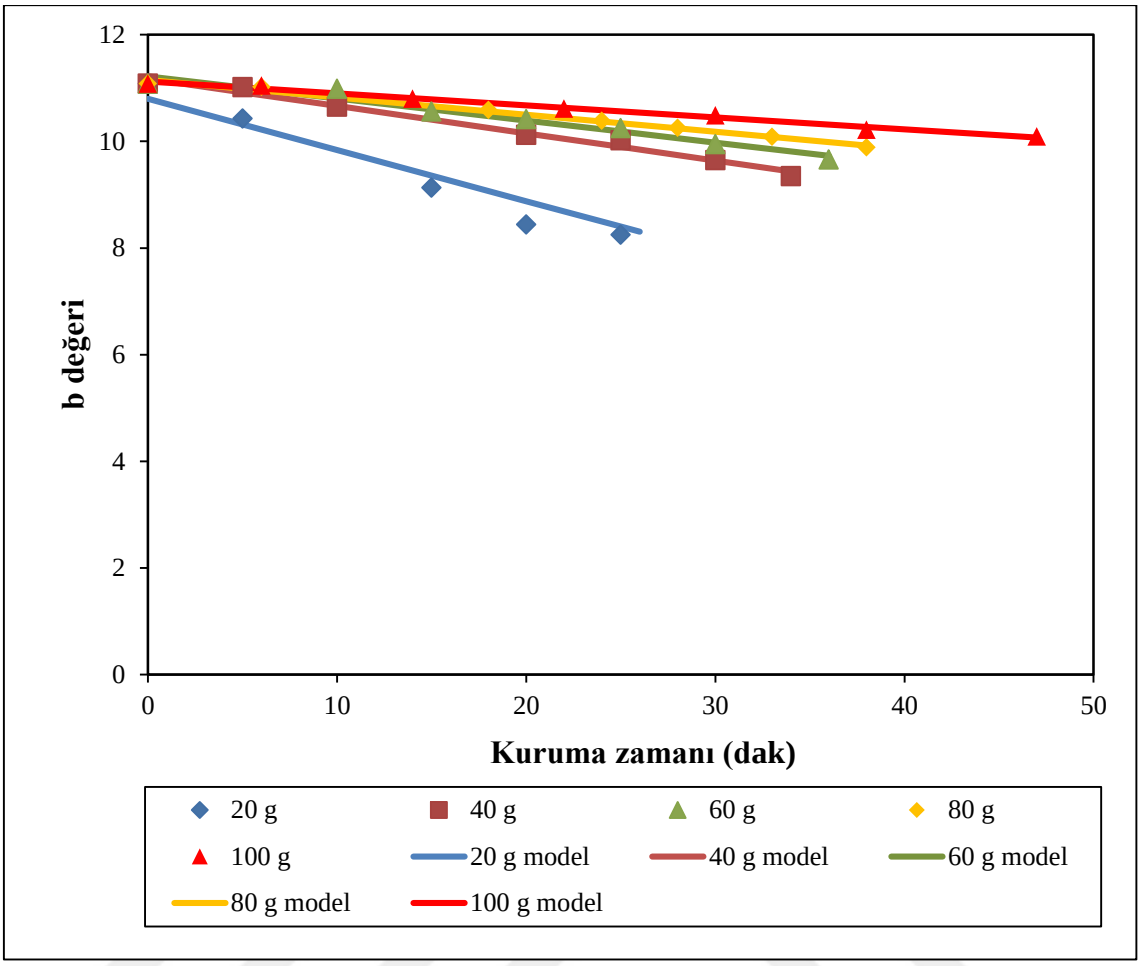
Çizelge 8.16 Farklı ağırlıklardaki deniz börülcesi numunesine ait a değeri için birinci dereceden kinetik denklem kullanılarak elde edilen model sabitleri ve istatistiksel veriler (Mikrodalga çıkış gücü= 540 W)

Numune (g)	**k (dak^{-1})**	**C_0 (birimsiz)**	**R^2**	**δ**
20	0.0683	-6.2725	0.9893	0.3556
40	0.0262	-6.2761	0.9807	0.3108
60	0.0165	-6.3852	0.9752	0.2449
80	0.0117	-6.3036	0.9811	0.1815
100	0.0094	-6.3521	0.9809	0.1811

b değeri değişimi

Farklı ağırlıklardaki deniz börülcesi numunelerinin kurutulması sonucu elde edilen b değerinin kuruma zamanı ile değişimi Şekil 8.19'da ve matematiksel model sabitleri ve istatistiksel veriler Çizelge 8.17'de verilmiştir. Şekil 8.19'da görüldüğü üzere, b değeri kuruma zamanı boyunca düşmüştür. b değeri numune ağırlığı 20 g iken; 11.084 değerinden 8.25 değerine; numune ağırlığı 100 g iken; 11.08 değerinden 10.09 değerine düşmüştür.

Yapılan matematiksel modelleme neticesinde; sıfırıncı dereceden kinetik denkleme ait hız sabiti (k); numune ağırlığı 20 g'dan 100 g'a arttırıldığında, 0.0958 değerinden 0.0224 dak^{-1} değerine artış meydana gelmiştir (Çizelge 8.17).



Şekil 8.19 Farklı ağırlıklardaki deniz börülcesi numunesine ait b değerlerinin kuruma zamanı ile değişimi (Mikrodalga çıkış gücü= 540 W)

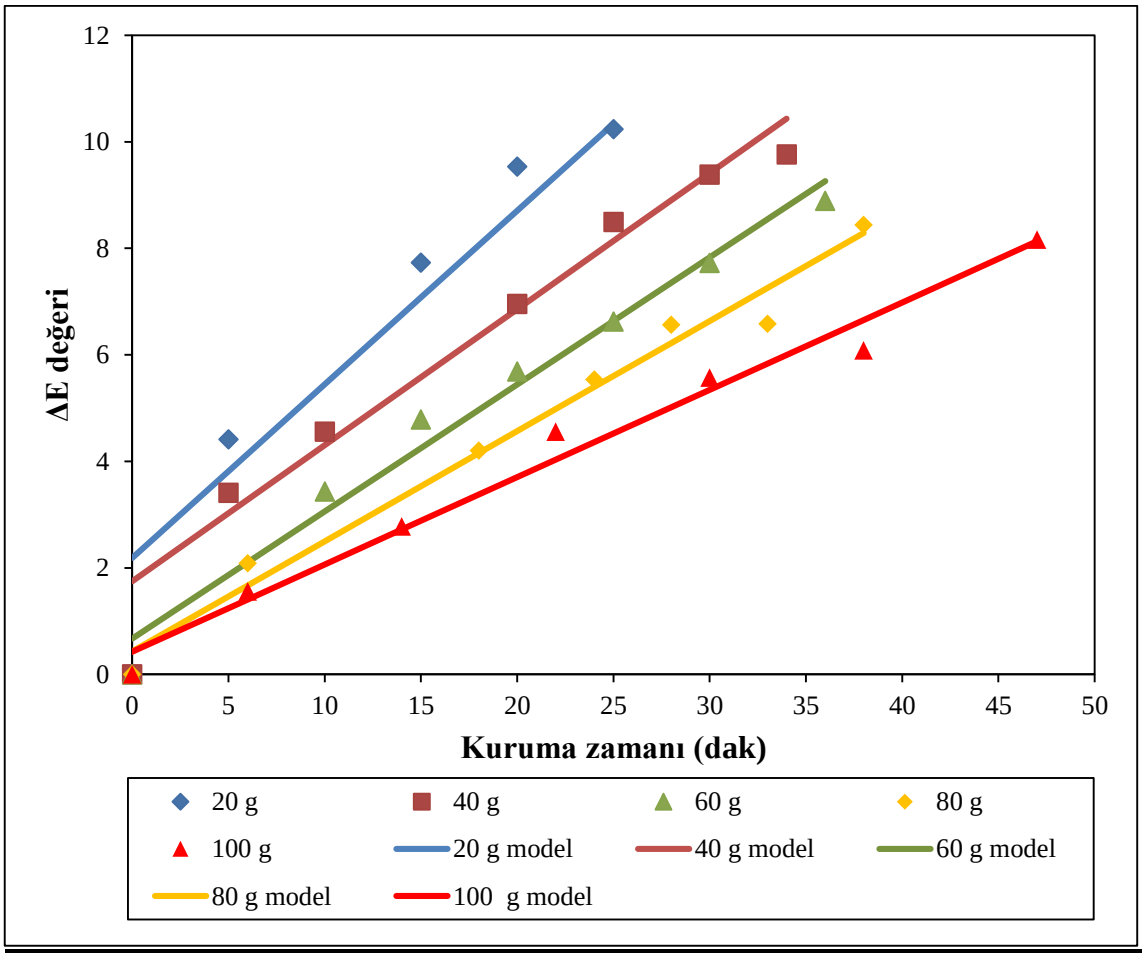
Çizelge 8.17 Farklı ağırlıklardaki deniz börülcesi numunesine ait b değeri için sıfırıncı dereceden kinetik denklem kullanılarak elde edilen model sabitleri ve istatistiksel veriler (Mikrodalga çıkış gücü= 540 W)

Numune (g)	**k (dak^{-1})**	**C_0 (birimsiz)**	**R^2**	**δ**
20	0.0958	10.8001	0.9707	0.3348
40	0.0511	11.1750	0.9845	0.0910
60	0.0413	11.2200	0.9600	0.1136
80	0.0324	11.1500	0.9912	0.0464
100	0.0224	11.1240	0.9890	0.4414

Toplam renk değeri (ΔE) değişimi

Toplam renk değişimi (ΔE) Eşitlik 7.6 kullanılarak hesaplanmıştır. Toplam renk değişimi (ΔE) değerlerinin numune ağırlığına göre kuruma zamanı ile değişiminin grafiksel gösterimi Şekil 8.20'de, matematiksel model sabitleri ve istatistiksel veriler ise Çizelge 8.18'de verilmiştir. Toplam renk değişimi (ΔE) değerleri, numune ağırlığı 20 g iken 13.92 değerine; 100 g iken; 8.13 değerine ulaşmıştır.

Yapılan matematiksel modelleme neticesinde; sıfırıncı dereceden kinetik denkleme ait hız sabiti (k); numune ağırlığı 20 g'dan 100 g'a yükseltildiğinde, 0.3326 dak^{-1} değerinden 0.1640 dak^{-1}değerine azalma göstermiştir.



Şekil 8.20 Farklı ağırlıklardaki deniz börülcesi numunesine ait ΔE değerlerinin kuruma zamanı ile değişimi (Mikrodalga çıkış gücü= 540 W)

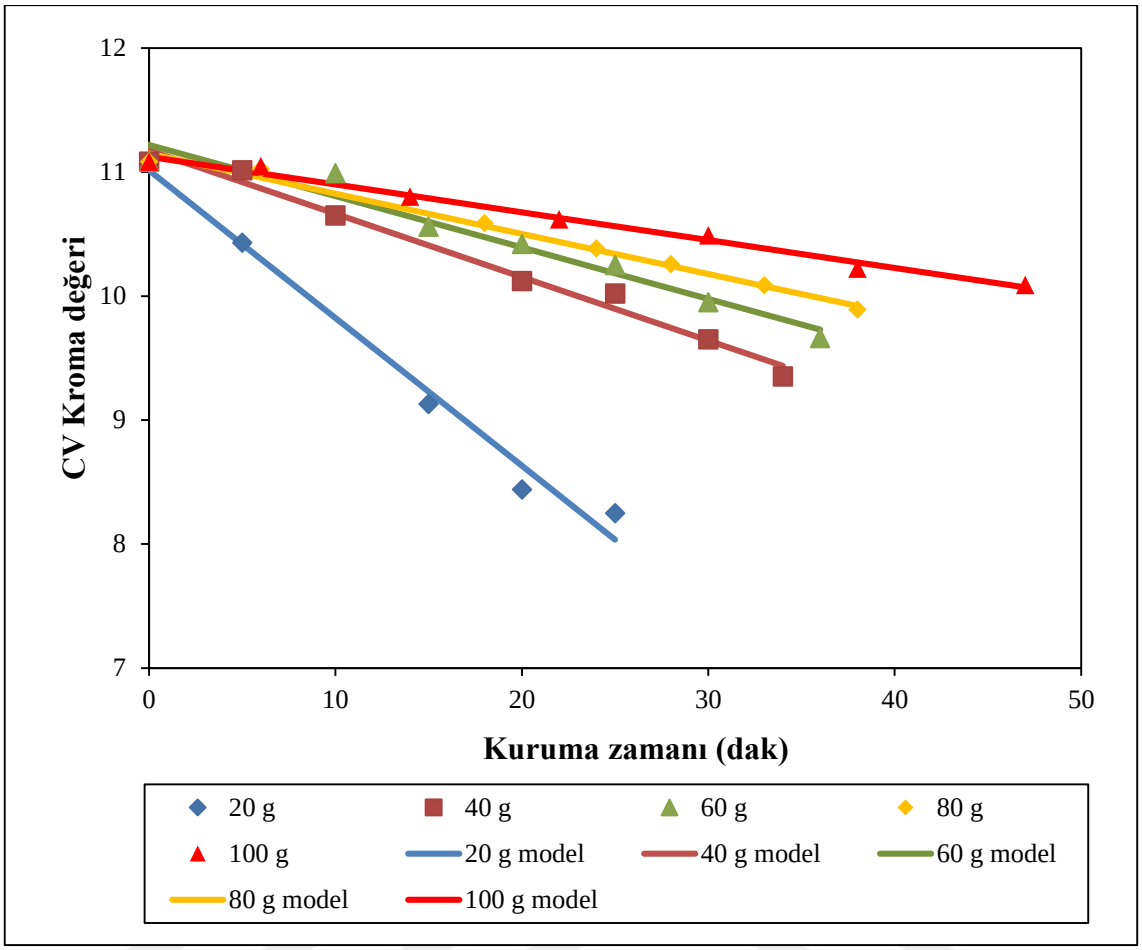
Çizelge 8.18 Farklı mikrodalga çıkış güçlerinde deniz börülcesi numunesine ait ΔE değeri için sıfırıncı dereceden kinetik denklem kullanılarak elde edilen model sabitleri ve istatistiksel veriler (Mikrodalga çıkış gücü= 540 W)

Numune (g)	**k (dak^{-1})**	**C_0 (birimsiz)**	**R^2**	**δ**
20	0.3326	2.1880	0.9566	1.4300
40	0.2554	1.7506	0.9573	1.0941
60	0.2386	0.6721	0.9896	0.4661
80	0.2067	0.4327	0.9903	0.4426
100	0.1640	0.4257	0.9909	0.4156

Kroma (CV) değeri değişimi

Eşitlik 7.7 kullanılarak elde edilen Kroma (CV) değerlerinin numune ağırlığına göre kuruma zamanı ile değişiminin grafiksel gösterimi Şekil 8.21'de, matematiksel model sabitleri ve istatistiksel veriler ise Çizelge 8.19'da verilmiştir. Şekil 8.21 incelendiğinde; Kroma (CV) değerinin kuruma zamanı boyunca azalma gösterdiği görülmüştür. Kroma (CV) değerleri, numune ağırlığı 20 g iken 12.67 değerinden 7.79 değerine; 100 g iken; 11.08 değerinden 10.87değerine düşmüştür.

Yapılan matematiksel modelleme neticesinde; sıfırıncı dereceden kinetik denkleme ait hız sabiti (k); numune ağırlığı 20 g'dan 100 g'a yükseltildiğinde 0.1387 dak^{-1} değerinden 0.0414 dak^{-1} değerine düşüş göstermiştir.



Şekil 8.21 Farklı ağırlıklardaki deniz börülcesi numunesine ait Kroma (CV) değerlerinin kuruma zamanı ile değişimi (Mikrodalga çıkış gücü= 540 W)

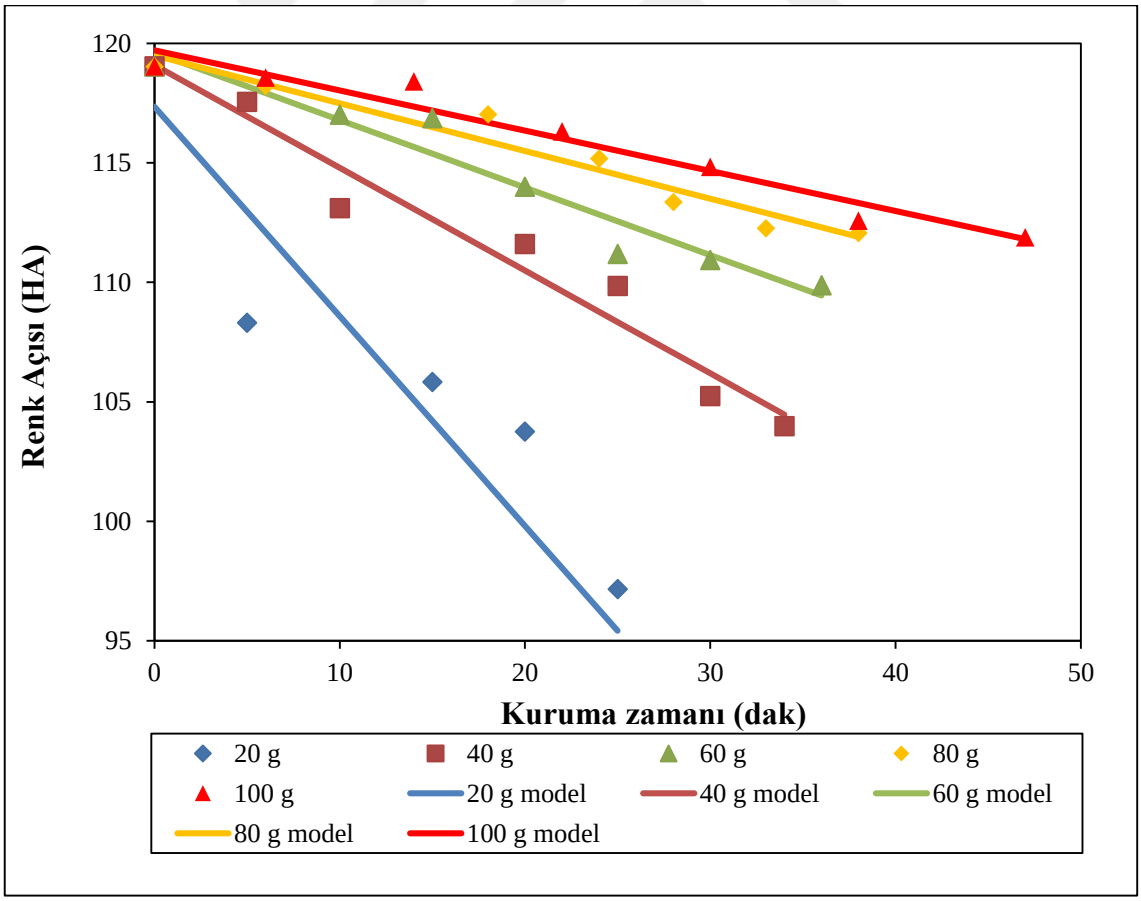
Çizelge 8.19 Farklı mikrodalga çıkış güçlerinde deniz börülcesi numunesine ait Kroma (CV) değeri için sıfırıncı dereceden kinetik denklem kullanılarak elde edilen model sabitleri ve istatistiksel veriler (Mikrodalga çıkış gücü= 540 W)

Numune (g)	**k (dak^{-1})**	**C_0 (birimsiz)**	**R^2**	**δ**
20	0.1387	12.0500	0.9604	0.5684
40	0.0511	11.1750	0.9845	0.0481
60	0.0414	11.2200	0.9600	0.1136
80	0.0324	11.1510	0.9912	0.0465
100	0.0224	11.1240	0.9890	0.0441

Renk Açısı (HA) değişimi

Eşitlik 7.8 kullanılarak elde edilen Renk Açısı (HA) değerleri ve kuruma zamanı ile değişimlerinin gösteren grafiksel gösterim Şekil 8.22'de, matematiksel model sabitleri ve istatistik veriler Çizelge 8.20'de verilmiştir. Şekil 8.22 incelendiğinde; Renk Açısı (HA) değerlerinin kuruma zamanı boyunca azalma gösterdiği belirlenmiştir. Deniz börülcesi numunesinin Renk Açısı (HA) değerleri numune ağırlığı 20 g iken; 119.03 değerinden 90.61 değerine; numune ağırlığı 100 g iken; 119.03 değerinden 111.88 değerine ulaşmıştır.

Yapılan matematiksel modelleme neticesinde; sıfırıncı dereceden kinetik denkleme ait hız sabiti (k); numune ağırlığı 20 g'dan 100 g'a yükseltildiğinde, 0.7410 dak^{-1} değerinden 0.1683 dak^{-1} değerine azalmıştır. Bunun sebebi, uygulanan düşük numune ağırlıklarında gıdanın içerisinde oluşan yüksek sıcaklıklar renk değişimine sebep olan bozunma reaksiyonlarının hızını artırmakta ve rengin daha hızlı değişmesine sebep olmaktadır.



Şekil 8.22 Farklı numune ağırlıklarında kurutulan deniz börülcesi numunesine ait Renk Açısı (HA) değerlerinin kuruma zamanı ile değişimi (Mikrodalga çıkış gücü= 540 W)

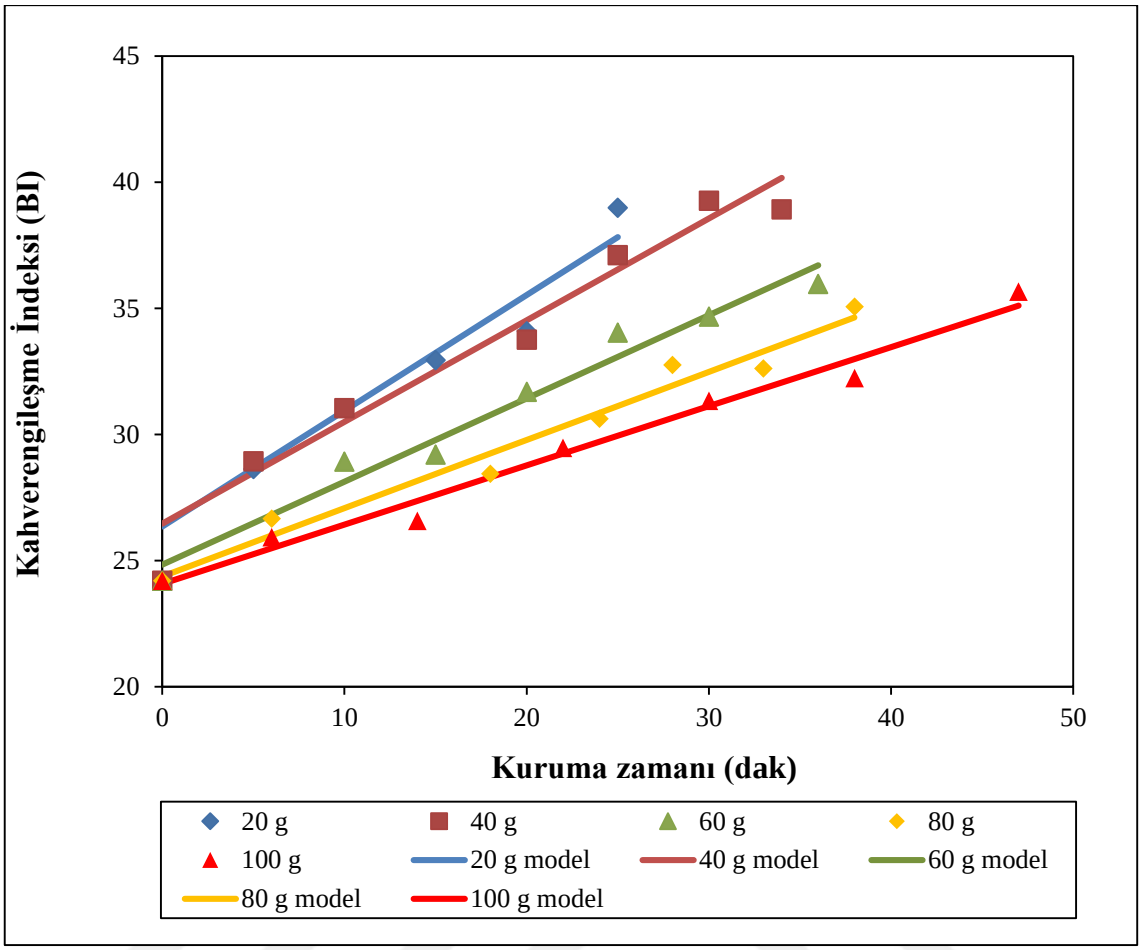
Çizelge 8.20 Farklı numune ağırlıklarında kurutulan deniz börülcesi numunesine ait Renk Açısı (HA) değeri için sıfırıncı dereceden kinetik denklem kullanılarak elde edilen model sabitleri ve istatistik veriler (Mikrodalga çıkış gücü= 540 W)

Numune (g)	**k (dak^{-1})**	**C_0 (birimsiz)**	**R^2**	**δ**
20	0.7410	116.2460	0.9677	2.7268
40	0.4230	119.1001	0.9794	1.2585
60	0.2898	119.8510	0.9662	1.0400
80	0.1984	119.6002	0.9761	0.6740
100	0.1608	119.6003	0.9786	0.6250

Kahverengileşme İndeksi (BI) değişimi

Eşitlik 7.9yardımıyla hesaplanan Kahverengileşme İndeksi (BI) değerlerinin kuruma zamanı ile değişimleri grafiksel olarak Şekil 8.23'te, matematiksel model sabitleri ve istatistik veriler ise Çizelge 8.21'de sunulmuştur. Şekil 8.23'te görüldüğü gibi; Kahverengileşme İndeksi (BI) değerlerinin kuruma zamanı boyunca artış gösterdiği bulunmuştur. Kahverengileşme İndeksi (BI) numune ağırlığı 20 g iken; 24.20 değerinden 38.67 değerine; numune ağırlığı 100 g iken; 24.20 değerinden 32.46 değerine yükselmiştir. Bu durum, uygulanan düşük numune ağırlıklarında enzimatik olan ve enzimatik olmayan reaksiyonlar sonucunda gıdanın renginin meydana gelen kahverengi pigmentlerden dolayı daha koyu bir renge sahip olduğunu göstermektedir [83].

Yapılan matematiksel modelleme neticesinde; sıfırıncı dereceden kinetik denkleme ait hız sabiti (k); numune ağırlığı 20 g değerinden 100 g değerine yükseltildiğinde 0.3626 dak^{-1} değerinden 0.1896 dak^{-1} değerine düşmüştür.



Şekil 8.23 Farklı numune ağırlıklarında kurutulan deniz börülcesi numunesine ait Kahverengileşme İndeksi (BI) değerlerinin kuruma zamanı ile değişimi (Mikrodalga çıkış gücü= 540 W)

Çizelge 8.21 Farklı numune ağırlıklarında kurutulan deniz börülcesi numunesine ait Kahverengileşme İndeksi (BI) değeri için sıfırıncı dereceden kinetik denklem kullanılarak elde edilen model sabitleri ve istatistik veriler (Mikrodalga çıkış gücü= 540 W)

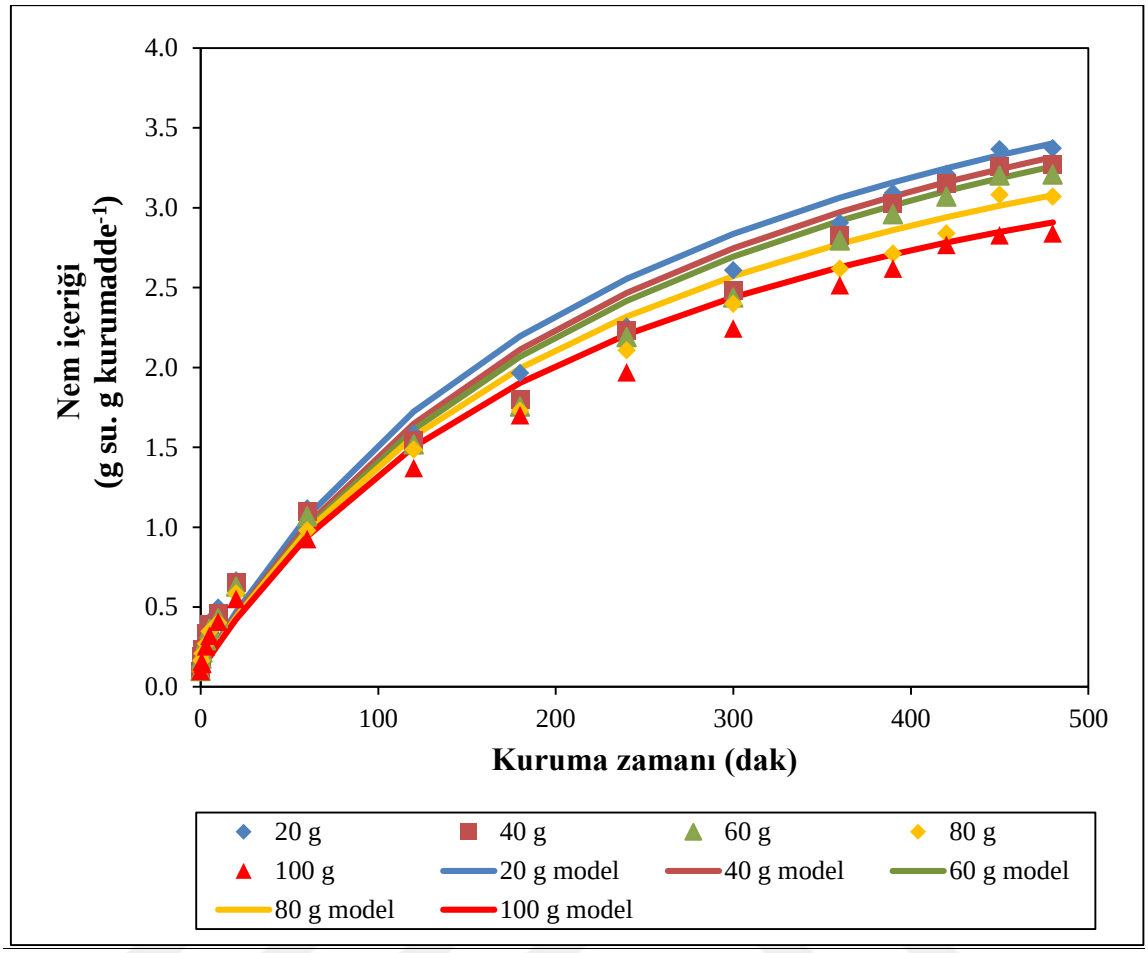
Numune (g)	**k (dak^{-1})**	**C_0 (birimsiz)**	**R^2**	**δ**
20	0.3626	26.1447	0.9586	1.5222
40	0.2800	26.8920	0.9103	1.8080
60	0.2794	24.8501	0.9583	1.1201
80	0.2362	24.6020	0.9611	1.0358
100	0.1896	24.5601	0.9765	0.7815

8.2.3 Deniz Börülcesi Numunesinin Ağırlığının Rehidratasyon Oranı Üzerindeki Etkisi

Mikrodalga yöntemi kullanılarak deniz börülcesi numunesinin 540 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 bekletilmiş ve daha sonra 30°C sıcaklıktaki 250 ml distile suda rehidratasyon işlemine tabi tutulmuşlardır. Belirli zaman aralıklarında numuneler su banyosundan çıkarılmış ve numunelerin yüzeyinde bulunan su fazlası bir kağıt havlu yardımı ile uzaklaştırılarak tartım işlemleri yapılmıştır. Elde edilen tartım değerleri ile rehidratasyon oranı hesaplanmıştır. Elde edilen rehidratasyon oranı değerleri Ek F Çizelge F.1-F.5'te sırası ile verilmiştir.

Yapılan modelleme çalışmaları neticesinde rehidratasyon oranı değerlerinin Peleg modele (Eşitlik 7.16) uygunluk gösterdiği belirlenmiştir. Rehidratasyon miktarının rehidratasyon zamanı ile değişimi için elde edilen deneysel değerler ile kullanılan teorik değerlerin kıyaslanmasını içeren grafiksel gösterim Şekil 8.24'te, matematiksel model sabitleri ve istatistiksel veriler Çizelge 8.22'te sunulmuştur.

Şekil 8.24'de görüldüğü gibi; kurutulan numune miktarı arttıkça geri absorplanan su miktarı azalmaktadır. Kurutma işlemi sonunda elde edilen kuru ürünün kurutulmadan önce içermiş olduğu suyun ancak % 68.40'nı geri absorplayabildiği gözlemlenmiştir. Bu durum kurutulan numunelerin kurutma ve rehidratasyon aşamasında yapılarında bazı değişikliklerin ya da doku farklılıklarının meydana geldiğini göstermektedir [82].



Şekil 8.24 Farklı numune ağırlıklarında kurutulan deniz börülcesi numunesine ait rehidratasyon oranı değerlerinin rehidratasyon zamanı ile değişimi (Mikrodalga çıkış gücü= 540 W, rehidratasyon sıcaklığı= 30°C)

Çizelge 8.22 Farklı numune ağırlıklarında kurutulan deniz börülcesi numunesine ait rehidratasyon oranı değeri için Peleg model kullanılarak elde edilen model sabitleri ve istatistiksel veriler (Mikrodalga çıkış gücü= 540 W, rehidratasyon sıcaklığı= 30°C)

Numune (g)	k_1*	k_2**	R^2	δ
20	57.8833	0.1889	0.9936	0.1479
40	62.1103	0.1844	0.9933	0.1447
60	63.3670	0.1906	0.9944	0.1323
80	64.4285	0.2099	0.9955	0.1124
100	67.1968	0.2256	0.9965	0.0938

* dak.g kuru madde. g su^{-1}; ** g kuru madde. g su^{-1}

8.2.4 Sıcaklığın Deniz Börülcesi Numunesinin Rehidratasyon Oranına Etkisi

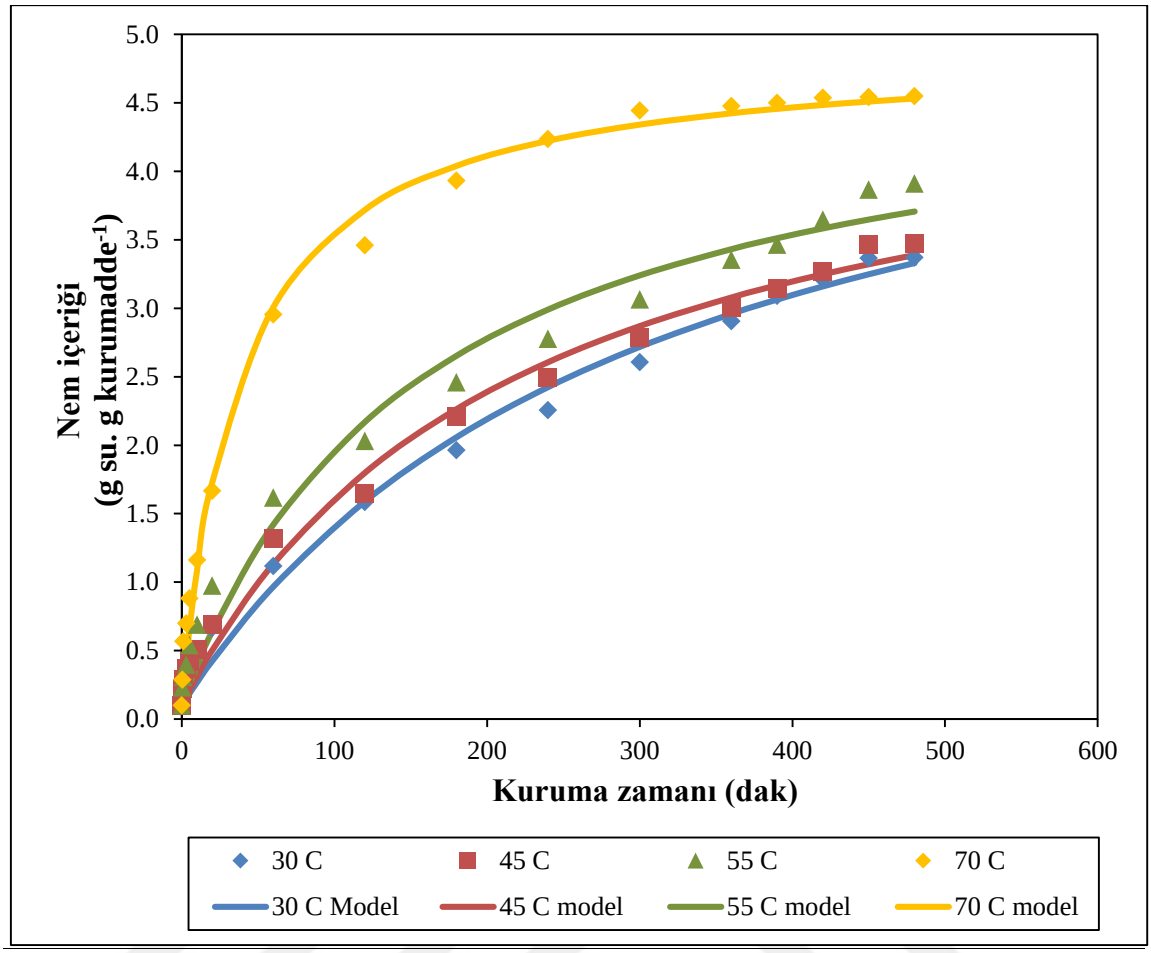
Mikrodalga yöntemi kullanılarak 20 g ağırlığındaki deniz börülcesi numunesinin 540 W sabit mikrodalga çıkış gücünde kurutulması ile elde edilmiş olan kuru ürünler bir gün süre ile desikatörde bekletilmiş ve daha sonra 30, 45, 55 ve 70 ^{o}C sıcaklıklarda 250 ml distile su içerisinde rehidratasyon işlemine tabi tutulmuştur. Belirli zaman aralıklarında alınan numuneler su banyosundan çıkarılmış ve yüzeydeki su kağıt havlu yardımıyla uzaklaştırılıp ölçümler alınmıştır.

Elde edilen tartım değerlerinden rehidratasyon değeri Eşitlik 7.3 kullanılarak hesaplanmış ve Ek G Çizelge G.1-G.3'te sırasıyla verilmiştir. Yapılan modelleme çalışmaları sonucunda; deneysel değerlerin Peleg modele (Eşitlik 7.16) uygunluk gösterdiği saptanmıştır.

Mikrodalga yöntemi kullanılarak 20 g deniz börülcesinin kurutulması işleminin gerçekleştirildiği 540 W mikrodalga çıkış gücünde rehidratasyon oranlarının zamana karşı değişiminin grafiksel gösterimi Şekil 8.25'te, matematiksel model sabitleri ve istatistiksel veriler Çizelge 8.23'de sunulmuştur.

45^{o}, 55^{o}, 70 ^{o}C sıcaklığında uygulanan rehidratasyon işleminde belirli zaman aralıklarında yapılan ölçümlerden; sıcaklığı arttıkça kurutulan 20 g deniz börülcesi numunesinin kurutulmadan önce içermiş olduğu su miktarının en fazla %70'ini geri absorplayabildiği gözlemlenmiştir. Bu durum, kurutulan numunelerin kurutma ve rehidratasyon aşamasında yapılarında bazı değişikliklerin ya da doku farklılıklarının oluştuğunun bir belirtisidir [82].

Yapılan modelleme çalışmaları neticesinde; Peleg modelin yüksek R^2 ve düşük δ değerleri ile deneysel verilere uygunluk gösterdiği saptanmıştır.



Şekil 8.25 Farklı sıcaklıklarda kurutulan deniz börülcesi numunesine ait rehidratasyon oranı değerlerinin rehidratasyon zamanı ile değişimi (Mikrodalga çıkış gücü= 540 W, rehidratasyon sıcaklığı= 30, 45, 55 ve 70°C)

Çizelge 8.23 Farklı sıcaklıklarda kurutulan deniz börülcesi numunesine ait rehidratasyon oranı değeri için Peleg model kullanılarak elde edilen model sabitleri ve istatistiksel veriler (Mikrodalga çıkış gücü= 540 W, numune ağırlığı= 20 g)

Sıcaklık (°C)	**k_1***	**k_2****	**R^2**	**δ**
30	57.8833	0.2092	0.9885	0.1442
45	45.5646	0.2086	0.9900	0.2087
55	32.9481	0.2087	0.9964	0.1567
70	8.1172	0.2092	0.9885	0.1442

* dak.g kuru madde. g su^{-1}; ** g kuru madde. g su^{-1}

8.3 Deniz Börülcesi Numunesine Ait Aktivasyon Enerjilerinin Hesaplanması

8.3.1 Kuruma Kinetiğine Ait Aktivasyon Enerjisinin Hesaplanması

Kurutma kinetiğine ait aktivasyon enerjisinin hesaplanılmasında Arrhenius denklemi esas alınarak türetilen Eşitlik 7.17 kullanılmıştır. ln(k) değerlerine karşılık m/P değerlerinin çizilmesi ile elde edilen eksponansiyel eğrinin eğiminden aktivasyon enerjisi değeri 47.76 ($W.g^{-1}$), pre-eksponansiyel sabit ise 2.832 dak^{-1} olarak bulunmuştur (R^2=0.8558, standart sapma (δ)= 1.2013). Bu çalışmanın faydası, elde edilen aktivasyon enerjisi değeri kullanılarak herhangi bir mikrodalga çıkış gücü ve numune ağırlığı için kuruma kinetiği sabiti olan k değeri bulunabilir.

8.3.2 Renk Değişimi Kinetiğine Ait Aktivasyon Enerjisinin Hesaplanması

Kurutma kinetiğine ait aktivasyon enerjisinin hesaplanılmasında Arrhenius denklemi esas alınarak türetilen Eşitlik 7.17 yararlanılmıştır. 7 farklı renk indisi için kullanılan sıfırıncı ve birinci dereceden kinetik denklemlerin kinetik sabitleri olan k (dak^{-1}) kullanılarak, ln(k) değerlerine karşılık m/P değerlerinin çizilmesi ile bulunan eksponansiyel eğrinin eğiminden aktivasyon enerji değerleri bulunmuş ve bu değerler Çizelge 8.24'de sunulmuştur.

Çizelge 8.24 incelendiğinde; Arrhenius denklemi esas alınarak türetilen eksponansiyel denklem ile kinetik hız sabitleri için aktivasyon enerjisi değerleri yüksek R^2 ve düşük standart sapma (δ) istatistik verileri ile hesaplanmış ve 0.02-3.40 $W.g^{-1}$ değerleri arasında değiştiği belirlenmiştir. Çizelge 8.24'de verildiği üzere; L ve a için bulunan değerler Ea= 0.02 $W.g^{-1}$ (L değeri için) ve Ea= 0.05 $W.g^{-1}$ (a değeri için) diğer değerlere oranla daha düşüktür.

Çizelge 8.24 Deniz börülcesi numunesinin her bir renk indisi değişimi için hesaplanan aktivasyon enerjisi değerleri

Renk indisi	**k_0 (dak^{-1})**	**E_a (W. g^{-1})**	**R^2**	**δ**
L	1.0723	0.02	0.9821	0.0078
a	1.1028	0.05	0.9974	0.0029
b	0.4230	3.40	0.9830	0.2641
ΔE	0.8055	3.02	0..9831	0.2340
CV	0.5703	3.24	0.9834	0.2482
HA	2.0606	2.22	0.9857	0.1537
BI	1.1544	2.93	0.9858	0.2074

8.3.3 Rehidratasyon Kinetiğine Ait Aktivasyon Enerjisinin Hesaplanması

Rehidratasyon kinetiğine ait aktivasyon enerjisinin hesaplanması için Arrhenius denklemi esas alınarak türetilen eksponansiyel denklem Eşitlik 7.17'den yararlanılmıştır. Rehidratasyon oranı değerleri için kullanılan Peleg modelin kinetik sabiti olan k (dak. g kuru madde. g su^{-1}) kullanılarak ln(k) değerlerine karşılık m/P değerlerinin çizilmesi ile elde edilen eksponansiyel eğrinin eğiminden aktivasyon enerjisi değeri 4.89 W.g^{-1}, preeksponansiyel sabit ise 1.5203 dak. g kuru madde. g su^{-1} olarak hesaplanmıştır (R^2= 0.8464, standart sapma (δ)= 1.4988). Bu değerin düşük bulunmasının nedeni uygulanan rehidratasyon sıcaklığının düşük olmasıdır [84].

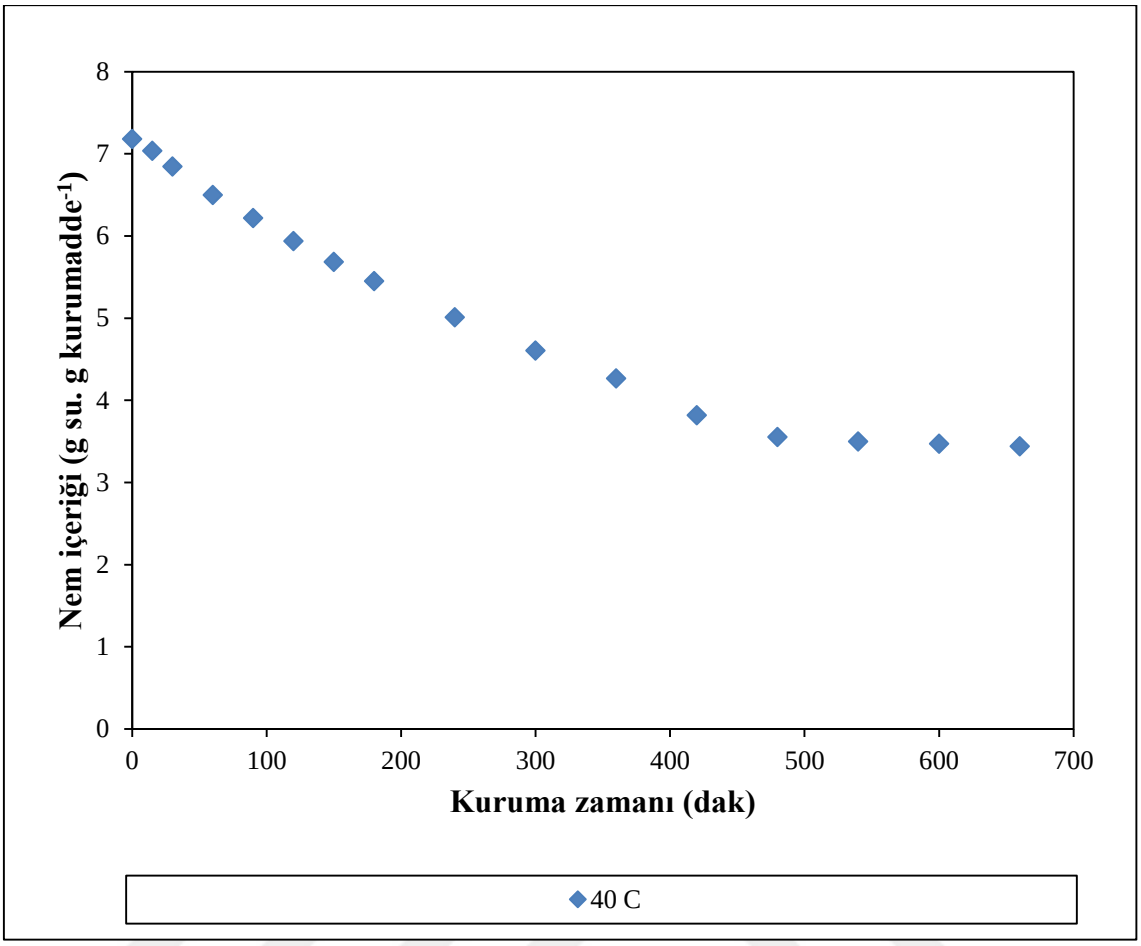
8.4 Deniz Börülcesi Numunesinin Konvansiyonel Kurutulması

8.4.1 Deniz Börülcesi Numunesinin Konvansiyonel Kurutulmasının Kuruma Kinetiği Üzerindeki Etkisi

8.4.1.1 Nem İçeriği Değişimi

Bu çalışmada kullanılan deniz börülcesi numunesinin ortalama toplam nem değeri M_0=7.18 g su. g kuru madde^{-1} olarak bulunmuştur. Konvansiyonel kurutmanın etkisini incelemek için 20 g deniz börülcesi numunesi 40^{o}C sıcaklıkta kurutulmuştur.

Nem içeriği değişimi için elde edilen değerler Ek H, Çizelge H.1'de verilmiş ve Şekil 8.26'da grafiksel olarak sunulmuştur. Şekil 8.26 incelendiğinde 40^{o}C sıcaklıkta konvansiyonel kurutma için deniz börülcesi numunesinin nem içeriğinin 7.18 g su. g kuru madde^{-1}'den 0.47 g su. g kuru madde^{-1} değerine düşmesi 660 dakika sürerken, bu değer mikrodalga ile kurutma yöntemi için en uzun kurutma süresi olan 180 W mikrodalga çıkış gücünde 200 dakika bulunmuştur. Yapılan deneyler sonucunda 20 g deniz börülcesi numunesi için kuruma süresinin, mikrodalga ile kurutma yöntemine göre 3.3 kat arttığı görülmüştür.



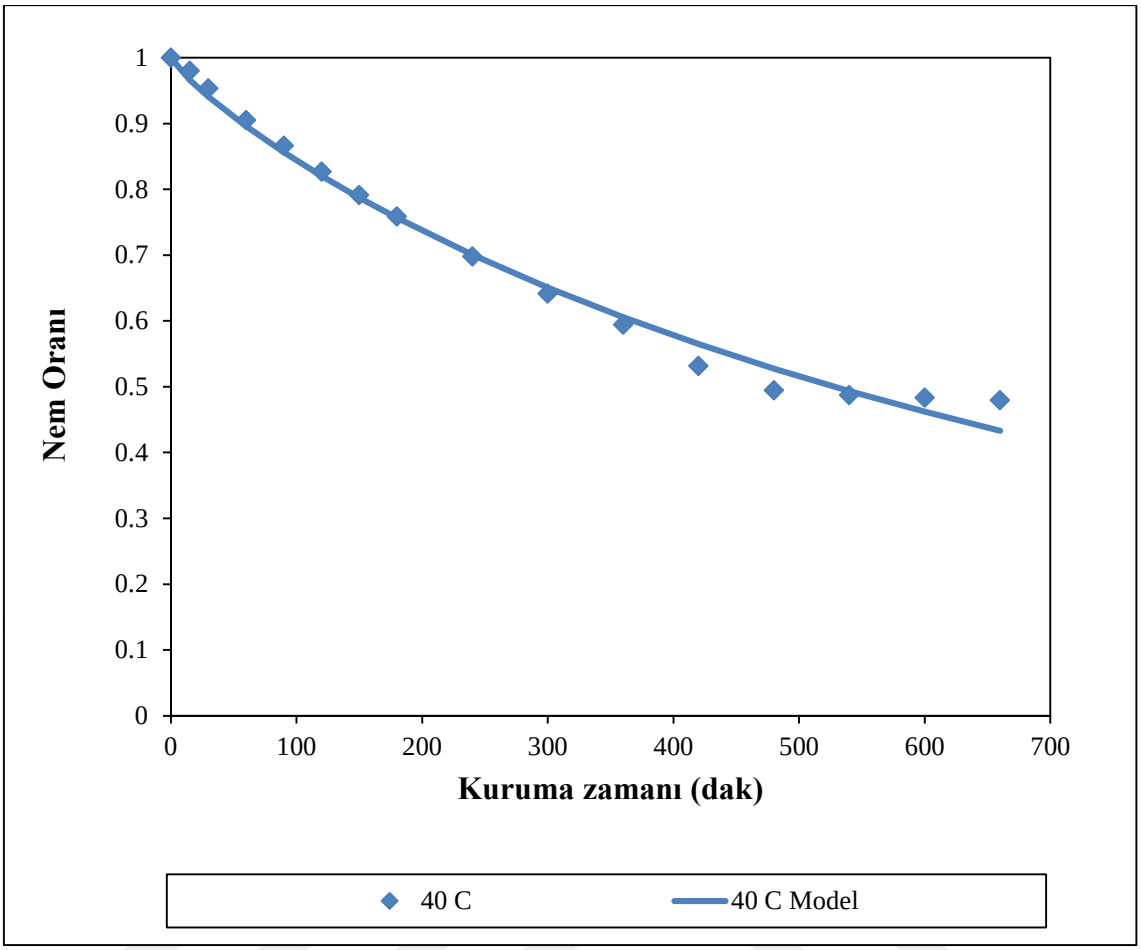
Şekil 8.26 Konvansiyonel kurutma ile deniz börülcesi numunesinin nem içeriğinin kuruma zamanına göre değişimi (Sıcaklık 40ºC)

8.4.1.2 Konvansiyonel Kuruma Kinetiğine Ait Model Çalışmaları

Konvansiyonel kurutma yöntemi kullanılarak 20 g deniz börülcesi numunesinin 40ºC sıcaklıkta kurutulması sırasında elde edilen nem oranı değerlerinin kuruma zamanı ile değişimini içeren deneysel değerler Page modeline uygunluk göstermiştir. Konvansiyonel kurutma ile deniz börülcesi numunesinin nem oranının kuruma zamanına göre değişimi (Sıcaklık 40 ºC) Şekil 8.27'de, model sabitleri ve istatistiksel veriler Çizelge 8.25'te sunulmuştur.

Çizelge 8.25 Konvansiyonel kurutma ile deniz börülcesi numunesine ait kuruma zamanlarına karşılık elde edilen deneysel verilere uyan Page model sabitleri ve istatistiksel veriler

k (dak^{-1})	**n**	**R^2**	**δ**
0.0033	0.8453	0.9948	0.0201



Şekil 8.27 Konvansiyonel kurutma ile deniz börülcesi numunesinin nem oranının kuruma zamanına göre değişimi (Sıcaklık 40°C)

8.4.2 Deniz börülcesi Numunesinin Konvansiyonel Kurutulmasının Renk Değişimi Üzerindeki Etkisi

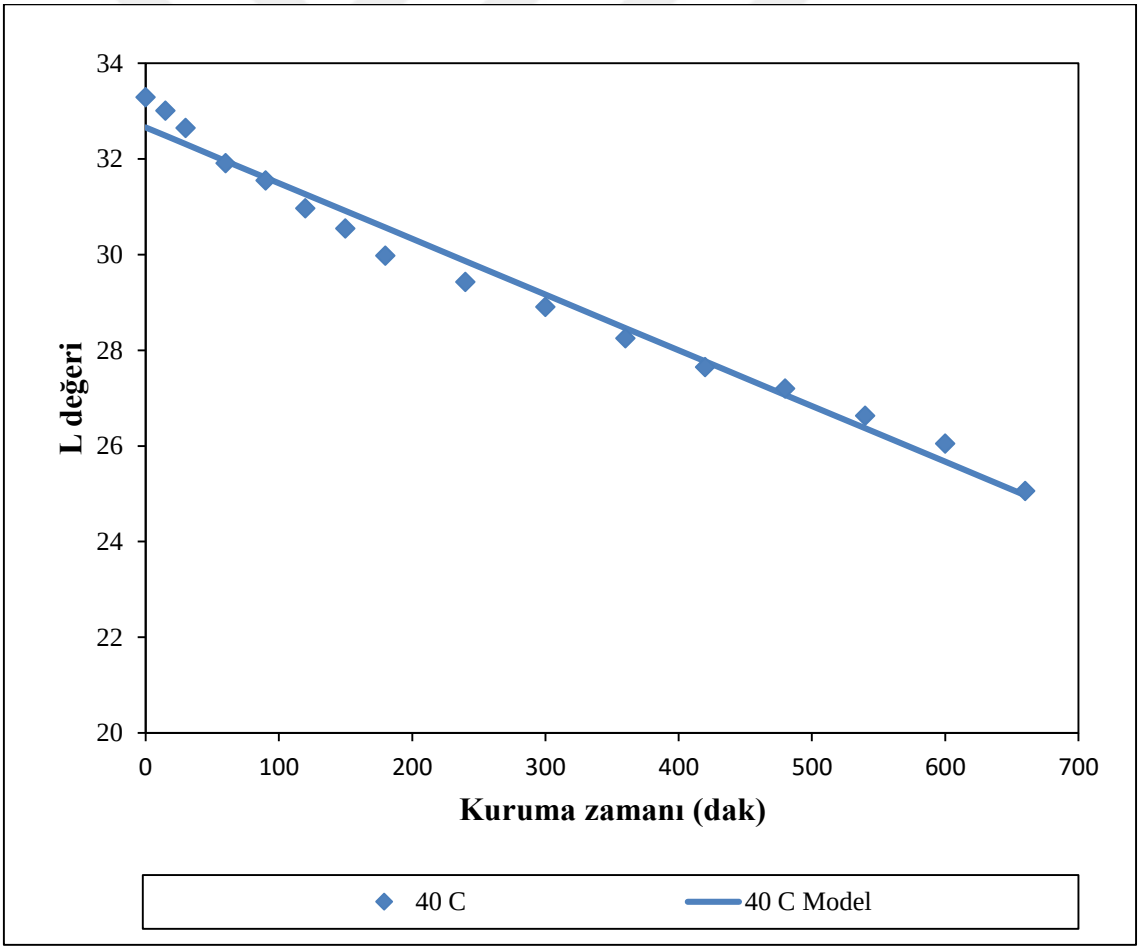
Konvansiyonel kurutma yöntemi kullanılarak deniz börülcesi numunesinin zamana bağlı olarak renk değişimleri renk ölçüm cihazı ile elde edilmiştir. Elde edilen L, a, b ve toplam renk değişimi (ΔE) değerlerine ait deneysel değerler Ek I Çizelge I.1'de sırası ile verilmiştir. Yapılan modelleme çalışmaları neticesinde; elde edilen L, a, b, Kroma (CV), Kahverengileşme İndeksi (BI), toplam renk değişimi (ΔE) ve Renk Açısı (HA) değerlerinin sıfırıncı dereceden kinetik modele (Eşitlik 7.14) uyumluluk gösterdiği gözlenmiştir.

L, a, b, toplam renk değişimi (ΔE), Kroma (CV), Renk Açısı (HA) ve Kahverengileşme İndeksi (BI) değerlerinin kuruma zamanı ile değişimi için elde edilen deneysel değerler ile kullanılan teorik değerlerin karşılaştırılmasını içeren grafiksel gösterim ise Şekil 8.28-

8.34'de, matematiksel model sabitleri ve istatistiksel veriler Çizelge 8.26-8.32'de sırasıyla sunulmuştur.

L değeri değişimi

Konvansiyonel kurutma yöntemi ile deniz börülcesi numunesi için elde edilen L değerinin kuruma zamanı ile değişimi Şekil 8.28'de matematiksel model sabitleri ve istatistiksel veriler de Çizelge 8.26'da verilmiştir. Şekil 8.28'den de görülebileceği gibi, L değeri kuruma zamanı boyunca 33.29 değerinden 25.06 değerine düşmüştür. Yapılan matematiksel modelleme sonucunda; sıfırıncı dereceden kinetik denkleme ait hız sabiti (k); 0.0116 dak^{-1} bulunmuştur. Bu sonuç, gıdanın renginin koyulaşmaya başladığının bir göstergesidir.



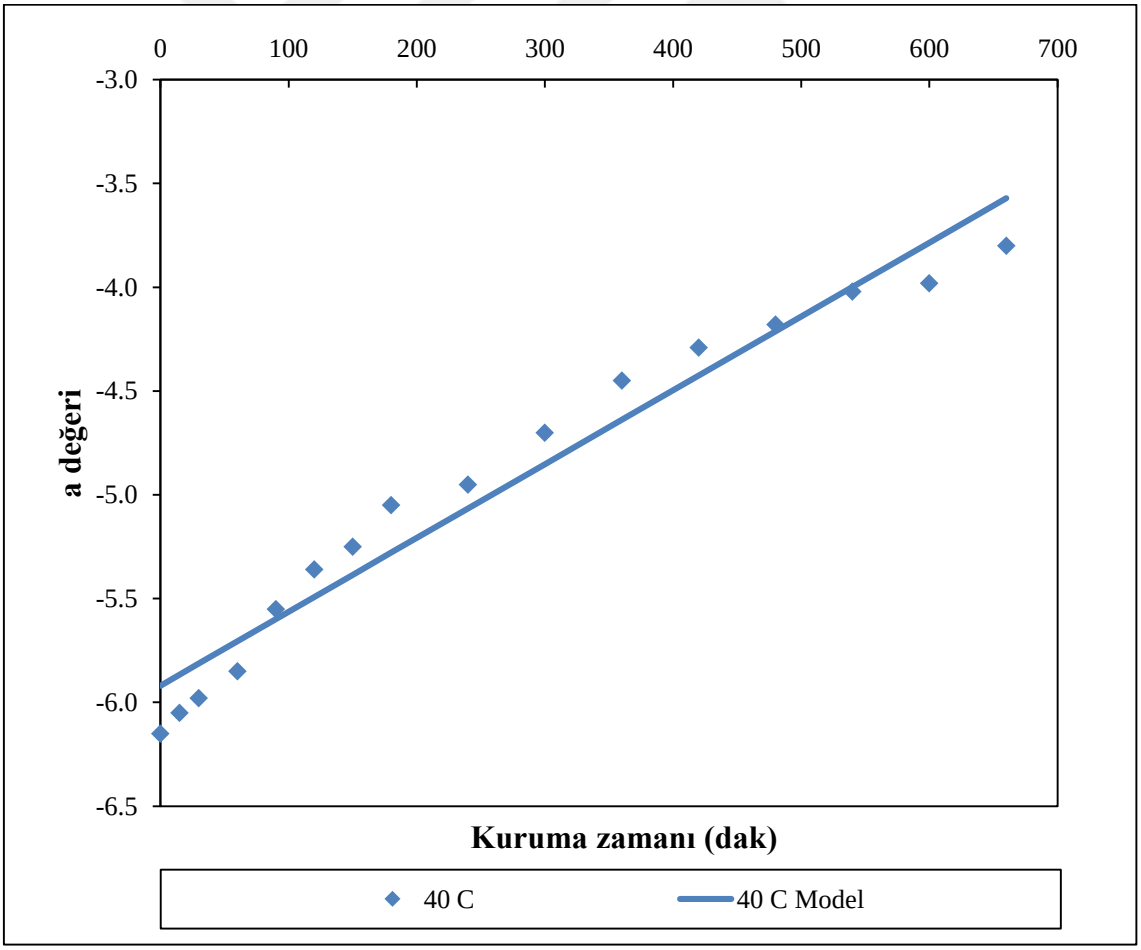
Şekil 8.28 Konvansiyonel kurutma ile deniz börülcesi numunesine ait L değerlerinin kuruma zamanına göre değişimi (Sıcaklık 40°C)

Çizelge 8.26 Konvansiyonel kurutma ile deniz börülcesi numunesine ait L değeri için sıfırıncı dereceden kinetik denklem kullanılarak elde edilen model sabitleri ve istatistiksel veriler

k (dak^{-1})	**C_0 (birimsiz)**	**R^2**	**δ**
0.0116	32.66	0.9904	0.3697

a değeri değişimi

Konvansiyonel kurutma yöntemi ile deniz börülcesi numunesi için elde edilen a değerinin kuruma zamanı ile değişimi Şekil 8.29'de, matematiksel model sabitleri ve istatistiksel verilerde Çizelge 8.27'de verilmiştir. Şekil 8.29'den de görülebileceği gibi, 20 g numune için a değeri kuruma zamanı boyunca -6.15 değerinden -3.80 değerine artış göstermiştir. Yapılan matematiksel modelleme sonucunda; sıfırıncı dereceden kinetik denkleme ait hız sabiti (k); 0.0035 dak^{-1} bulunmuştur.



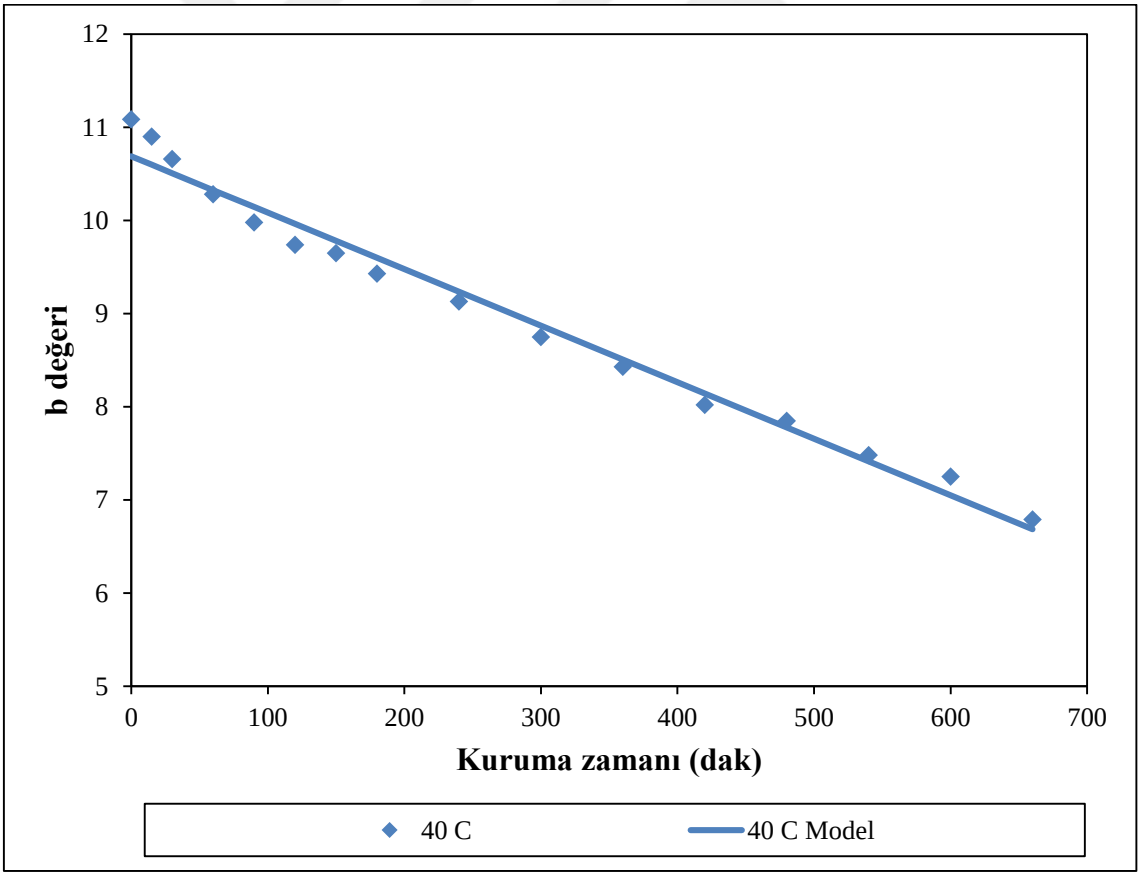
Şekil 8.29 Konvansiyonel kurutma ile deniz börülcesi numunesine ait a değerlerinin kuruma zamanına göre değişimi (Sıcaklık 40°C)

Çizelge 8.27 Konvansiyonel kurutma ile deniz börülcesi numunesine ait a değeri için sıfırıncı dereceden kinetik denklem kullanılarak elde edilen model sabitleri ve istatistiksel veriler

k (dak^{-1})	**C_0 (birimsiz)**	**R^2**	**δ**
0.0035	-5.91	0.9785	0.1708

b değeri değişimi

Konvansiyonel kurutma yöntemi ile deniz börülcesi numunesi için elde edilen b değerinin kuruma zamanı ile değişimi Şekil 8.30'de, matematiksel model sabitleri ve istatistiksel verilerde Çizelge 8.28'de verilmiştir. Şekil 8.30'den de görülebileceği gibi, 20 g numune için b değeri kuruma zamanı boyunca 11.08 değerinden 6.79 değerine azalma göstermiştir. Yapılan matematiksel modelleme sonucunda; sıfırıncı dereceden kinetik denkleme ait hız sabiti (k); 0.0060 dak^{-1} bulunmuştur.



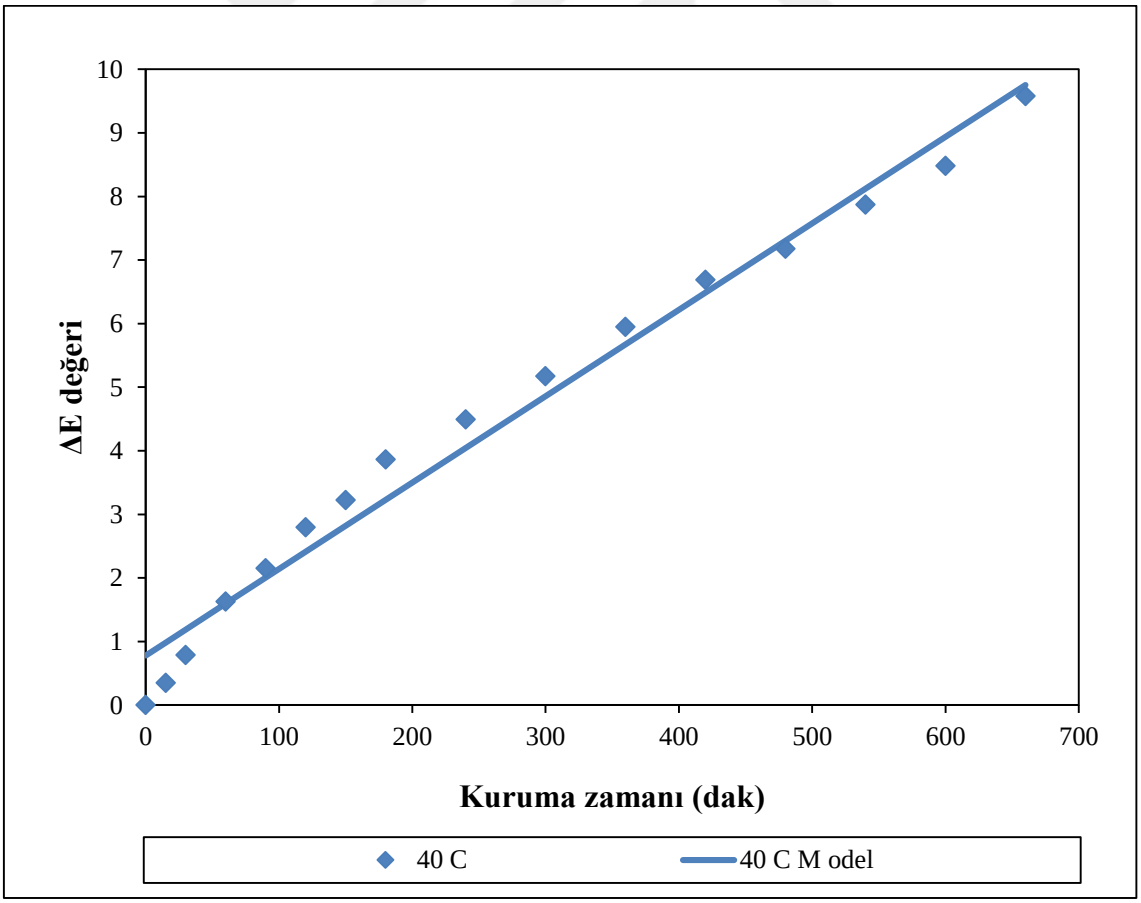
Şekil 8.30 Konvansiyonel kurutma ile deniz börülcesi numunesine ait b değerlerinin kuruma zamanına göre değişimi (Sıcaklık 40^{o}C)

Çizelge 8.28 Konvansiyonel kurutma ile deniz börülcesi numunesine ait b değeri için sıfırıncı dereceden kinetik denklem kullanılarak elde edilen model sabitleri ve istatistiksel veriler

k (dak^{-1})	C_0 (birimsiz)	R^2	δ
0.0060	10.70	0.9908	0.1885

Toplam renk değeri (ΔE) değişimi

Toplam renk değişimi (ΔE) Eşitlik 7.6 kullanılarak hesaplanmıştır. Toplam renk değişimi (ΔE) değerlerinin konvansiyonel yöntem ile kuruma zamanı ile değişiminin grafiksel gösterimi Şekil 8.31'da, matematiksel model sabitleri ve istatistiksel veriler ise Çizelge 8.29'da verilmiştir. Şekil 8.31 incelendiğinde, 20 g numune için (ΔE) değeri kuruma zamanı boyunca 0 değerinden 9.58 değerine artma göstermiştir. Yapılan matematiksel modelleme neticesinde; sıfırıncı dereceden kinetik denkleme ait hız sabiti (k); numune ağırlığı 0.0136 dak^{-1}olarak bulunmuştur.



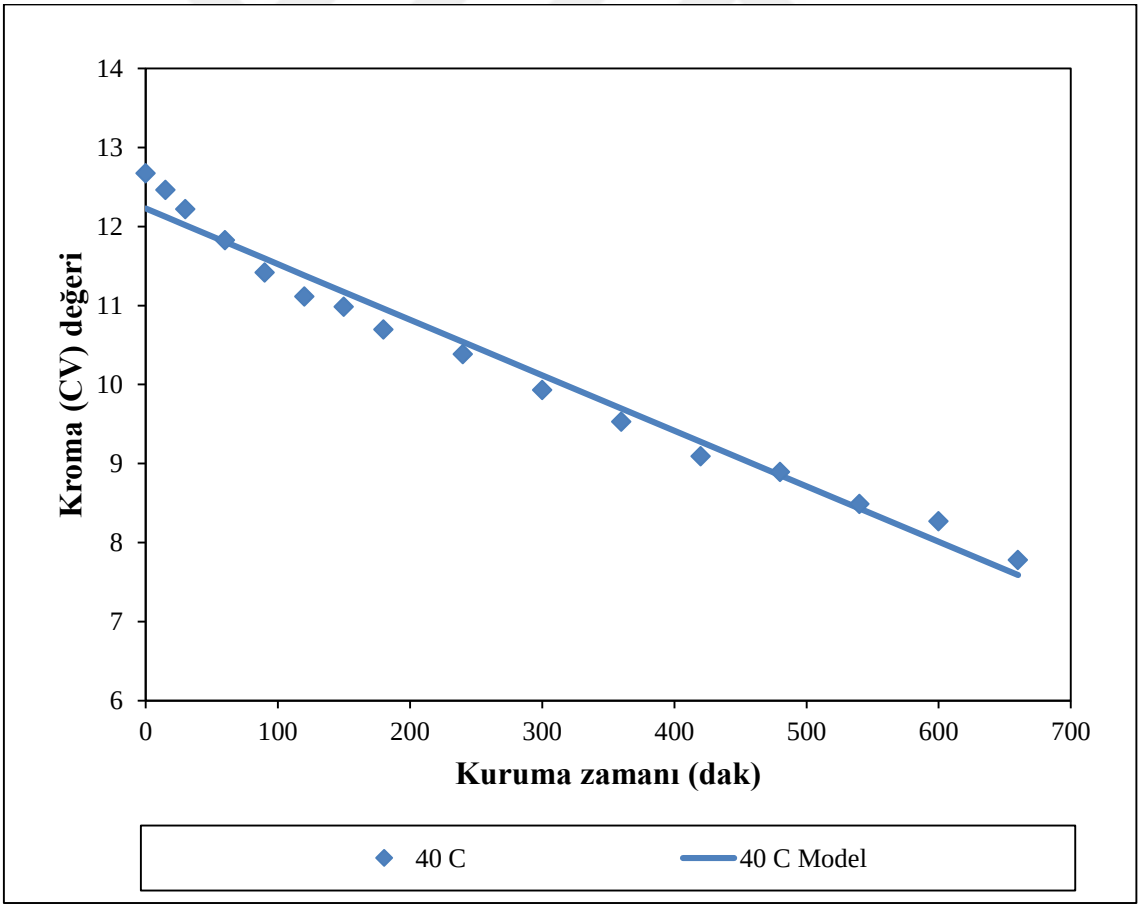
Şekil 8.31 Konvansiyonel kurutma ile deniz börülcesi numunesine ait ΔE değerlerinin kuruma zamanına göre değişimi (Sıcaklık 40^{o}C)

Çizelge 8.29 Konvansiyonel kurutma ile deniz börülcesi numunesine ait ΔE değeri için sıfırıncı dereceden kinetik denklem kullanılarak elde edilen model sabitleri ve istatistiksel veriler

k (dak^{-1})	C_0 (birimsiz)	R^2	δ
0.0136	0.78	0.9903	0.4350

Kroma (CV) değeri

Eşitlik 7.7 kullanılarak elde edilen Kroma (CV) değerlerinin konvansiyonel kuruma zamanı ile değişiminin grafiksel gösterimi Şekil 8.32'de, matematiksel model sabitleri ve istatistiksel veriler ise Çizelge 8.30'da verilmiştir. Şekil 8.32 incelendiğinde; Kroma (CV) değerinin kuruma zamanı boyunca azalma göstermiş olup 12.67 değerinden 7.78 değerine düşmüştür. Yapılan matematiksel modelleme neticesinde; sıfırıncı dereceden kinetik denkleme ait hız sabiti (k); 0.0070 dak^{-1} olarak bulunmuştur.



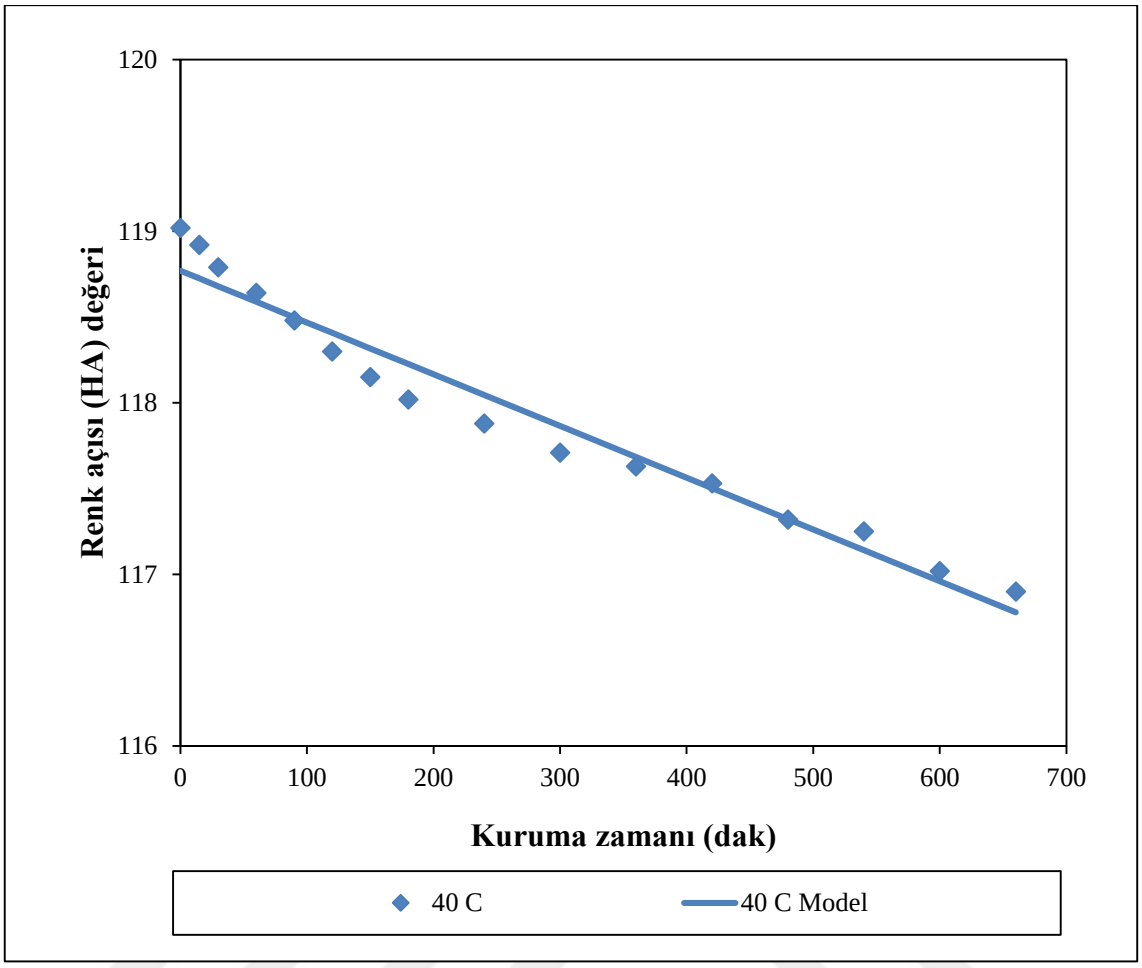
Şekil 8.32 Konvansiyonel kurutma ile deniz börülcesi numunesine ait Kroma (CV) değerlerinin kuruma zamanına göre değişimi (Sıcaklık 40°C)

Çizelge 8.30 Konvansiyonel kurutma ile deniz börülcesi numunesine ait Kroma (CV) değeri için sıfırıncı dereceden kinetik denklem kullanılarak elde edilen model sabitleri ve istatistiksel veriler

k (dak^{-1})	**C_0 (birimsiz)**	**R^2**	**δ**
0.0070	12.22	0.9890	0.2388

Renk Açısı (HA) değişimi

Eşitlik 7.8 kullanılarak elde edilen Renk Açısı (HA) değerleri ve kuruma zamanı ile değişimlerinin gösteren grafiksel gösterim Şekil 8.33'de, matematiksel model sabitleri ve istatistik veriler Çizelge 8.31'de verilmiştir. Şekil 8.33 incelendiğinde; Renk Açısı (HA) değerlerinin kuruma zamanı boyunca azalma göstermiş olup 119.02 değerinden 116.90 değerine düşmüştür. Yapılan matematiksel modelleme neticesinde; sıfırıncı dereceden kinetik denkleme ait hız sabiti (k); numune ağırlığı 0.0030 dak^{-1} değerini olarak bulunmuştur. Bunun sebebi, yüksek sıcaklıklar renk değişimine sebep olan bozunma reaksiyonlarının hızını artırmakta ve rengin daha hızlı değişmesine sebep olmaktadır.



Şekil 8.33 Konvansiyonel kurutma ile deniz börülcesi numunesine ait Renk açısı (HA) değerlerinin kuruma zamanına göre değişimi (Sıcaklık 40^{o}C)

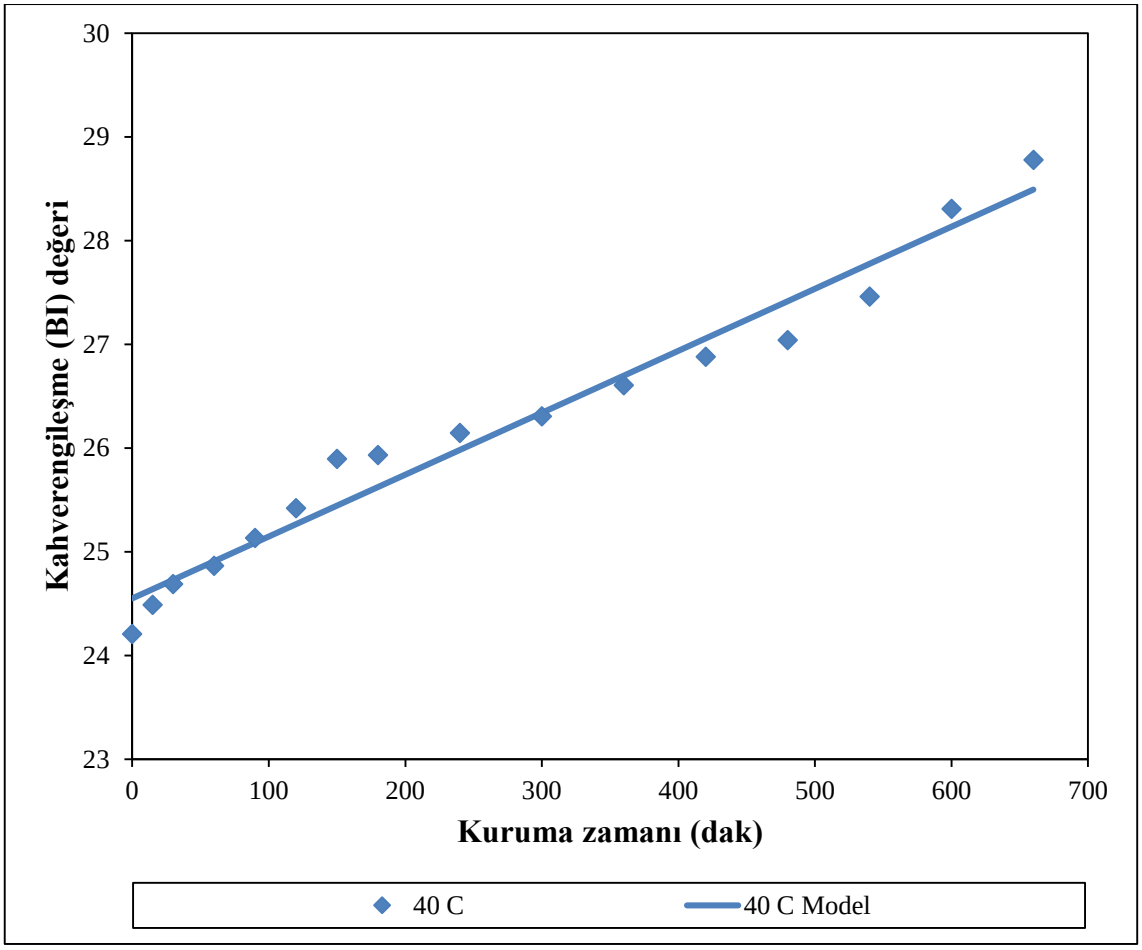
Çizelge 8.31 Konvansiyonel kurutma ile deniz börülcesi numunesine ait Renk açısı (HA) değeri için sıfırıncı dereceden kinetik denklem kullanılarak elde edilen model sabitleri ve istatistiksel veriler

k (dak^{-1})	**C_0 (birimsiz)**	**R^2**	**δ**
0.0030	118.77	0.9792	0.1423

Kahverengileşme İndeksi (BI) değişimi

Eşitlik 7.9 kullanılarak hesaplanan Kahverengileşme İndeksi (BI) değerlerinin kuruma zamanı ile değişimlerinin verildiği grafiksel gösterim Şekil 8.34'de, matematiksel model sabitleri ve istatistiksel veriler Çizelge 8.32'de sunulmuştur. Şekil 8.34 incelendiğinde, Kahverengileşme İndeksi (BI) değeri kuruma zamanı boyunca 24.20 değerinden 28.77 değerine artmıştır. Bu durum gıdanın yüksek sıcaklıklarda enzimatik ve enzimatik

olmayan reaksiyonlar sonucunda oluşan kahverengi pigmentlerden dolayı daha koyu bir renge sahip olduğuna işaret etmektedir. Yapılan matematiksel modelleme neticesinde; sıfırıncı dereceden kinetik denkleme ait hız sabiti (k); 0.0059 dak^{-1} değeri olarak bulunmuştur.



Şekil 8.34 Konvansiyonel kurutma ile deniz börülcesi numunesine ait Kahverengileşme İndeksi (BI) değerlerinin kuruma zamanına göre değişimi (Sıcaklık 40°C)

Çizelge 8.32 Konvansiyonel kurutma ile deniz börülcesi numunesine ait Renk Kahverengileşme İndeksi (BI) değeri için sıfırıncı dereceden kinetik denklem kullanılarak elde edilen model sabitleri ve istatistiksel veriler

k (dak^{-1})	**C_0 (birimsiz)**	**R^2**	**δ**
0.0059	24.55	0.9833	0.2518

BÖLÜM 9

SONUÇLAR ve ÖNERİLER

Bu çalışmada, deniz börülcesi numunelerinin mikrodalga yöntemi ile kurutulmasında uygulanan mikrodalga çıkış gücünün ve sabit mikrodalga çıkış gücünde kurutulan numune ağırlığının kuruma, renk değişimi ve rehidratasyon kinetiği üzerindeki etkileri incelenmiştir. Farklı sıcaklık değerlerinin rehidratasyon kapasitesi üzerine etkileri incelenmiştir. Bununla birlikte, efektif difüzivite katsayısı ve aktivasyon enerjisi değerleri hesaplanmıştır. Ayrıca, konvansiyonel kurutmanın da kuruma ve renk değişim kinetiği üzerindeki etkileri incelenmiştir. Yapılan çalışmalar sonucu elde edilen sonuçlar aşağıda özetlenmiştir.

1. ***Kuruma hızları incelendiğinde***; farklı mikrodalga çıkış güçlerinde ve numune ağırlıklarında kurutulan deniz börülcesi numunesinin mikrodalga çıkış gücü arttıkça ve kurutulan numune ağırlığı azaltıldıkça kuruma sürelerinde azalma olduğu saptanmıştır. Kuruma sürelerinin 180, 360, 540, 720 ve 900 W mikrodalga çıkış güçleri için sırasıyla 200, 53.5, 25, 17 ve 11.5 dakika olduğu tespit edilmiştir.
2. ***Kuruma kinetiği incelendiğinde;*** 4 farklı ince tabaka kurutma modeli; Page model, Henderson ve Pabis model, Lewis model ve Logaritmik model kullanılmış ve uygulanan modeller arasında tüm koşullarda yüksek R^2ve düşük standart sapma (δ) değerlerine sahip olan Page modelin kuruma kinetiğini açıklayan en iyi model olduğu olduğu gözlemlenmiştir.
3. ***Efektif difüzivite katsayısı incelendiğinde*;** uygulanan tüm kurutma koşullarında efektif difüzivite katsayısının (D_{eff}); $0.40x10^{-10} m^2.s^{-1}$değeri ile $6.45x10^{-10}$ $m^2.s^{-1}$, değerleri arasında değiştiği belirlenmiştir.

4. ***Renk değişimleri incelendiğinde;*** yüksek mikrodalga çıkış güçlerinde ve düşük numune ağırlıklarında kurutulan deniz börülcesi numunelerinin rengi farklılaşmıştır. Bunun sebebi olarak yüksek sıcaklıklarda karoten, klorofil pigmentlerinin bozunması nedeniyle kahverengi bileşimlerin oluşması ve karamelizasyon reaksiyonları gösterilebilir. Sıfırıncı dereceden ve birinci dereceden kinetik model olmak kaydıyla iki model kullanılmıştır. Yapılan modelleme çalışmaları neticesinde; L,a değerlerinin birinci dereceden kinetik modele;b, Kroma (CV), toplam renk değişimi (ΔE), Renk Açısı (HA) ve Kahverengileşme İndeksi (BI) değerlerinin değişimlerinin ise sıfırıncı dereceden kinetik denkleme uyumluluk gösterdiği saptanmıştır.

5. ***Rehidratasyon kapasitesi değerleri incelendiğinde;*** kurutulmuş deniz börülcesi numuneleri 30º, 45º, 55º ve 70°C sıcaklıklarda su banyosunda rehidratasyon işlemi uygulanmış ve geri absorplanan su miktarları bulunmuştur. Kurutma sırasında deniz börülcelerinin yapısında oluştuğu düşünülen bozunmalardan dolayı kuru deniz börülcesi numunesinin taze nem oranına ulaşacak kadar su absorplayamadığı belirlenmiştir. Sıcaklıkla birlikte absorplanabilen su miktarınında arttığı gözlenmiştir. Kurutma sırasında deniz börülcelerinin yapısında oluştuğu düşünülen bozunmalardan dolayı kuru deniz börülcesi numunesinin taze nem oranına ulaşacak kadar su absorplayamadığı belirlenmiştir. Geri absorplanan su miktarının rehidratasyon zamanı ile değişiminin açıklanabilmesi için Peleg model kullanılmış ve bu modelin deniz börülcesi numunesi rehidratasyon oranı değerleri ile uyumlu olduğu anlaşılmıştır.

6. ***Aktivasyon enerjisi değerleri incelendiğinde;*** deniz börülcesi numunesinin mikrodalga yöntemi ile kurutulması sırasında kuruma kinetiği için aktivasyon enerjisi değerinin 47.76 $W.g^{-1}$ olduğu belirlenmiştir. Renk değişim kinetiği için aktivasyon enerjileri hesaplanmış ve her bir renk değişim indisi için elde edilen aktivasyon enerjisi değerleri 0.02-3.40 $W.g^{-1}$ değerleri arasında olduğu görülmüştür. 30^0C sıcaklıkta gerçekleştirilen rehidratasyon işlemi için E_a= 4.899 $W.g^{-1}$ olarak bulunmuştur.

7. ***Konvansiyonel kurutma için;*** 40 ºC sıcaklıkta konvansiyonel kurutma için gereken sürenin 20 g numune için 660 dakika olduğu, minimum 180 W mikrodalga çıkış gücü kullanıldığında (200 dakika) bu sürenin 3.3 katı olduğu bulunmuştur. Renk değişimi incelendiğinde, deniz börülcesi numunelerinin renginin farklılaştığı

görülmüştür. Bunun sebebi olarak yüksek sıcaklıklarda karoten, klorofil pigmentlerinin bozunması nedeniyle kahverengi bileşimlerin oluşması ve karamelizasyon reaksiyonları gösterilebilir. Sıfırıncı dereceden ve birinci dereceden kinetik model olmak kaydıyla iki model kullanılmıştır. Yapılan modelleme çalışmaları neticesinde; L, a, b, Kroma (CV), toplam renk değişimi (ΔE), Renk Açısı (HA) ve Kahverengileşme İndeksi (BI) değerlerinin değişimlerinin sıfırıncı dereceden kinetik denkleme uyumluluk gösterdiği saptanmıştır.

Bundan sonraki çalışmalarda numunelerin mikrodalga tekniği ile kurutulması sırasında;

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

2. Su aktivitesi ve büzüşme oranları incelenebilir.

3. Kurutma sırasında dokuda meydana gelen değişimler incelenebilir.

KAYNAKLAR

[1] Nummer, A. B., National Center for Home Food Preservation, http://nchfp.uga.edu/publications/nchfp/factsheets/food_pres_hist.html, 1 Ağustos 2016.

[2] UNIDO, (2004). Uluslar arası Gıda Güvenliği ve Saklama Yöntemleri Çalışma Program Raporu, Kocaeli.

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

[4] Schoolworkhelper, Food Preservation : History, Methods, Types, http://schoolworkhelper.net/foood-preservation-history-methods-types,3 Ağustos 2016.

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

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

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

[8] Sharaf-Eldeen, Y. I., Blaisell, J.L ve Hamdy, M.Y., (1979). "Falling Rate Drying of Fully Exposed Biological Materials: A Review of Mathematical Models", Pap ASAE For Presantation at The Winter Meet, 11 December 1979, LA.

[9] Babalis S.J., Papanicolau, E., Kyriakis, N. ve Belessiotis, V.G., (2006). "Evaluation of Thin-layer Drying Models for Describing Drying Kinetics of Fig (Ficus carica)", Journal of Food Engineering, 75:205-214.

[10] Lewis, W.K., (1921). "The Rate of Drying of Solid Materials", Industrial Engineering Chemistry, 13:427-443.

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

[12] Henderson, S. M. ve Pabis, S., (1961). "Grain drying theory I: Temperature effect on drying coefficient", Journal of Agriculture Research Engineering, 6:169-174.

[13] Yaldiz, O., Ertekin, C. ve Uzun, H.I., (2001). "Mathematical modeling of thin layer solar drying of sultana grapes, Energy, 26:457-465.

[14] Yaldiz, O. ve Ertekin, C., (2001). “Thin layer solar drying of some vegetables”, Drying Technology, 19: 583-597.
[15] Wang, C. N. ve Singh, R. P., (1978). A Single layer drying equation for rough rice, American Society of Agricultural Engineers, St. Joseph.
[16] Midilli, A., Küçük, H. ve Yapar, Z., (2002). “A new model for single-layer drying”, Drying Technology, 20(7):1503-1513.
[17] Krokida, M. K., Karathanos, V. T., Maroulis, Z.B. ve Marinos-Kouris, D., (2003). “Drying Kinetics of Some Vegetables “, Journal of Food Engineering, 59:391-403.
[18] Pratt, G.H., (1974). Timber Drying Manual, Building Research Establishment Report, Londra.
[19] Dadalı, G., (2007). Bamya ve Ispanağın Mikrodalga Tekniğini Kullanarak Kurutulması, Doku ve Renk Özelliklerinin İncelenmesi ve Modellenmesi, Yüksek Lisans Tezi, YTÜ Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.
[20] Heldman, D., R. ve Hartel, R., W., (1997). Principles of Food Processing, 1st Edition, Chapman & Hall Publication, New York.
[21] Cemeroğlu, B., Karadeniz F. ve Özkan M., (2003). “Meyve ve Sebze İşleme Teknolojisi, Bölüm: Kurutma Teknolojisi”. Gıda Teknolojisi Derneği Yayınları, 28:541-675
[22] Potter, N.N. ve Hotchkiss, H., (1998), Food Science, Chapman & Hall Publication, New York.
[23] Franzen, K.A., (1988). Nonenzymatic Browning of Skim Milk During Dehydration, M.S. Thesis, Purdue University, West Lafayette.
[24] Marty-Audouin, C., Lebert, A. ve Rocha-Mier, T., (1992). Influence of drying on the color of plant products in Drying of solids, Oxford & IBH Publishing Co., New Delhi.
[25] Tee, E.S., (1992). “Carotenoids and Retinoids in Human Nutrition”, Critical Reviews in Food Science and Nutrition, 31:103-163.
[26] Van Boekel, M.A.J.S., (2001). “Kinetic Aspects of The Maillard Reaction: a Critical Review, Nahrung, 45: 150–159.
[27] Okos, M.R., Campanella, O., Narsimhan, ve Weitnauer, A.C., (2007). Food Dehydration: Handbook of Food Engineering, Taylor and Francis Group, London.
[28] Labuza, T., Tannenbaum, S. ve Karel, M., (1970). “Water content and stability of low-moisture and intermediate-moisture foods, food technol., 24(5):543–544.
[29] Labuza, T. ve Saltmarch, M., (1981). The nonenzymatic browning reaction as affected by water in foods, in Water activity: Influence on food quality, Academic Press, New York.
[30] Eskin, N.A.M., Henderson, H.M. ve Townsend, R.J., (1971). “Biochemistry of Foods”, Academic Press, New York.
[31] Saguy, I. ve Karel, M., (1980). “Modelling of quality deterioration during food processing and storage”, Food Technology, 78:84.
[32] 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.
[33] 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.

[34] 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.
[35] Fellows, P.J., (2000). Food Processiıng Technology, 2nd Edition, Woodhead Publishing, Cambridge.
[36] Gürses, A.Ü. (1986). Ders Kitabı : Gıda İşleme Mühendisliği, Ankara Üniversitesi Ziraat Fakültesi Yayınları, Ankara.
[37] Günerkan, H., (2005). "Endüstriyel kurutma sistemleri", Türk Tesisat Mühendisleri Derneği Dergisi, 36(13):1-10.
[38] T.C. MİLLÎ EĞİTİM BAKANLIĞI (2007). Megep Gıda Teknolojisi, Ankara.
[39] http://www.dryerturk.com/?L=TR&mid=256, 12 Eylül 2016.
[40] www.foodproductdesign.com, 12 Eylül 2016.
[41] Strumıllo, C. Ve Kudra, T., (1986). Drying: Principles, Applications and Design, Gordon and Breach Science Publishers, New York.
[42] Grabowski, S., Mujumdar A.S., Ramaswamy H.S. ve Strumillo, C., (1997). Evaluation of fluidized versus spouted bed drying of baker's yeats, drying technology, 15:625-634.
[43] Türkoğlu, S., (2010). Sudaki Fenolik Kirleticilerin Farklı Adsorplayıcılara Adsorpsiyonu ve Katının Mikrodalga Rejenerasyonu, Yüksek Lisans Tezi, Ankara Üniversitesİ Fen Bilimleri Enstitüsü, Ankara.
[44] Jones, D.A., Lelyveld, T.P., Mavrofidis, S.D. ve Kingman, S.W., (2002). "Microwave Heating Applications in Enviromental Engineering: A Review, Conservation and Recycling, 34:75-95.
[45] Microwave Oven, http://www.smecc.org/microwave_oven.htm, 11 Eylül 2016.
[46] Yağcıoğlu, A., (1999). "Tarım Ürünleri Kurutma Tekniği", Ege Üniversitesi Ziraat Fakültesi Ofset Atölyesi, Yayın No:536, İzmir.
[47] Karaaslan, S., (2008). Sebze ve Endüstri Bitkilerinin Mikrodalgayla Kurutulması Üzerine Çalışmalar, Doktora Tezi, Çukuruova Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Adana.
[48] Ulcay, Y ., Akyol, M., ve Gemci, R., (2002). "Polimer Esaslı Lif Takviyeli Kompozit Malzemelerin Arabirim Mukavemeti Üzerine Farklı Kür Metotlarının Etkisinin İncelenmesi", Uludağ Üniversitesi Mühendislik ve Mimarlık Fakültesi, 1(7):93–116.
[49] http://www.upv.es/gcm/docente/magnetron.html, 12 Eylül 2016.
[50] Singh R.P. ve Holdman D.R., (2001). Introduction to Food Engineering, 2nd Edition, Academic Press, London.
[51] Schubert, H. ve Reiger, M., (2005). The Microwave Processing of Foods, Woodhead Publishing Limited, Abington.
[52] T.C. MİLLİ EĞİTİM BAKANLIĞI, (2011). Elektrik Elektronik Teknolojisi Mikrodalga Fırınlar, Ankara.
[53] Zeybek, N., (1969). İzmir iç körfez sahil halofitlerinin ekolojik ve fizyolojik özellikleri ile ilgili bir inceleme, Ege Üniversitesi Ilmi Raporlar Serisi, Bornova.
[54] Bailey, LH., (1963). The Standart Cyclopedia of Horticulture, The Macmillan Company, New York.
[55] Attia, FM., Alsobayel, AA., Kriadees, MS., Al-Saiady, MY. ve Bayoumi, MS., (1977). "Nutrient composition and feeding value of Salicornia bigelovii", Animal Feed Science Technology, 65:257-263.
[56] Glenn E.P., Brown, L.J. ve Blumwald, E., (1999). "Salt tolerance and crop potential of halophytes", Crit Rev in Plant Sci, 18(2):227-255.

[57] Salicornia, www.revolvy.com/main/index.php?s=Salicornia&item_type=topic, 12 Eylül 2016.
[58] Sunal, B., (2015), deniz börülcesi nerede yetişir, www.makaleler. com/deniz-börülcesi-nerede-yetişir, 12 Eylül 2016.
[59] Kadereit, G., Beer, S., Ball, P., Freitag, H., Yaprak, A., Mucina, L., Teege, P. ve Sokoloff, D., (2007). "A Taxonomic Nightmare Comes True: Phylogeny and Biogeography of Glassworts (Salicornia L., Chenopodiaceae)", Taxon, 56(4):1143-1170.
[60] Bualuang, O., Onwude, D. ve Pracha, K., (2017). "Microwave drying of germinated corn and its effect on phytochemical properties", Journal of the Science of Food and Agriculture.
[61] Correa, J., Junqueira, J. ve Ernesto, D., (2017). "Microwave, convective and intermittent microwave–convective drying of pulsed vacuum osmodehydrated pumpkin slices", Journal of Food Processing and Preservation, 0:e13250.
[62] Karataş, F., Baysar, A. ve Alpaslan, M., (2017). "A comparison of vitamin and folic acid levels of sun and microwave dried Capsicum annuum L", 00:e13275.
[63] Abano, E., (2016). "Kinetics and Quality of Microwave-Assisted Drying of Mango (Mangifera indica)", International Journal of Food Science, Vol. 2016.
[64] Doymaz, İ., Kıpçak, A.Z. ve Pişkin, S., (2015). "Microwave Drying of Green Bean Slices: Drying Kinetics and Physical Quality", Czech J. Food Sci., 33(4):367–376.
[65] Alibaş, İ., (2014). "Mathematical Modeling of Microwave Dried Celery Leaves and Determination of the Effective Moisture Diffusivities and Activation Energy", Food Science and Technology, 34(2):394:401.
[66] Senapati, A., Rao, P.S., Bal, L. ve Prasad, S., (2014). "Specific Energy Consumption in Convective-Microwave Drying of Ashwagandha (Withania Somnifera) Roots, J Food Process Technol, 5:362.
[67] Wojdyło, A., Figiel, A., Lech, K., Nowicka, P. ve Oszmiańsk, J., (2014). "Effect of Convective and Vacuum–Microwave Drying on the Bioactive Compounds, Color, and Antioxidant Capacity of Sour Cherries, Food Bioprocess Technol, 7:829–841.
[68] Çelen, S. ve Kahveci, K., (2013). "Microwave drying behaviour of tomato slices", Czech J. Food Sci., 2:132-138
[69] Sarımeşeli, A., (2011). "Microwave drying characteristics of coriander (*Coriandrum sativum* L.) leaves, Energy Conversion and Management, 52:1449-1453.
[70] Wojdylo, A., Figiel, A. ve Oszmianaski, J., (2009). Effect of Drying Methods with the Applicationof Vacuum Microwaves on the Bioactive Compounds, Color, and Antioxidant Activity of Strawberry Fruit, Journal of Agricultural and Food Chemistry, 57(4):1337-1343.
[71] Özkan, A., Akbudak, B. ve Akbudak, N., (2007). "Microwave drying characteristics of spinach", Journal of Food Engineering, 78:577-583.
[72] Wang, J. ve Sheng, K., (2006). "Far-infrared and Microwave Drying of Peach", LWT, 39:247-255.
[73] Konica Minolta, Renk işareti ölçer CR-400 / CR-410, https://www.konicaminolta.eu/tr/measuring-instruments/products/colour-measurement/chroma-meters/cr-400-410/specifications.html.
[74] Hunter Lab, Application Notes, http://www.hunterlab.com/application-notes.html.

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

[76] 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.

[77] Dadalı, G., (2007). Bamya ve Ispanağın Mikrodalga Teknigi Kullanılarak Kurutulması, Doku ve Renk Özelilklerinin İncelenmesi ve Modellenmesi, Yüksek Lisans Tezi, Yıldız Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.

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

[79] 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.

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

[81] Mclellan, M. R., Lind, L. R. ve Kıme, R. W., (1994), "Hue angle determinations and statistical analysis for multiquadrant Hunter L,a,b Data", Journal of Food Quality, 18(3):235- 40.

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

[83] 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.

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

Ek A

Deniz börülcesi numunesinin kurutulması sırasında mikrodalga çıkış gücünün kuruma hızına ve kinetiğine olan etkisine ait deneysel veriler

Çizelge A.1 180 W mikrodalga çıkış gücünde 20 g deniz börülcesinin kurutulmasına ait deneysel veriler

Kuruma Zamanı (dak)	**Numune (g)**	**Nem İçeriği (g su. g kuru madde^{-1})**	**Nem Oranı (MR)**
0	20.00	6.46	1.00
10	19.95	6.45	0.98
20	18.23	5.80	0.97
30	17.78	5.64	0.87
40	16.31	5.09	0.79
50	14.59	4.44	0.69
60	12.66	3.72	0.58
70	11.18	3.17	0.49
80	10.06	2.75	0.43
90	9.02	2.37	0.37
100	8.05	2.00	0.31
110	7.19	1.68	0.26
120	5.73	1.14	0.18

Çizelge A.1 180 W mikrodalga çıkış gücünde 20 g deniz börülcesinin kurutulmasına ait deneysel veriler (devamı)

Kuruma Zamanı (dak)	**Numune (g)**	**Nem İçeriği (g su. g kuru madde^{-1})**	**Nem Oranı (MR)**
130	5.15	0.92	0.14
140	4.65	0.74	0.11
150	4.48	0.67	0.10
160	4.01	0.5	0.08
170	3.62	0.35	0.06
180	3.24	0.21	0.05
185	3.15	0.18	0.04
190	3.13	0.17	0.04
198	3.12	0.16	0.03
200	3.11	0.15	0.02

Çizelge A.2 360 W mikrodalga çıkış gücünde 20 g deniz börülcesinin kurutulmasına ait deneysel veriler

Kuruma Zamanı (dak)	**Numune (g)**	**Nem İçeriği (g su. g kuru madde^{-1})**	**Nem Oranı (MR)**
0	20.00	6.46	1.00
10	17.76	5.63	0.87
20	14.05	4.24	0.66
30	9.72	2.63	0.41
40	5.77	1.15	0.18
45	4.31	0.61	0.09
47	3.81	0.42	0.07
49	3.46	0.29	0.05
51	3.21	0.20	0.03
52.5	3.04	0.13	0.02
53.5	2.95	0.10	0.01

Çizelge A.3 540 W mikrodalga çıkış gücünde 20 g deniz börülcesinin kurutulmasına ait deneysel veriler

Kuruma Zamanı (dak)	**Numune (g)**	**Nem İçeriği (g su. g kuru madde^{-1})**	**Nem Oranı (MR)**
0	20.00	6.46	1.00
10	11.08	3.13	0.48
15	8.05	2.00	0.31
20	5.12	0.91	0.14
22	3.83	0.43	0.07
23	3.42	0.28	0.04
24	3.14	0.17	0.03
25	2.95	0.10	0.02

Çizelge A.4 720 W mikrodalga çıkış gücünde 20 g deniz börülcesinin kurutulmasına ait deneysel veriler

Kuruma Zamanı (dak)	**Numune (g)**	**Nem İçeriği (g su. g kuru madde^{-1})**	**Nem Oranı (MR)**
0	20.00	6.46	1.00
5	14.30	4.34	0.67
10	8.13	2.03	0.31
12	6.03	1.25	0.19
14	4.37	0.63	0.10
16	3.32	0.24	0.04
17	2.95	0.10	0.02

Çizelge A.5 900 W mikrodalga çıkış gücünde 20 g deniz börülcesinin kurutulmasına ait deneysel veriler

Kuruma Zamanı (dak)	**Numune (g)**	**Nem İçeriği (g su. g kuru madde^{-1})**	**Nem Oranı (MR)**
0	20	6.46	1.00
5	10.8	3.03	0.47
7	7.59	1.83	0.28
8	5.91	1.21	0.19
9	4.73	0.76	0.12
10	3.94	0.47	0.07
11	3.38	0.26	0.04
11.5	2.95	0.10	0.02

Ek B

Deniz börülcesi numunesinin kurutulması sırasında mikrodalga çıkış gücünün renk değişimi üzerindeki etkisine ait deneysel veriler

Çizelge B.1 180 W mikrodalga çıkış gücünde kurutulan 20 g deniz börülcesinin renk değişimine ait deneysel veriler

Kuruma Zamanı (dak)	L	a	b	ΔE
0	33.30	-6.15	11.08	0.00
20	32.25	-4.38	10.76	2.08
50	31.75	-2.67	10.28	3.89
80	31.27	-1.85	9.80	4.92
120	29.46	-0.82	9.16	6.84
160	28.95	-0.42	9.07	7.48
200	25.67	0.73	9.06	10.47

Çizelge B.2 360 W mikrodalga çıkış gücünde kurutulan 20 g deniz börülcesinin renk değişimine ait deneysel veriler

Kuruma Zamanı (dak)	**L**	**a**	**b**	**ΔE**
0	33.30	-6.15	11.08	0.00
15	29.94	-3.06	10.47	4.60
30	26.63	-1.64	9.83	8.15
40	25.74	-0.12	9.43	9.81
45	24.94	0.09	9.05	10.63
50	24.69	0.12	8.66	10.92
54	24.64	0.13	8.28	11.05

Çizelge B.3 540 W mikrodalga çıkış gücünde kurutulan 20 g deniz börülcesinin renk değişimine ait deneysel veriler

Kuruma Zamanı (dak)	**L**	**a**	**b**	**ΔE**
0	33.30	-6.15	11.08	0.00
5	28.20	-4.51	10.43	5.41
15	26.55	-2.64	9.13	7.73
20	24.91	-1.91	8.44	9.54
25	23.51	-0.89	8.25	11.24

Çizelge B.4 720 W mikrodalga çıkış gücünde kurutulan 20 g deniz börülcesinin renk değişimine ait deneysel veriler

Kuruma Zamanı (dak)	L	a	b	ΔE
0	33.30	-6.15	11.08	0.00
4	27.98	-4.39	10.49	5.63
8	25.90	-3.45	9.91	7.96
12	24.99	-2.68	9.32	9.18
16	23.75	-2.21	8.47	10.65
18	23.42	-1.9	7.99	11.19
21	23.19	-1.31	7.29	11.83

Çizelge B.5 900 W mikrodalga çıkış gücünde kurutulan 20 g deniz börülcesinin renk değişimine ait deneysel veriler

Kuruma Zamanı (dak)	L	a	b	ΔE
0	33.3	-6.15	11.08	0.00
2	26.98	-4.7	10.43	6.51
4	26.55	-4.11	9.84	7.15
6	24.2	-3.45	9.40	9.64
8	23.25	-2.91	8.89	10.78
10	23.09	-2.14	8.39	11.29
13	22.07	-1.13	7.64	12.77

Ek C

Deniz börülcesi numunesinin kurutulması sırasında mikrodalga çıkış gücünün rehidratasyon oranı üzerindeki etkisine ait deneysel veriler

Çizelge C.1 180 W mikrodalga çıkış gücünde kurutulan 20 g deniz börülcesinin rehidratasyon oranına ait deneysel veriler

Zaman (dak)	**Numune (g)**	**Nem İçeriği (g su. g kuru madde^{-1})**
0	2	0.1
0.5	2.08	0.14
1	2.15	0.18
3	2.25	0.24
5	2.45	0.35
10	2.6	0.43
20	2.8	0.54
60	3.65	1.01
120	4.48	1.46
180	4.91	1.7
240	5.90	2.40
300	6.53	2.69
360	7.03	2.93

Çizelge C.1 180 W mikrodalga çıkış gücünde kurutulan 20 g deniz börülcesinin rehidratasyon oranına ait deneysel veriler (devamı)

Zaman (dak)	**Numune (g)**	**Nem İçeriği (g su. g kuru madde^{-1})**
390	7.41	3.03
420	7.62	3.13
450	7.85	3.22
480	7.86	3.30

Çizelge C.2 360 W mikrodalga çıkış gücünde kurutulan 20 g deniz börülcesinin rehidratasyon oranına ait deneysel veriler

Zaman (dak)	**Numune (g)**	**Nem İçeriği (g su. g kuru madde^{-1})**
0	2.00	0.10
0.5	2.17	0.19
1	2.25	0.24
3	2.38	0.31
5	2.62	0.44
10	2.70	0.49
20	3.01	0.66
60	3.82	1.10
120	4.65	1.56
180	5.35	1.94
240	5.90	2.25
300	6.53	2.59
360	7.03	2.87
390	7.41	3.08
420	7.62	3.19
450	7.85	3.32
480	7.86	3.32

Çizelge C.3 540 W mikrodalga çıkış gücünde kurutulan 20 g deniz börülcesinin rehidratasyon oranına ait deneysel veriler

Zaman (dak)	**Numune (g)**	**Nem İçeriği (g su. g kuru madde^{-1})**
0	2.00	0.10
0.5	2.18	0.20
1	2.30	0.27
3	2.47	0.36
5	2.56	0.41
10	2.72	0.50
20	3.03	0.67
60	3.85	1.12
120	4.70	1.59
180	5.39	1.96
240	5.92	2.26
300	6.56	2.61
360	7.10	2.91
390	7.44	3.09
420	7.66	3.21
450	7.94	3.37
480	7.95	3.37

Çizelge C.4 720 W mikrodalga çıkış gücünde kurutulan 20 g deniz börülcesinin rehidratasyon oranına ait deneysel veriler

Zaman (dak)	**Numune (g)**	**Nem İçeriği (g su. g kuru madde^{-1})**
0	2.00	0.10
0.5	2.19	0.20
1	2.31	0.27
3	2.48	0.36
5	2.59	0.42
10	2.74	0.51
20	3.06	0.68
60	3.9	1.15
120	4.72	1.60
180	5.41	1.98
240	5.95	2.27
300	6.58	2.62
360	7.12	2.92
390	7.47	3.11
420	7.68	3.22
450	8.04	3.42
480	7.95	3.43

Çizelge C.5 900 W mikrodalga çıkış gücünde kurutulan 20 g deniz börülcesinin rehidratasyon oranına ait deneysel veriler

Zaman (dak)	**Numune (g)**	**Nem İçeriği (g su. g kuru madde^{-1})**
0	2.00	0.10
0.5	2.19	0.20
1	2.32	0.28
3	2.49	0.37
5	2.61	0.44
10	2.76	0.52
20	3.08	0.69
60	3.92	1.16
120	4.74	1.61
180	5.43	1.99
240	5.97	2.28
300	6.59	2.62
360	7.14	2.93
390	7.49	3.12
420	7.69	3.23
450	8.10	3.46
480	8.11	3.46

Ek D

Sabit mikrodalga çıkış gücünde deniz börülcesi numunesinin ağırlığının kuruma hızına ve kinetiğine olan etkisine ait deneysel veriler

Çizelge D.1 540 W sabit mikrodalga çıkış gücünde 20 g deniz börülcesinin kurutulmasına ait deneysel veriler

Kuruma Zamanı (dak)	Numune (g)	Nem İçeriği (g su. g kuru madde^{-1})	Nem Oranı (MR)
0	20.00	6.46	1.00
10	11.08	3.13	0.48
15	8.05	2.00	0.31
20	5.12	0.91	0.14
22	3.83	0.43	0.07
23	3.42	0.28	0.04
24	3.14	0.17	0.03
25	2.95	0.10	0.02

Çizelge D.2 540 W sabit mikrodalga çıkış gücünde 40 g deniz börülcesinin kurutulmasına ait deneysel veriler

Kuruma Zamanı (dak)	**Numune (g)**	**Nem İçeriği (g su. g kuru madde^{-1})**	**Nem Oranı (MR)**
0	40.00	6.46	1.00
5	34.55	5.43	0.84
10	26.44	3.87	0.60
15	19.62	2.56	0.40
20	13.32	1.35	0.21
23	10.77	0.86	0.13
26	9.09	0.54	0.08
29	7.69	0.27	0.04
31	7.31	0.2	0.03
32	7.10	0.16	0.02
33	6.96	0.13	0.02
34	6.89	0.12	0.02

Çizelge D.3 540 W sabit mikrodalga çıkış gücünde 60 g deniz börülcesinin kurutulmasına ait deneysel veriler

Kuruma Zamanı (dak)	**Numune (g)**	**Nem İçeriği (g su. g kuru madde^{-1})**	**Nem Oranı (MR)**
0	60.00	6.48	1.00
5	51.49	5.39	0.83
10	41.14	4.06	0.63
15	31.56	2.84	0.44
20	21.53	1.55	0.24
23	17.78	1.07	0.17
26	15.49	0.78	0.12
28	13.56	0.53	0.08
30	12.32	0.37	0.06
32	11.44	0.26	0.04
34	10.60	0.15	0.02
35	10.33	0.12	0.02
36	10.35	0.11	0.02

Çizelge D.4 540 W sabit mikrodalga çıkış gücünde 80 g deniz börülcesinin kurutulmasına ait deneysel veriler

Kuruma Zamanı (dak)	**Numune (g)**	**Nem İçeriği (g su. g kuru madde^{-1})**	**Nem Oranı (MR)**
0	80.00	6.46	1.00
5	70.56	5.55	0.86
10	57.63	4.31	0.67
15	45.35	3.13	0.48
20	32.42	1.89	0.29
25	24.24	1.11	0.17
30	19.11	0.61	0.09
32	16.87	0.40	0.06
34	16.20	0.33	0.05
36	14.80	0.2	0.03
37	14.09	0.13	0.02
38	14.00	0.12	0.02

Çizelge D.5 540 W sabit mikrodalga çıkış gücünde 100 g deniz börülcesinin kurutulmasına ait deneysel veriler

Kuruma Zamanı (dak)	**Numune (g)**	**Nem İçeriği (g su. g kuru madde^{-1})**	**Nem Oranı (MR)**
0	100.00	6.46	1.00
2	95.67	6.12	0.95
4	89.47	5.65	0.88
6	84.45	5.27	0.82
8	80.56	4.97	0.77
10	74.38	4.50	0.70
12	68.27	4.03	0.62
14	64.62	3.75	0.58
16	58.61	3.29	0.51
18	52.57	2.83	0.44
20	47.61	2.45	0.38
22	42.61	2.07	0.32
24	37.59	1.69	0.26
26	33.25	1.36	0.21
28	29.62	1.08	0.17
30	27.59	0.93	0.14
32	25.51	0.77	0.12
34	23.25	0.60	0.09
36	21.64	0.47	0.07
38	19.64	0.32	0.05
39	18.17	0.21	0.03
40	17.86	0.18	0.03

Çizelge D.5 540 W sabit mikrodalga çıkış gücünde 100 g deniz börülcesinin kurutulmasına ait deneysel veriler (devamı)

Kuruma Zamanı (dak)	**Numune (g)**	**Nem İçeriği (g su. g kuru madde^{-1})**	**Nem Oranı (MR)**
41	17.70	0.17	0.03
42	17.52	0.16	0.02
43	17.37	0.15	0.02
44	17.23	0.14	0.02
45	17.15	0.13	0.02
46	17.09	0.13	0.02
47	17.00	0.12	0.02

Ek E

Sabit mikrodalga çıkış gücünde deniz börülcesi numunesinin ağırlığının renk değişimi üzerindeki etkisine ait deneysel veriler

Çizelge E.1 540 W sabit mikrodalga çıkış gücünde kurutulan 20 g deniz börülcesinin renk değişimine ait deneysel veriler

Kuruma Zamanı (dak)	L	a	b	ΔE
0	33.30	-6.15	11.08	0.00
5	28.20	-4.51	10.43	5.41
15	26.55	-2.64	9.13	7.73
20	24.91	-1.91	8.44	9.54
25	23.51	-0.89	8.25	11.24

Çizelge E.2 540 W sabit mikrodalga çıkış gücünde kurutulan 40 g deniz börülcesinin renk değişimine ait deneysel veriler

Kuruma Zamanı (dak)	**L**	**a**	**b**	**ΔE**
0	33.30	-6.15	11.08	0.00
5	28.90	-5.75	11.01	4.41
10	28.62	-4.54	10.65	4.96
20	26.75	-4.01	10.12	6.95
25	25.257	-3.62	10.02	8.49
30	24.72	-2.63	9.65	9.38
34	24.47	-2.33	9.35	9.77

Çizelge E.3 540 W sabit mikrodalga çıkış gücünde kurutulan 60 g deniz börülcesinin renk değişimine ait deneysel veriler

Kuruma Zamanı (dak)	**L**	**a**	**b**	**ΔE**
0	33.30	-6.15	11.08	0.00
10	29.91	-5.60	10.99	3.44
15	28.61	-5.35	10.56	4.79
20	27.85	-4.64	10.42	5.69
25	27.09	-3.97	10.25	6.63
30	26.02	-3.81	9.95	7.73
36	24.93	-3.49	9.66	8.89

Çizelge E.4 540 W sabit mikrodalga çıkış gücünde kurutulan 80 g deniz börülcesinin renk değişimine ait deneysel veriler

Kuruma Zamanı (dak)	L	a	b	ΔE
0	33.30	-6.15	11.08	0.00
6	31.22	-5.92	11.03	2.09
18	29.19	-5.40	10.59	4.21
24	27.95	-4.88	10.39	5.54
28	27.01	-4.43	10.26	6.57
33	27.11	-4.13	10.09	6.58
38	25.22	-4.01	9.89	8.44

Çizelge E.5 540 W sabit mikrodalga çıkış gücünde kurutulan 100 g deniz börülcesinin renk değişimine ait deneysel veriler

Kuruma Zamanı (dak)	L	a	b	ΔE
0	33.30	-6.15	11.08	0.00
6	31.74	-6.01	11.04	1.56
14	30.55	-5.84	10.80	2.78
22	28.85	-5.25	10.62	4.56
30	27.91	-4.85	10.49	5.57
38	27.58	-4.25	10.22	6.08
47	25.47	-4.05	10.09	8.16

Ek F

Deniz börülcesi numunesinin kurutulması sırasında sabit mikrodalga çıkış gücünün rehidratasyon oranı üzerindeki etkisine ait deneysel veriler

Çizelge F.1 540 W sabit mikrodalga çıkış gücünde kurutulan 20 g deniz börülcesinin rehidratasyon oranına ait deneysel veriler

Zaman (dak)	**Numune (g)**	**Nem İçeriği (g su. g kuru madde^{-1})**
0	2.00	0.10
0.5	2.08	0.14
1	2.15	0.18
3	2.25	0.24
5	2.45	0.35
10	2.60	0.43
20	2.80	0.54
60	3.65	1.01
120	4.48	1.46
180	4.91	1.70
240	5.35	1.94
300	5.95	2.27
360	6.45	2.55

Çizelge F.1 540 W sabit mikrodalga çıkış gücünde kurutulan 20 g deniz börülcesinin rehidratasyon oranına ait deneysel veriler (devamı)

Zaman (dak)	**Numune (g)**	**Nem İçeriği (g su. g kuru madde^{-1})**
390	6.55	2.60
420	6.65	2.66
450	6.83	2.76
480	6.84	2.76

Çizelge F.2 540 W sabit mikrodalga çıkış gücünde kurutulan 40 g deniz börülcesinin rehidratasyon oranına ait deneysel veriler

Zaman (dak)	**Numune (g)**	**Nem İçeriği (g su. g kuru madde^{-1})**
0	2.00	0.10
0.5	2.16	0.19
1	2.24	0.23
3	2.42	0.33
5	2.53	0.39
10	2.65	0.46
20	3.01	0.66
60	3.81	1.10
120	4.62	1.54
180	5.09	1.80
240	5.88	2.23
300	6.33	2.48
360	6.95	2.82
390	7.32	3.03
420	7.55	3.15
450	7.74	3.26
480	7.76	3.27

Çizelge F.3 540 W sabit mikrodalga çıkış gücünde kurutulan 60 g deniz börülcesinin rehidratasyon oranına ait deneysel veriler

Zaman (dak)	**Numune (g)**	**Nem İçeriği (g su. g kuru madde^{-1})**
0	2.00	0.10
0.5	2.14	0.18
1	2.21	0.22
3	2.35	0.29
5	2.48	0.36
10	2.60	0.43
20	2.96	0.63
60	3.76	1.07
120	4.58	1.52
180	5.01	1.76
240	5.80	2.19
300	6.25	2.44
360	6.90	2.80
390	7.20	2.96
420	7.40	3.07
450	7.64	3.20
480	7.65	3.21

Çizelge F.4 540 W sabit mikrodalga çıkış gücünde kurutulan 80 g deniz börülcesinin rehidratasyon oranına ait deneysel veriler

Zaman (dak)	**Numune (g)**	**Nem İçeriği (g su. g kuru madde^{-1})**
0	2.00	0.10
0.5	2.12	0.17
1	2.20	0.21
3	2.31	0.27
5	2.45	0.35
10	2.55	0.40
20	2.88	0.58
60	3.60	0.98
120	4.52	1.49
180	4.96	1.73
240	5.65	2.11
300	6.18	2.4
360	6.58	2.62
390	6.75	2.71
420	6.98	2.84
450	7.42	3.08
480	7.40	3.07

Çizelge F.5 540 W sabit mikrodalga çıkış gücünde kurutulan 100 g deniz börülcesinin rehidratasyon oranına ait deneysel veriler

Zaman (dak)	**Numune (g)**	**Nem İçeriği (g su. g kuru madde^{-1})**
0	2.00	0.10
0.5	2.10	0.16
1	2.08	0.14
3	2.28	0.25
5	2.40	0.32
10	2.56	0.41
20	2.82	0.55
60	3.50	0.93
120	4.31	1.37
180	4.91	1.70
240	5.40	1.97
300	5.90	2.25
360	6.39	2.51
390	6.58	2.62
420	6.85	2.77
450	6.96	2.83
480	6.98	2.84

Ek G

Deniz börülcesi numunesinin kurutulması sırasında sıcaklığın sabit mikrodalga çıkış gücünde rehidratasyon oranı üzerindeki etkisine ait deneysel veriler

Çizelge G.1 45 ºC sıcaklıkta kurutulan 20 g deniz börülcesinin rehidratasyon oranına ait deneysel veriler (540 W)

Zaman (dak)	Numune (g)	Nem İçeriği (g su. g kuru madde^{-1})
0	2.00	0.10
0.5	2.22	0.22
1	2.35	0.29
3	2.49	0.37
5	2.58	0.42
10	2.74	0.51
20	3.07	0.69
60	4.21	1.32
120	4.82	1.65
180	5.84	2.21
240	6.35	2.49
300	6.89	2.79
360	7.29	3.01
390	7.54	3.15
420	7.76	3.27

Çizelge G.1 45 ºC sıcaklıkta kurutulan 20 g deniz börülcesinin rehidratasyon oranına ait deneysel veriler (540 W) (devamı)

Zaman (dak)	Numune (g)	Nem İçeriği (g su. g kuru madde^{-1})
450	8.12	3.47
480	8.13	3.47

Çizelge G.2 55 ºC sıcaklıkta kurutulan 20 g deniz börülcesinin rehidratasyon oranına ait deneysel veriler (540 W)

Zaman (dak)	Numune (g)	Nem İçeriği (g su. g kuru madde^{-1})
0	2.00	0.10
0.5	2.24	0.23
1	2.38	0.31
3	2.54	0.40
5	2.80	0.54
10	3.07	0.69
20	3.59	0.97
60	4.76	1.62
120	5.51	2.03
180	6.29	2.46
240	6.87	2.78
300	7.39	3.06
360	7.92	3.36
390	8.12	3.47
420	8.45	3.65
450	8.85	3.87
480	8.93	3.91

Çizelge G.3 70 ºC sıcaklıkta kurutulan 20 g deniz börülcesinin rehidratasyon oranına ait deneysel veriler (540 W)

Zaman (dak)	**Numune (g)**	**Nem İçeriği (g su. g kuru madde^{-1})**
0	2.00	0.10
0.5	2.34	0.29
1	2.85	0.57
3	3.09	0.70
5	3.42	0.88
10	3.93	1.16
20	4.85	1.67
60	7.19	2.95
120	8.11	3.46
180	8.97	3.93
240	9.52	4.24
300	9.90	4.45
360	9.96	4.48
390	10.00	4.50
420	10.07	4.54
450	10.08	4.54
480	10.09	4.55

Ek H

Deniz börülcesi numunesinin konvansiyonel kurutulması sırasında kuruma hızına ve kinetiğine olan etkisine ait deneysel veriler

Çizelge H.1 Konvansiyonel yöntemi ile kurutulan 20 g deniz börülcesinin nem içeriğine ait deneysel veriler (Sıcaklık 40 ^{o}C)

Zaman (dak)	Numune (g)	Nem İçeriği (g su. g kuru madde^{-1})
0	7.18	1.00
15	7.04	0.98
30	6.84	0.95
60	6.50	0.91
90	6.22	0.87
120	5.94	0.83
150	5.68	0.79
180	5.45	0.76
240	5.01	0.70
300	4.61	0.64
360	4.27	0.59
420	3.82	0.53
480	3.55	0.49
540	3.50	0.49
600	3.47	0.48
660	3.44	0.48

Ek I

Deniz börülcesi numunesinin konvansiyonel olarak kurutulmasının renk değişimi üzerindeki etkisine ait deneysel veriler

Çizelge I.1 Konvansiyonel yöntemi ile kurutulan 20 g deniz börülcesinin renk değişimine ait deneysel veriler (Sıcaklık 40 ^{o}C)

Kuruma Zamanı (dak)	L	a	b	ΔE
0	33.30	-6.15	11.08	0.00
15	33.02	-6.05	10.90	0.35
30	32.65	-5.98	10.66	0.79
60	31.91	-5.85	10.28	1.63
90	31.55	-5.55	9.98	2.15
120	30.97	-5.36	9.74	2.80
150	30.55	-5.25	9.65	3.23
180	29.98	-5.05	9.43	3.86
240	29.43	-4.95	9.13	4.49
300	28.91	-4.70	8.75	5.17
360	28.25	-4.45	8.43	5.95
420	27.65	-4.29	8.02	6.69
480	27.20	-4.18	7.85	7.18
540	26.63	-4.02	7.48	7.87
600	26.05	-3.98	7.25	8.48
660	25.06	-3.80	6.79	9.58

ÖZGEÇMİŞ

KİŞİSEL BİLGİLER

Adı Soyadı : Esra ALTUN

Doğum Tarihi ve Yeri : 15.05.1988 İstanbul

Yabancı Dili : İngilizce

E-posta : esraal88@hotmail.com

ÖĞRENİM DURUMU

Derece	**Alan**	**Okul/Üniversite**	**Mezuniyet Yılı**
Y. Lisans	Kimya Mühendisliği	Yıldız Teknik Üniversitesi	2017
Lisans	Kimya Mühendisliği	Yıldız Teknik Üniversitesi	2014
Lise	Süper Lise	Davutpaşa Lisesi	2006