

**YILDIZ TEKNİK ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

**BAMYA ve İSPANAĞIN MİKRODALGA TEKNİĞİ
KULLANILARAK KURUTULMASI, DOKU ve RENK
ÖZELLİKLERİNİN İNCELENMESİ ve MODELLENMESİ**

Kimya Mühendisi Gökçe DADALI

**FBE Kimya Mühendisliği Anabilim Dalında
Hazırlanan**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Tez Danışmanı: Prof. Dr. Belma KIN ÖZBEK

İSTANBUL, 2007

İÇİNDEKİLER

	Sayfa
SİMGE LİSTESİ	vii
KISALTMA LİSTESİ	viii
ŞEKİL LİSTESİ	ix
ÇİZELGE LİSTESİ	xiii
ÖNSÖZ	xviii
ÖZET	xix
ABSTRACT	xx
1. GİRİŞ	1
2. GIDALARIN KURUTULMASI	3
2.1 Gıdaların Kurutularak Saklanması Tarihçesi	3
2.2 Kurutma Yöntemleri	4
2.2.1 Doğal kurutma	4
2.2.2 Yapay kurutma	4
2.3 Kurutmanın Prensipleri	5
2.4 Gıda Kurutmanın Temel Aşamaları	5
2.4.1 Sabit hızda kuruma periyodu	6
2.4.2 Azalan hızda kuruma periyodu	6
2.5 Kuruma Hızını Etkileyen Faktörler	7
2.5.1 Sıcaklık	7
2.5.2 Kurutma havasının hızı	7
2.5.3 Kurutulan gıdanın yüzey alanı	8
2.5.4 Ortamın nem içeriği	8
2.5.5 Kurutulan gıdaya özgü özellikler	9
2.6 Gıdaların Kurutulması Sırasında Meydana Gelen Kimyasal ve Fiziksel Değişimler	10
2.6.1 Kimyasal değişimler	10
2.6.1.1 Esmerleşme reaksiyonları	10
2.6.1.2 Lipid oksidasyonu	12
2.6.1.3 Renk değişimleri	12
2.6.2 Fiziksel değişimler	13
2.6.2.1 Rehidratasyon oranı	13
2.6.2.2 Büzülme	13
2.6.2.3 Dokusal değişimler	13
2.6.3 Biyokimyasal değişimler	14
2.6.3.1 Vitamin kayıpları	14
2.6.3.2 Protein kayıpları	15
2.6.3.3 Mikroorganizmaların inaktivasyonu	15

3.	ENDÜSTRİYEL KURUTUCULAR.....	16
3.1	Kurutucuların Sınıflandırılması.....	16
3.1.1	Fırın tipi kurutucular.....	17
3.1.2	Kabin kurutucular.....	17
3.1.3	Tünel kurutucular.....	17
3.1.4	Pnömatik kurutucular.....	17
3.1.5	Püskürtmeli kurutucular.....	18
3.1.6	Vakum kurutucular.....	18
3.1.7	Döner kurutucular.....	18
3.1.8	Dondurarak kurutmanın yapıldığı kurutucular.....	18
3.1.9	Mikrodalga kurutucular.....	19
4.	MİKRODALGA ve GIDA SANAYİNDE KULLANIMI.....	20
4.1	Mikrodalganın Tarihçesi.....	20
4.2	Mikrodalga Fırınlara Gıda Alanında Kullanımı.....	20
4.3	Mikrodalganın Isıtma Mekanizması.....	21
4.4	Mikrodalga ile Isıtmaya Etki Eden Faktörler.....	22
4.4.1	Frekans.....	22
4.4.2	Mikrodalga çıkış gücü ve ısıtma hızı.....	22
4.4.3	Kurutulan gıdanın kütlesi.....	23
4.4.4	Gıdanın su içeriği.....	23
4.4.5	İletkenlik.....	23
4.4.6	Spesifik ısı.....	23
4.5	Mikrodalga Fırınının Bileşenleri.....	24
4.5.1	Güç ünitesi.....	24
4.5.2	Magnetron.....	24
4.5.3	Dalga kılavuzu.....	24
4.5.4	Karıştırıcı.....	24
4.5.5	Aplikatör.....	25
4.6	Mikrodalga ile Gıdaların İşlenmesinin Avantajları ve Dezavantajları.....	25
4.7	Mikrodalga Fırınlarda Güvenlik Standardı.....	27
5.	BAMYA ve İSPANAK HAKKINDA GENEL BİLGİ.....	28
5.1	Bamya.....	28
5.1.1	Bamyanın Faydaları.....	29
5.2	Ispanak.....	29
5.2.1	Ispanağın Faydaları.....	30
6.	GIDALARIN KURUTULMASINA İLİŞKİN ÇALIŞMALAR.....	32
7.	MATERYAL VE YÖNTEM.....	36
7.1	Kullanılan Materyaller.....	36
7.2	Kullanılan Cihazlar.....	36
7.2.1	Mikrodalga fırın.....	36
7.2.2	Renk ölçüm cihazı.....	37
7.2.3	Doku analiz cihazı.....	39
7.3	Deneylerin Yapılışı.....	41
7.3.1	Kuruma hızlarının belirlenmesi.....	41
7.3.2	Renk değişimlerinin incelenmesi.....	41
7.3.3	Rehidratasyon oranlarının belirlenmesi.....	41
7.3.4	Vitamin C kayıplarının belirlenmesi.....	42
7.3.5	Doku değişimlerinin incelenmesi.....	43

7.4	Hesaplamalar	43
7.4.1	Kuruma hızının belirlenmesi için yapılan hesaplamalar	43
7.4.1.1	Nem içeriğinin hesaplanması.....	43
7.4.1.2	Kuruma hızının hesaplanması.....	43
7.4.1.3	Nem oranının hesaplanması.....	44
7.4.1.4	Etkin difüzyon katsayısının hesaplanması.....	44
7.4.2	Renk değişiminin incelenmesi için yapılan hesaplamalar	45
7.4.3	Rehidratasyon oranının belirlenmesi için yapılan hesaplamalar	46
7.4.4	Vitamin C kayıplarının belirlenmesi için yapılan hesaplamalar	46
7.5	Modelleme Çalışmaları.....	47
7.5.1	Kuruma kinetiğine ait modelleme çalışmaları	47
7.5.1.1	Page model.....	47
7.5.1.2	Henderson ve Pabis model.....	48
7.5.1.3	Lewis model.....	48
7.5.1.4	Logaritmik model	48
7.5.2	Renk değişiminin incelenmesi için yapılan modelleme çalışmaları.....	49
7.5.2.1	Sıfırıncı dereceden kinetik model.....	49
7.5.2.2	Birinci dereceden kinetik model.....	49
7.5.3	Rehidratasyon oranının belirlenmesi için yapılan modelleme çalışmaları	50
7.5.3.1	Peleg model	50
7.5.4	Aktivasyon enerjisinin hesaplanması	50
7.5.5	İstatistiksel Hesaplamalar	51
8.	ARAŞTIRMA BULGULARI.....	52
8.1	Mikrodalga Çıkış Gücünün Bamya Numunesinin Kurutulması Üzerindeki Etkisi.....	52
8.1.1	Mikrodalga çıkış gücünün bamya numunesinin kuruma kinetiği üzerindeki etkisi.....	52
8.1.1.1	Nem içeriği değişimi.....	52
8.1.1.2	Kuruma hızı değişimi	53
8.1.1.3	Kuruma kinetiğine ait model çalışmaları.....	54
8.1.1.4	Etkin difüzyon katsayılarının hesaplanması	57
8.1.2	Mikrodalga çıkış gücünün bamya numunesinin renk değişimi üzerindeki etkisi..	58
8.1.3	Mikrodalga çıkış gücünün bamya numunesinin rehidratasyon oranı üzerindeki etkisi.....	69
8.1.4	Mikrodalga çıkış gücünün bamya numunesinin Vitamin C kayıpları üzerindeki etkisi.....	71
8.1.5	Mikrodalga çıkış gücünün bamya numunesinin doku değişimleri üzerindeki etkisi.....	72
8.2	Sabit Mikrodalga Çıkış Gücünde Bamya Numunesinin Ağırlığının Kuruma Üzerindeki Etkisi	74
8.2.1	Bamya numunesinin ağırlığının kuruma kinetiği üzerindeki etkisi.....	74
8.2.1.1	Nem içeriği değişimi.....	74
8.2.1.2	Kuruma hızı değişimi	75
8.2.1.3	Kuruma kinetiğine ait model çalışmaları.....	76
8.2.1.4	Etkin difüzyon katsayılarının hesaplanması	79
8.2.2	Bamya numunesinin ağırlığının renk değişimi üzerindeki etkisi	80
8.2.3	Bamya numunesinin ağırlığının rehidratasyon oranı üzerindeki etkisi	91
8.2.4	Bamya numunesinin ağırlığının Vitamin C kayıpları üzerindeki etkisi	93
8.2.5	Bamya numunesinin ağırlığının doku değişimleri üzerindeki etkisi	93
8.3	Bamya Numunesine Ait Aktivasyon Enerjilerinin Hesaplanması	95
8.3.1	Kuruma kinetiğine ait aktivasyon enerjisinin hesaplanması	95

8.3.2	Renk değişimi kinetiğine ait aktivasyon enerjisinin hesaplanması	95
8.3.3	Rehidratasyon kinetiğine ait aktivasyon enerjisinin hesaplanması	96
8.4	Mikrodalga ıkış Gücünün Ispanak Numunesinin Kurutulması zerindeki Etkisi	97
8.4.1	Mikrodalga ıkış gücünün ıspanak numunesinin kuruma kinetiği üzerindeki etkisi	97
8.4.1.1	Nem içeriği değişimi	97
8.4.1.2	Kuruma hızı değişimi	98
8.4.1.3	Kuruma kinetiğine ait model alışmaları	99
8.4.1.4	Etkin difüzivite katsayılarının hesaplanması	102
8.4.2	Mikrodalga ıkış gücünün ıspanak numunesinin renk değişimi üzerindeki etkisi	104
8.4.3	Mikrodalga ıkış gücünün ıspanak numunesinin rehidratasyon oranı üzerindeki etkisi	115
8.4.4	Mikrodalga ıkış gücünün ıspanak numunesinin Vitamin C kayıpları üzerindeki etkisi	117
8.4.5	Mikrodalga ıkış gücünün ıspanak numunesinin doku değişimleri üzerindeki etkisi	118
8.5	Sabit Mikrodalga ıkış Gücünde Ispanak Numunesinin Ağırlığının Kuruma zerindeki Etkisi	120
8.5.1	Ispanak numunesinin ağırlığının kuruma kinetiği üzerindeki etkisi	120
8.5.1.1	Nem içeriği değişimi	120
8.5.1.2	Kuruma hızı değişimi	121
8.5.1.3	Kuruma kinetiğine ait model alışmaları	122
8.5.1.4	Etkin difüzivite katsayılarının hesaplanması	125
8.5.2	Ispanak numunesinin ağırlığının renk değişimi üzerindeki etkisi	126
8.5.3	Ispanak numunesinin ağırlığının rehidratasyon oranı üzerindeki etkisi	137
8.5.4	Ispanak numunesinin ağırlığının Vitamin C kayıpları üzerindeki etkisi	139
8.5.5	Ispanak numunesinin ağırlığının doku değişimleri üzerindeki etkisi	139
8.6	Ispanak Numunesine Ait Aktivasyon Enerjilerinin Hesaplanması	141
8.6.1	Kuruma kinetiğine ait aktivasyon enerjisinin hesaplanması	141
8.6.2	Renk değişimi kinetiğine ait aktivasyon enerjisinin hesaplanması	141
8.6.3	Rehidratasyon kinetiğine ait aktivasyon enerjisinin hesaplanması	142
9.	SONUÇLAR ve ÖNERİLER	143
KAYNAKLAR		147
EKLER		152
Ek 1.	Bamya numunesinin kurutulması sırasında mikrodalga çıkış gücünün kuruma hızına ve kinetiğine olan etkisine ait deneysel veriler	153
Ek. 2	Bamya numunesinin kurutulması sırasında mikrodalga çıkış gücünün renk değişimi üzerindeki etkisine ait deneysel veriler	158
Ek. 3	Bamya numunesinin kurutulması sırasında mikrodalga çıkış gücünün rehidratasyon oranı üzerindeki etkisine ait deneysel veriler	160
Ek 4.	Sabit mikrodalga çıkış gücünde bamya numunesinin ağırlığının kuruma hızına ve kinetiğine olan etkisine ait deneysel veriler	164
Ek. 5	Sabit mikrodalga çıkış gücünde bamya numunesinin ağırlığının renk değişimi üzerindeki etkisine ait deneysel veriler	168
Ek. 6	Sabit mikrodalga çıkış gücünde bamya numunesinin ağırlığının rehidratasyon oranı üzerindeki etkisine ait deneysel veriler	170

Ek 7 Ispanak numunesinin kurutulması sırasında mikrodalga çıkış gücünün kuruma hızına ve kinetiğine olan etkisine ait deneysel veriler	173
Ek. 8 Ispanak numunesinin kurutulması sırasında mikrodalga çıkış gücünün renk değişimi üzerindeki etkisine ait deneysel veriler	178
Ek. 9 Ispanak numunesinin kurutulması sırasında mikrodalga çıkış gücünün rehidratasyon oranı üzerindeki etkisine ait deneysel veriler.....	180
Ek 10. Sabit mikrodalga çıkış gücünde ıspanak numunesinin ağırlığının kuruma hızına ve kinetiğine olan etkisine ait deneysel veriler	185
Ek. 11 Sabit mikrodalga çıkış gücünde ıspanak numunesinin ağırlığının renk değişimi üzerindeki etkisine ait deneysel veriler	189
Ek. 12 Sabit mikrodalga çıkış gücünde ıspanak numunesinin ağırlığının rehidratasyon oranı üzerindeki etkisine ait deneysel veriler	191
ÖZGEÇMİŞ.....	195

SİMGE LİSTESİ

M_t	t anındaki nem içeriği (g su. g kuru madde ⁻¹)
m	Numunenin ağırlığı (g)
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}	Etkin difüzyon 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)
RR	Rehidratasyon oranı (birimsiz)
W_t	Herhangi bir rehidratasyon anındaki nem içeriği (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)
N_t	Numune çözeltisinde harcanan titrant miktarı (ml)
S_n	Askorbik asit standart çözeltisi konsantrasyonu (mg Vit C/100 g)
S_t	Standart çözeltide harcanan titrant miktarı (ml)
k	Kinetik sabit (dak ⁻¹)
n	Page model sabiti (birimsiz)
A	Katsayı (birimsiz)
B	Katsayı (birimsiz)
RR_t	Herhangi bir t anındaki rehidratasyon oranı (birimsiz)
RR_0	t=0 anında rehidratasyon oranı (birimsiz)
k_1	Peleg model kinetik sabiti (s. 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)
W	Mikrodalga çıkış gücü (W)
E_a	Aktivasyon enerjisi (W.g ⁻¹)
CV	Kroma değeri (Chroma value)
HA	Renk Açısı (Hue Angle)
BI	Kahverengileşme İndeksi (Browning Index)
m	Gözlem sayısı
N_d	Toplam deney sayısı
p	Parametre sayısı
δ	Standard sapma

KISALTMA LİSTESİ

UNIDO	Birleşmiş Milletler Endüstriyel Gelişme Organizasyonu (United Nations Industrial Development Organization)
DPT	Devlet Planlama Teşkilatı
CIE	Uluslararası Aydınlatma Komisyonu (International Commission on Illumination)
MHz	Mega Hertz
GHz	Giga Hertz
FDA	Gıda ve İlaç Komisyonu (Food and Drug Administration)
I.T.U	Uluslararası Haberleşme Birliği (International Telecommunication Union)
AOAC	Kurumsal Analitik Kimyacılar Birliği (Association of Official Analytical Chemists)

ŞEKİL LİSTESİ

Şekil 2.1	Gıdaların kurutulması sırasında meydana gelen taşınım olayları (UNIDO, 2004a).....	5
Şekil 2.2	Gıdaların kuruma eğrisi (Baker, 1997).....	6
Şekil 2.3	Kurutulan gıdanın nem içeriğinin bağıl nem ile ilişkisi (Baker, 1997).....	9
Şekil 2.4	Gıdaların kurutulması sırasında meydana gelen Vitamin C oksidasyonu (Hernandez vd., 2006).....	14
Şekil 3.1	Isı transfer yöntemine göre kurutucuların sınıflandırılması (Baker, 1997).....	16
Şekil 4.1	Elektromanyetik spektrum [9].....	21
Şekil 5.1	Bamya üretiminin bölgelere göre dağılımı (DPT, 2003).....	29
Şekil 5.2	Ispanak üretiminin bölgelere göre dağılımı (DPT, 2003).....	30
Şekil 7.1	Mikrodalga fırının genel görünümü.....	37
Şekil 7.2	Konica Minolta CR-400 ve DP-400 cihazlarının genel görünümü.....	38
Şekil 7.3	Hunter Lab renk skalası [15].....	39
Şekil 7.4	Trioküler Floresans ve Yansıma-Kontrast mikroskobunun genel görünümü ...	40
Şekil 7.5	Askorbik asit ile 2,6-diklorofenolindo fenol boyası reaksiyonu.....	42
Şekil 8.1	Farklı mikrodalga çıkış güçlerinde bamya numunesinin nem içeriğinin kuruma zamanı ile değişimi (Numune ağırlığı= 100 g).....	52
Şekil 8.2	Farklı mikrodalga çıkış güçlerinde bamya numunesine ait kuruma hızlarının nem içeriği ile değişimi (Numune ağırlığı= 100 g).....	53
Şekil 8.3	Farklı mikrodalga çıkış güçlerinde bamya numunesine ait nem oranı değerlerinin kuruma zamanı ile değişimi (Numune ağırlığı= 100 g).....	56
Şekil 8.4	Farklı mikrodalga çıkış güçlerinde bamya numunesine ait ln(MR) değerlerinin kuruma zamanı ile değişimi (Numune ağırlığı= 100 g).....	57
Şekil 8.5	Farklı mikrodalga çıkış güçlerinde bamya numunesine ait L değerlerinin kuruma zamanı ile değişimi (Numune ağırlığı= 100 g).....	59
Şekil 8.6	Farklı mikrodalga çıkış güçlerinde bamya numunesine ait a değerlerinin kuruma zamanı ile değişimi (Numune ağırlığı= 100 g).....	61
Şekil 8.7	Farklı mikrodalga çıkış güçlerinde bamya numunesine ait b değerlerinin kuruma zamanı ile değişimi (Numune ağırlığı= 100 g).....	62
Şekil 8.8	Farklı mikrodalga çıkış güçlerinde bamya numunesine ait toplam renk değişimi (ΔE) değerlerinin kuruma zamanı ile değişimi (Numune ağırlığı= 100 g).....	64
Şekil 8.9	Farklı mikrodalga çıkış güçlerinde bamya numunesine ait Kroma (CV) değerlerinin kuruma zamanı ile değişimi (Numune ağırlığı= 100 g).....	65
Şekil 8.10	Farklı mikrodalga çıkış güçlerinde bamya numunesine ait Renk Açısı (HA) değerlerinin kuruma zamanı ile değişimi (Numune ağırlığı= 100 g).....	67
Şekil 8.11	Farklı mikrodalga çıkış güçlerinde bamya numunesine ait Kahverengileşme İndeksi (BI) değerlerinin kuruma zamanı ile değişimi (Numune ağırlığı= 100 g).....	68
Şekil 8.12	Farklı mikrodalga çıkış güçlerinde bamya numunesine ait rehidratasyon oranı değerlerinin rehidratasyon zamanı ile değişimi (Numune ağırlığı= 100 g, rehidratasyon sıcaklığı= 30°C).....	70
Şekil 8.13	Farklı mikrodalga çıkış güçlerinde bamya numunesinin Trioküler Floresans ve Yansıma-Kontrast Mikroskobu ile elde edilen görüntüleri (a) taze bamya, (b) 180 W, (c) 360 W, (d) 540 W, (e) 720 W, (f) 900 W (100 büyütme, 480 nm frekans boyu ve 100 V ışık gücü).....	73
Şekil 8.14	Farklı numune ağırlıklarında kurutulmuş bamya numunesinin nem içeriğinin kuruma zamanı ile değişimi (Mikrodalga çıkış gücü= 360 W).....	74
Şekil 8.15	Farklı numune ağırlıklarında kurutulmuş bamya numunesine ait kuruma hızlarının nem içeriği ile değişimi (Mikrodalga çıkış gücü= 360 W).....	76

Şekil 8.16	Farklı numune ağırlıklarında kurutulan bamya numunesine ait nem oranı değerlerinin kuruma zamanı ile değişimi (Mikrodalga çıkış gücü= 360 W).....	78
Şekil 8.17	Farklı numune ağırlıklarında kurutulan bamya numunesine ait $\ln(MR)$ değerlerinin kuruma zamanı ile değişimi (Mikrodalga çıkış gücü= 360 W)	79
Şekil 8.18	Farklı numune ağırlıklarında kurutulan bamya numunesine ait L değerlerinin kuruma zamanı ile değişimi (Mikrodalga çıkış gücü= 360 W)	81
Şekil 8.19	Farklı numune ağırlıklarında kurutulan bamya numunesine ait a değerlerinin kuruma zamanı ile değişimi (Mikrodalga çıkış gücü= 360 W)	82
Şekil 8.20	Farklı numune ağırlıklarında kurutulan bamya numunesine ait b değerlerinin kuruma zamanı ile değişimi (Mikrodalga çıkış gücü= 360 W)	84
Şekil 8.21	Farklı numune ağırlıklarında kurutulan bamya numunesine ait toplam renk değişimi (ΔE) değerlerinin kuruma zamanı ile değişimi (Mikrodalga çıkış gücü= 360 W).....	85
Şekil 8.22	Farklı numune ağırlıklarında kurutulan bamya numunesine ait Kroma (CV) değerlerinin kuruma zamanı ile değişimi (Mikrodalga çıkış gücü= 360 W).....	87
Şekil 8.23	Farklı numune ağırlıklarında kurutulan bamya numunesine ait Renk Açısı (HA) değerlerinin kuruma zamanı ile değişimi (Mikrodalga çıkış gücü= 360 W)	88
Şekil 8.24	Farklı numune ağırlıklarında kurutulan bamya numunesine ait Kahverengileşme İndeksi (BI) değerlerinin kuruma zamanı ile değişimi (Mikrodalga çıkış gücü= 360 W)	90
Şekil 8.25	Farklı numune ağırlıklarında kurutulan bamya numunesine ait rehidratasyon oranı değerlerinin rehidratasyon zamanı ile değişimi (Mikrodalga çıkış gücü= 360 W, rehidratasyon sıcaklığı= 30°C).....	92
Şekil 8.26	Farklı numune ağırlıklarında kurutulan bamya numunesinin Trioküler Floresans ve Yansıma-Kontrast Mikroskobu ile elde edilen görüntüleri (a) taze bamya, (b) 25 g, (c) 50 g, (d) 75 g, (e) 100 g (100 büyütme, 480 nm frekans boyu ve 100 V ışık gücü).....	94
Şekil 8.27	Farklı mikrodalga çıkış güçlerinde ıspanak numunesinin nem içeriğinin kuruma zamanı ile değişimi (Numune ağırlığı= 25 g).....	97
Şekil 8.28	Farklı mikrodalga çıkış güçlerinde ıspanak numunesine ait kuruma hızlarının nem içeriği ile değişimi (Numune ağırlığı= 25 g)	98
Şekil 8.29	Farklı mikrodalga çıkış güçlerinde ıspanak numunesine ait nem oranı değerlerinin kuruma zamanı ile değişimi (Numune ağırlığı= 25 g)	101
Şekil 8.30	Farklı mikrodalga çıkış güçlerinde ıspanak numunesine ait $\ln(MR)$ değerlerinin kuruma zamanı ile değişimi (Numune ağırlığı= 25 g).....	103
Şekil 8.31	Farklı mikrodalga çıkış güçlerinde ıspanak numunesine ait L değerlerinin kuruma zamanı ile değişimi (Numune ağırlığı= 25 g)	105
Şekil 8.32	Farklı mikrodalga çıkış güçlerinde ıspanak numunesine ait a değerlerinin kuruma zamanı ile değişimi (Numune ağırlığı= 25 g)	107
Şekil 8.33	Farklı mikrodalga çıkış güçlerinde ıspanak numunesine ait b değerlerinin kuruma zamanı ile değişimi (Numune ağırlığı= 25 g)	108
Şekil 8.34	Farklı mikrodalga çıkış güçlerinde ıspanak numunesine ait toplam renk değişimi (ΔE) değerlerinin kuruma zamanı ile değişimi (Numune ağırlığı= 25 g).....	110
Şekil 8.35	Farklı mikrodalga çıkış güçlerinde ıspanak numunesine ait Kroma (CV) değerlerinin kuruma zamanı ile değişimi (Numune ağırlığı= 25 g).....	111
Şekil 8.36	Farklı mikrodalga çıkış güçlerinde ıspanak numunesine ait Renk Açısı (HA) değerlerinin kuruma zamanı ile değişimi (Numune ağırlığı= 25 g)	113

Şekil 8.37	Farklı mikrodalga çıkış güçlerinde ıspanak numunesine ait Kahverengileşme İndeksi (BI) değerlerinin kuruma zamanı ile değişimi (Numune ağırlığı= 25 g).....	114
Şekil 8.38	Farklı mikrodalga çıkış güçlerinde ıspanak numunesine ait rehidratasyon oranı değerlerinin rehidratasyon zamanı ile değişimi (Numune ağırlığı= 25 g, rehidratasyon sıcaklığı= 30°C).....	116
Şekil 8.39	Farklı mikrodalga çıkış güçlerinde ıspanak numunesinin Trioküler Floresans ve Yansıma-Kontrast Mikroskobu ile elde edilen görüntüleri (a) taze ıspanak, (b) 180 W, (c) 360 W, (d) 540 W, (e) 720 W, (f) 900 W (100 büyütme, 480 nm frekans boyu ve 100 V ışık gücü).....	119
Şekil 8.40	Farklı numune ağırlıklarında kurutulan ıspanak numunesinin nem içeriğinin kuruma zamanı ile değişimi (Mikrodalga çıkış gücü= 360 W)	120
Şekil 8.41	Farklı numune ağırlıklarında kurutulan ıspanak numunesine ait kuruma hızlarının nem içeriği ile değişimi (Mikrodalga çıkış gücü= 360 W)	122
Şekil 8.42	Farklı numune ağırlıklarında kurutulan ıspanak numunesine ait nem oranı değerlerinin kuruma zamanı ile değişimi (Mikrodalga çıkış gücü= 360 W)	124
Şekil 8.43	Farklı numune ağırlıklarında kurutulan ıspanak numunesine ait ln(MR) değerlerinin kuruma zamanı ile değişimi (Mikrodalga çıkış gücü= 360 W)	125
Şekil 8.44	Farklı numune ağırlıklarında kurutulan ıspanak numunesine ait L değerlerinin kuruma zamanı ile değişimi (Mikrodalga çıkış gücü= 360 W).....	127
Şekil 8.45	Farklı numune ağırlıklarında kurutulan ıspanak numunesine ait a değerlerinin kuruma zamanı ile değişimi (Mikrodalga çıkış gücü= 360 W)	128
Şekil 8.46	Farklı numune ağırlıklarında kurutulan ıspanak numunesine ait b değerlerinin kuruma zamanı ile değişimi (Mikrodalga çıkış gücü= 360 W)	130
Şekil 8.47	Farklı numune ağırlıklarında kurutulan ıspanak numunesine ait toplam renk değişimi (ΔE) değerlerinin kuruma zamanı ile değişimi (Mikrodalga çıkış gücü= 360 W)	131
Şekil 8.48	Farklı numune ağırlıklarında kurutulan ıspanak numunesine ait Kroma (CV) değerlerinin kuruma zamanı ile değişimi (Mikrodalga çıkış gücü= 360 W).....	133
Şekil 8.49	Farklı numune ağırlıklarında kurutulan ıspanak numunesine ait Renk Açısı (HA) değerlerinin kuruma zamanı ile değişimi (Mikrodalga çıkış gücü= 360 W)	134
Şekil 8.50	Farklı numune ağırlıklarında kurutulan ıspanak numunesine ait Kahverengileşme İndeksi (BI) değerlerinin kuruma zamanı ile değişimi (Mikrodalga çıkış gücü= 360 W).....	136
Şekil 8.51	Farklı numune ağırlıklarında kurutulan ıspanak numunesine ait rehidratasyon oranı değerlerinin rehidratasyon zamanı ile değişimi (Mikrodalga çıkış gücü= 360 W, rehidratasyon sıcaklığı= 30°C).....	138
Şekil 8.52	Farklı numune ağırlıklarında kurutulan ıspanak numunesinin Trioküler Floresans ve Yansıma-Kontrast Mikroskobu ile elde edilen görüntüleri (a) taze ıspanak, (b) 25 g, (c) 50 g, (d) 75 g, (e) 100 g (100 büyütme, 480 nm frekans boyu ve 100 V ışık gücü).....	140

ÇİZELGE LİSTESİ

Çizelge 2.1	Gıdaların kurutulması sırasında meydana gelen değişimler (Baker, 1997)	10
Çizelge 5.1	100 gram bamyanın içerdiği besin değerleri (Salunkhe ve Kadam, 1998)	28
Çizelge 7.1	Mikrodalga fırının teknik özellikleri	37
Çizelge 7.2	Konica Minolta CR-400 ve DP-400 cihazlarının teknik özellikleri.....	38
Çizelge 7.3	Hunter Lab renk skalasında kullanılan indislerin anlamları [15].....	39
Çizelge 7.4	Trioküler Floresans ve Yansıma-Kontrast mikroskopunun teknik özellikleri.....	40
Çizelge 8.1	Farklı mikrodalga çıkış güçlerinde kurutulan bamya numunesinin kuruma hızlarının belirlenmesi sırasında kurulan matematiksel modeller ve istatistik veriler	55
Çizelge 8.2	Farklı mikrodalga çıkış güçlerinde bamya numunesine ait kuruma zamanlarına karşılık elde edilen deneysel verilere uyan Page model sabitleri ve istatistik veriler (Numune ağırlığı= 100 g).....	56
Çizelge 8.3	Farklı mikrodalga çıkış güçlerinde bamya numunesine ait hesaplanan etkin difüzyon katsayısının değişimi ve istatistik veriler (Numune ağırlığı= 100 g).....	58
Çizelge 8.4	Farklı mikrodalga çıkış güçlerinde bamya numunesine ait L değeri için birinci dereceden kinetik denklem kullanılarak elde edilen model sabitleri ve istatistik veriler (Numune ağırlığı= 100 g).....	60
Çizelge 8.5	Farklı mikrodalga çıkış güçlerinde bamya numunesine ait a değeri için sıfırıncı dereceden kinetik denklem kullanılarak elde edilen model sabitleri ve istatistik veriler (Numune ağırlığı= 100 g).....	61
Çizelge 8.6	Farklı mikrodalga çıkış güçlerinde bamya numunesine ait b değeri için birinci dereceden kinetik denklem kullanılarak elde edilen model sabitleri ve istatistik veriler (Numune ağırlığı= 100 g).....	63
Çizelge 8.7	Farklı mikrodalga çıkış güçlerinde bamya numunesine ait toplam renk değişimi (ΔE) değeri için sıfırıncı dereceden kinetik denklem kullanılarak elde edilen model sabitleri ve istatistik veriler (Numune ağırlığı= 100 g).....	64
Çizelge 8.8	Farklı mikrodalga çıkış güçlerinde bamya numunesine ait Kroma (CV) değeri için birinci dereceden kinetik denklem kullanılarak elde edilen model sabitleri ve istatistik veriler (Numune ağırlığı= 100 g).....	66
Çizelge 8.9	Farklı mikrodalga çıkış güçlerinde bamya numunesine ait Renk Açısı (HA) değeri için sıfırıncı dereceden kinetik denklem kullanılarak elde edilen model sabitleri ve istatistik veriler (Numune ağırlığı= 100 g).....	67
Çizelge 8.10	Farklı mikrodalga çıkış güçlerinde bamya numunesine ait Kahverengileşme İndeksi (BI) değeri için birinci dereceden kinetik denklem kullanılarak elde edilen model sabitleri ve istatistik veriler (Numune ağırlığı= 100 g).....	69
Çizelge 8.11	Farklı mikrodalga çıkış güçlerinde bamya numunesine ait rehidratasyon oranı değeri için Peleg model kullanılarak elde edilen model sabitleri ve istatistik veriler (Numune ağırlığı= 100 g, rehidratasyon sıcaklığı= 30°C)....	71
Çizelge 8.12	Farklı mikrodalga çıkış güçlerinde bamya numunesine ait Vitamin C değerlerinin değişimi (Numune ağırlığı= 100 g).....	72
Çizelge 8.13	Farklı numune ağırlıklarında kurutulan bamya numunesinin kuruma hızlarının belirlenmesi sırasında kurulan matematiksel modeller ve istatistik veriler	77
Çizelge 8.14	Farklı numune ağırlıklarında kurutulan bamya numunesine ait kuruma zamanlarına karşılık elde edilen deneysel verilere uyan Page model sabitleri ve istatistik veriler (Mikrodalga çıkış gücü= 360 W).....	78

Çizelge 8.15	Farklı numune ağırlıklarında kurutulan bamya numunesine ait hesaplanan etkin difüzyon katsayısının değişimi ve istatistik veriler (Mikrodalga çıkış gücü= 360 W)	80
Çizelge 8.16	Farklı numune ağırlıklarında kurutulan bamya numunesine ait L değeri için birinci dereceden kinetik denklem kullanılarak elde edilen model sabitleri ve istatistik veriler (Mikrodalga çıkış gücü= 360 W).....	81
Çizelge 8.17	Farklı numune ağırlıklarında kurutulan bamya numunesine ait a değeri için sıfırıncı dereceden kinetik denklem kullanılarak elde edilen model sabitleri ve istatistik veriler (Mikrodalga çıkış gücü= 360 W).....	83
Çizelge 8.18	Farklı numune ağırlıklarında kurutulan bamya numunesine ait b değeri için birinci dereceden kinetik denklem kullanılarak elde edilen model sabitleri ve istatistik veriler (Mikrodalga çıkış gücü= 360 W)	84
Çizelge 8.19	Farklı numune ağırlıklarında kurutulan bamya numunesine ait toplam renk değişimi (ΔE) değeri için sıfırıncı dereceden kinetik denklem kullanılarak elde edilen model sabitleri ve istatistik veriler (Mikrodalga çıkış gücü= 360 W)	86
Çizelge 8.20	Farklı numune ağırlıklarında kurutulan bamya numunesine ait Kroma (CV) değeri için birinci dereceden kinetik denklem kullanılarak elde edilen model sabitleri ve istatistik veriler (Mikrodalga çıkış gücü= 360 W)..	87
Çizelge 8.21	Farklı numune ağırlıklarında kurutulan bamya numunesine ait Renk Açısı (HA) değeri için sıfırıncı dereceden kinetik denklem kullanılarak elde edilen model sabitleri ve istatistik veriler (Mikrodalga çıkış gücü= 360 W)..	89
Çizelge 8.22	Farklı numune ağırlıklarında kurutulan bamya numunesine ait Kahverengileşme İndeksi (BI) değeri için birinci dereceden kinetik denklem kullanılarak elde edilen model sabitleri ve istatistik veriler	90
Çizelge 8.23	Farklı numune ağırlıklarında kurutulan bamya numunesine ait rehidratasyon oranı değeri için Peleg model kullanılarak elde edilen model sabitleri ve istatistik veriler (Mikrodalga çıkış gücü= 360 W, rehidratasyon sıcaklığı= 30°C).....	92
Çizelge 8.24	Farklı numune ağırlıklarında kurutulan bamya numunesine ait Vitamin C değerlerinin değişimi (Mikrodalga çıkış gücü= 360 W)	93
Çizelge 8.25	Bamya numunesinin her bir renk indisi değişimi için hesaplanan aktivasyon enerjisi değerleri.....	95
Çizelge 8.26	Farklı mikrodalga çıkış güçlerinde kurutulan ıspanak numunesinin kuruma hızlarının belirlenmesi sırasında kurulan matematiksel modeller ve istatistik veriler	100
Çizelge 8.27	Farklı mikrodalga çıkış güçlerinde ıspanak numunesine ait kuruma zamanlarına karşılık elde edilen deneysel verilere uyan Page model sabitleri ve istatistik veriler (Numune ağırlığı= 25 g)	101
Çizelge 8.28	Farklı mikrodalga çıkış güçlerinde ıspanak numunesine ait hesaplanan etkin difüzyon katsayısının değişimi ve istatistik veriler (Numune ağırlığı= 25 g)	103
Çizelge 8.29	Farklı mikrodalga çıkış güçlerinde ıspanak numunesine ait L değeri için birinci dereceden kinetik denklem kullanılarak elde edilen model sabitleri ve istatistik veriler (Numune ağırlığı= 25 g)	105
Çizelge 8.30	Farklı mikrodalga çıkış güçlerinde ıspanak numunesine ait a değeri için sıfırıncı dereceden kinetik denklem kullanılarak elde edilen model sabitleri ve istatistik veriler (Numune ağırlığı= 25 g)	107
Çizelge 8.31	Farklı mikrodalga çıkış güçlerinde ıspanak numunesine ait b değeri için birinci dereceden kinetik denklem kullanılarak elde edilen model sabitleri ve istatistik veriler (Numune ağırlığı= 25 g).....	109

Çizelge 8.32	Farklı mikrodalga çıkış güçlerinde ıspanak numunesine ait toplam renk değişimi (ΔE) değeri için sıfıncı dereceden kinetik denklem kullanılarak elde edilen model sabitleri ve istatistik veriler (Numune ağırlığı= 25 g)	110
Çizelge 8.33	Farklı mikrodalga çıkış güçlerinde ıspanak numunesine ait Kroma (CV) değeri için birinci dereceden kinetik denklem kullanılarak elde edilen model sabitleri ve istatistik veriler (Numune ağırlığı= 25 g).....	112
Çizelge 8.34	Farklı mikrodalga çıkış güçlerinde ıspanak numunesine ait Renk Açısı (HA) değeri için sıfıncı dereceden kinetik denklem kullanılarak elde edilen model sabitleri ve istatistik veriler (Numune ağırlığı= 25 g).....	113
Çizelge 8.35	Farklı mikrodalga çıkış güçlerinde ıspanak numunesine ait Kahverengileşme İndeksi (BI) değeri için birinci dereceden kinetik denklem kullanılarak elde edilen model sabitleri ve istatistik veriler (Numune ağırlığı= 25 g)	115
Çizelge 8.36	Farklı mikrodalga çıkış güçlerinde ıspanak numunesine ait rehidratasyon oranı değeri için Peleg model kullanılarak elde edilen model sabitleri ve istatistik veriler (Numune ağırlığı= 25 g, rehidratasyon sıcaklığı= 30°C) .	116
Çizelge 8.37	Farklı mikrodalga çıkış güçlerinde ıspanak numunesine ait Vitamin C değerlerinin değişimi (Numune ağırlığı= 25 g)	117
Çizelge 8.38	Farklı numune ağırlıklarında kurutulan ıspanak numunesinin kuruma hızlarının belirlenmesi sırasında kurulan matematiksel modeller ve istatistik veriler.....	123
Çizelge 8.39	Farklı numune ağırlıklarında kurutulan ıspanak numunesine ait kuruma zamanlarına karşılık elde edilen deneysel verilere uyan Page model sabitleri ve istatistik veriler (Mikrodalga çıkış gücü= 360 W)	124
Çizelge 8.40	Farklı numune ağırlıklarında kurutulan ıspanak numunesine ait hesaplanan etkin difüzivite katsayısının değişimi ve istatistik veriler (Mikrodalga çıkış gücü= 360 W)	126
Çizelge 8.41	Farklı numune ağırlıklarında kurutulan ıspanak numunesine ait L değeri için birinci dereceden kinetik denklem kullanılarak elde edilen model sabitleri ve istatistik veriler (Mikrodalga çıkış gücü= 360 W)	127
Çizelge 8.42	Farklı numune ağırlıklarında kurutulan ıspanak numunesine ait a değeri için sıfıncı dereceden kinetik denklem kullanılarak elde edilen model sabitleri ve istatistik veriler (Mikrodalga çıkış gücü= 360 W)	129
Çizelge 8.43	Farklı numune ağırlıklarında kurutulan ıspanak numunesine ait b değeri için birinci dereceden kinetik denklem kullanılarak elde edilen model sabitleri ve istatistik veriler (Mikrodalga çıkış gücü= 360 W)	130
Çizelge 8.44	Farklı numune ağırlıklarında kurutulan ıspanak numunesine ait toplam renk değişimi (ΔE) değeri için sıfıncı dereceden kinetik denklem kullanılarak elde edilen model sabitleri ve istatistik veriler (Mikrodalga çıkış gücü= 360 W).....	132
Çizelge 8.45	Farklı numune ağırlıklarında kurutulan ıspanak numunesine ait Kroma (CV) değeri için birinci dereceden kinetik denklem kullanılarak elde edilen model sabitleri ve istatistik veriler (Mikrodalga çıkış gücü= 360 W) .	133
Çizelge 8.46	Farklı numune ağırlıklarında kurutulan ıspanak numunesine ait Renk Açısı (HA) değeri için sıfıncı dereceden kinetik denklem kullanılarak elde edilen model sabitleri ve istatistik veriler (Mikrodalga çıkış gücü= 360 W).....	135
Çizelge 8.47	Farklı numune ağırlıklarında kurutulan ıspanak numunesine ait Kahverengileşme İndeksi (BI) değeri için birinci dereceden kinetik denklem kullanılarak elde edilen model sabitleri ve istatistik veriler (Mikrodalga çıkış gücü= 360 W)	136

Çizelge 8.48	Farklı numune ağırlıklarında kurutulan ıspanak numunesine ait rehidratasyon oranı değeri için Peleg model kullanılarak elde edilen model sabitleri ve istatistik veriler (Mikrodalga çıkış gücü= 360 W, rehidratasyon sıcaklığı= 30°C).....	138
Çizelge 8.49	Farklı numune ağırlıklarında kurutulan ıspanak numunesine ait Vitamin C değerlerinin değişimi (Mikrodalga çıkış gücü= 360 W).....	139
Çizelge 8.50	ıspanak numunesinin her bir renk indisi değişimi için hesaplanan aktivasyon enerjisi değerleri	141
Çizelge E1.1	180 W mikrodalga çıkış gücünde 100 g bamyanın kurutulmasına ait deneysel veriler	153
Çizelge E1.2	360 W mikrodalga çıkış gücünde 100 g bamyanın kurutulmasına ait deneysel veriler	154
Çizelge E1.3	540 W mikrodalga çıkış gücünde 100 g bamyanın kurutulmasına ait deneysel veriler	155
Çizelge E1.4	720 W mikrodalga çıkış gücünde 100 g bamyanın kurutulmasına ait deneysel veriler	156
Çizelge E1.5	900 W mikrodalga çıkış gücünde 100 g bamyanın kurutulmasına ait deneysel veriler	157
Çizelge E2.1	180 W mikrodalga çıkış gücünde kurutulan 100 g bamyanın renk değişimine ait deneysel veriler	158
Çizelge E2.2	360 W mikrodalga çıkış gücünde kurutulan 100 g bamyanın renk değişimine ait deneysel veriler	158
Çizelge E2.3	540 W mikrodalga çıkış gücünde kurutulan 100 g bamyanın renk değişimine ait deneysel veriler	158
Çizelge E2.4	720 W mikrodalga çıkış gücünde kurutulan 100 g bamyanın renk değişimine ait deneysel veriler	159
Çizelge E2.5	900 W mikrodalga çıkış gücünde kurutulan 100 g bamyanın renk değişimine ait deneysel veriler	159
Çizelge E3.1	180 W mikrodalga çıkış gücünde kurutulan 100 g bamyanın rehidratasyon oranına ait deneysel veriler	160
Çizelge E3.2	360 W mikrodalga çıkış gücünde kurutulan 100 g bamyanın rehidratasyon oranına ait deneysel veriler	160
Çizelge E3.3	540 W mikrodalga çıkış gücünde kurutulan 100 g bamyanın rehidratasyon oranına ait deneysel veriler	161
Çizelge E3.4	720 W mikrodalga çıkış gücünde kurutulan 100 g bamyanın rehidratasyon oranına ait deneysel veriler	162
Çizelge E3.5	900 W mikrodalga çıkış gücünde kurutulan 100 g bamyanın rehidratasyon oranına ait deneysel veriler	163
Çizelge E4.1	360 W sabit mikrodalga çıkış gücü ve 25 g numune ağırlığında bamya numunesinin kurutulmasına ait deneysel veriler.....	164
Çizelge E4.2	360 W sabit mikrodalga çıkış gücü ve 50 g numune ağırlığında bamya numunesinin kurutulmasına ait deneysel veriler.....	165
Çizelge E4.3	360 W sabit mikrodalga çıkış gücü ve 75 g numune ağırlığında bamya numunesinin kurutulmasına ait deneysel veriler.....	166
Çizelge E4.4	360 W sabit mikrodalga çıkış gücü ve 100 g numune ağırlığında bamya numunesinin kurutulmasına ait deneysel veriler.....	167
Çizelge E5.1	360 W sabit mikrodalga çıkış gücü ve 25 g numune ağırlığında bamya numunesinin kurutulmasında renk değişimine ait deneysel veriler	168
Çizelge E5.2	360 W sabit mikrodalga çıkış gücü ve 50 g numune ağırlığında bamya numunesinin kurutulmasında renk değişimine ait deneysel veriler	168
Çizelge E5.3	360 W sabit mikrodalga çıkış gücü ve 75 g numune ağırlığında bamya numunesinin kurutulmasında renk değişimine ait deneysel veriler	168

Çizelge E5.4	360 W sabit mikrodalga çıkış gücü ve 100 g numune ağırlığında bamy numunesinin kurutulmasında renk değişimine ait deneysel veriler.....	169
Çizelge E6.1	360 W sabit mikrodalga çıkış gücü ve 25 g numune ağırlığında bamy numunesinin kurutulmasında rehidratasyon oranına ait deneysel veriler.....	170
Çizelge E6.2	360 W sabit mikrodalga çıkış gücü ve 50 g numune ağırlığında bamy numunesinin kurutulmasında rehidratasyon oranına ait deneysel veriler.....	171
Çizelge E6.3	360 W sabit mikrodalga çıkış gücü ve 75 g numune ağırlığında bamy numunesinin kurutulmasında rehidratasyon oranına ait deneysel veriler.....	172
Çizelge E6.4	360 W sabit mikrodalga çıkış gücü ve 100 g numune ağırlığında bamy numunesinin kurutulmasında rehidratasyon oranına ait deneysel veriler.....	172
Çizelge E7.1	180 W mikrodalga çıkış gücünde 25 g ıspanağın kurutulmasına ait deneysel veriler	173
Çizelge E7.2	360 W mikrodalga çıkış gücünde 25 g ıspanağın kurutulmasına ait deneysel veriler	174
Çizelge E7.3	540 W mikrodalga çıkış gücünde 25 g ıspanağın kurutulmasına ait deneysel veriler	175
Çizelge E7.4	720 W mikrodalga çıkış gücünde 25 g ıspanağın kurutulmasına ait deneysel veriler	176
Çizelge E7.5	900 W mikrodalga çıkış gücünde 25 g ıspanağın kurutulmasına ait deneysel veriler	177
Çizelge E8.1	180 W mikrodalga çıkış gücünde kurutulan 25 g ıspanağın renk değişimine ait deneysel veriler	178
Çizelge E8.2	360 W mikrodalga çıkış gücünde kurutulan 25 g ıspanağın renk değişimine ait deneysel veriler	178
Çizelge E8.3	540 W mikrodalga çıkış gücünde kurutulan 25 g ıspanağın renk değişimine ait deneysel veriler	178
Çizelge E8.4	720 W mikrodalga çıkış gücünde kurutulan 25 g ıspanağın renk değişimine ait deneysel veriler	179
Çizelge E8.5	900 W mikrodalga çıkış gücünde kurutulan 25 g ıspanağın renk değişimine ait deneysel veriler	179
Çizelge E9.1	180 W mikrodalga çıkış gücünde kurutulan 25 g ıspanağın rehidratasyon oranına ait deneysel veriler	180
Çizelge E9.2	360 W mikrodalga çıkış gücünde kurutulan 25 g ıspanağın rehidratasyon oranına ait deneysel veriler	181
Çizelge E9.3	540 W mikrodalga çıkış gücünde kurutulan 25 g ıspanağın rehidratasyon oranına ait deneysel veriler	182
Çizelge E9.4	720 W mikrodalga çıkış gücünde kurutulan 25 g ıspanağın rehidratasyon oranına ait deneysel veriler	183
Çizelge E9.5	900 W mikrodalga çıkış gücünde kurutulan 25 g ıspanağın rehidratasyon oranına ait deneysel veriler	184
Çizelge E10.1	360 W sabit mikrodalga çıkış gücü ve 25 g numune ağırlığında ıspanak numunesinin kurutulmasına ait deneysel veriler.....	185
Çizelge E10.2	360 W sabit mikrodalga çıkış gücü ve 50 g numune ağırlığında ıspanak numunesinin kurutulmasına ait deneysel veriler.....	186
Çizelge E10.3	360 W sabit mikrodalga çıkış gücü ve 75 g numune ağırlığında ıspanak numunesinin kurutulmasına ait deneysel veriler.....	187
Çizelge E10.4	360 W sabit mikrodalga çıkış gücü ve 100 g numune ağırlığında ıspanak numunesinin kurutulmasına ait deneysel veriler.....	188
Çizelge E11.1	360 W sabit mikrodalga çıkış gücü ve 25 g numune ağırlığında ıspanak numunesinin kurutulmasında renk değişimine ait deneysel veriler.....	189
Çizelge E11.2	360 W sabit mikrodalga çıkış gücü ve 50 g numune ağırlığında ıspanak numunesinin kurutulmasında renk değişimine ait deneysel veriler.....	189

Çizelge E11.3	360 W sabit mikrodalga çıkış gücü ve 75 g numune ağırlığında ıspanak numunesinin kurutulmasında renk değişimine ait deneysel veriler.....	189
Çizelge E11.4	360 W sabit mikrodalga çıkış gücü ve 100 g numune ağırlığında ıspanak numunesinin kurutulmasında renk değişimine ait deneysel veriler.....	190
Çizelge E12.1	360 W sabit mikrodalga çıkış gücü ve 25 g numune ağırlığında ıspanak numunesinin kurutulmasında rehidratasyon oranına ait deneysel veriler.....	191
Çizelge E12.2	360 W sabit mikrodalga çıkış gücü ve 50 g numune ağırlığında ıspanak numunesinin kurutulmasında rehidratasyon oranına ait deneysel veriler.....	192
Çizelge E12.3	360 W sabit mikrodalga çıkış gücü ve 75 g numune ağırlığında ıspanak numunesinin kurutulmasında rehidratasyon oranına ait deneysel veriler.....	193
Çizelge E12.4	360 W sabit mikrodalga çıkış gücü ve 100 g numune ağırlığında ıspanak numunesinin kurutulmasında rehidratasyon oranına ait deneysel veriler.....	194

ÖNSÖZ

Tez çalışmam sırasında kıymetli fikir ve önerileri ile beni yönlendiren, yardım eden ve her aşamada beni destekleyen Tez Danışmanım Sayın Prof. Dr. Belma KIN ÖZBEK'e,

Lisans ve Yüksek Lisans eğitimimi yaptığım Kimya Mühendisliği Bölümümüzün tüm saygıdeğer Öğretim Üyelerine,

Tez çalışmamı destekleyen Yıldız Teknik Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projeleri Koordinatörlüğüne (YTÜ-BAPK, Proje no: 24-07-01-05),

Çalışmam süresince hiçbir yardımdan kaçınmayan Araştırma Görevlisi Dilek KILIÇ APAR'a, doku analizlerimin yapılmasında yardımcı olan Araştırma Görevlisi Yunus SARIÇAY'a, Vitamin C analizlerinin yapılmasında yardımlarını esirgemeyen Ayça KAHRAMAN'a,

Yüksek Lisans eğitimim sırasında bana maddi destek veren Türkiye Bilimsel ve Teknolojik Araştırma Kurumu TÜBİTAK'a,

Gerek okuldaki çalışmalarımda, gerekse özel yaşamımda bana devamlı destek veren sevgili dostlarım Araştırma Görevlisi Elçin DEMİRHAN'a ve Semra KIRBOĞA'ya,

Maddi ve manevi desteklerini benden esirgemedi, hayatımın her anında yanımda olan biricik annem Nilgün DADALI ve biricik babam Feridun DADALI'ya ve tüm sevdiklerime sonsuz teşekkürlerimi sunarım.

Gökçe DADALI

ÖZET

Birçok gıdanın kurutularak saklanması yüzyıllardan beri uygulanan bir yöntemdir. İlk zamanlarda basit olarak yapılan bu işlem, zamanla gıda sanayinde yerini almış ve yüksek verimli, düşük maliyetli ve son ürün kalitesi yüksek yeni prosesler geliştirilmiştir. Fakat bir tarım ülkesi olan Türkiye’de yaygın olarak kullanılan yöntem, güneşte kurutma yöntemidir. Ancak, açık havada gıda kurutma; tozlanması, kuruma süresinin uzun olması, ürün veriminin ve kalitesinin düşük olması ve her zaman yeterince güneş ışığına maruz kalamaması gibi dezavantajlarından dolayı sanayide tercih edilmeyen bir yöntemdir. Bu nedenle, özellikle gıda teknolojilerindeki hızlı gelişmeler sayesinde mikrodalga ile kurutma alternatif bir yöntem olarak öne çıkmaya başlamıştır.

Bu çalışmada; bamya ve ıspanak sebzelerinin kurutma kinetikleri incelenmiş, mikrodalga tekniği ile kurutulması sırasında meydana gelen renk değişimleri ve kurutma sonucundaki rehidratasyon oranları, Vitamin C değerleri ve doku özelliklerindeki değişimler araştırılmıştır. Yapılan çalışmalar sonucunda; uygulanan mikrodalga gücü arttıkça ve kurutulan numune ağırlığı azaldıkça numunelerin kurutma sürelerinin azaldığı görülmüştür. Kurutulan bamya numunesinde renk değişimleri gözlemlenirken, ıspanak numunesinde renk değişimleri gözlemlenmemiştir. Rehidratasyon kapasiteleri için yapılan çalışmalarda, bamya ve ıspanak numunelerinin 30⁰C sıcaklıkta rehidratasyon işlemine tabi tutulmaları sonucunda, numunelerin geri absorplayabildikleri su miktarlarının sırasıyla yaklaşık olarak %96 ve %78 değerlerine sahip olduğu bulunmuştur. Biyokimyasal değişimlerin daha iyi açıklanabilmesi için, Vitamin C kayıpları da incelenmiştir. Mikrodalga ile kurutma tekniği ile kurutulmaları sonucunda bamya ve ıspanak numunelerinin sahip oldukları Vitamin C değerlerinin sırasıyla %40.32 ve %27.45’ini kaybettikleri gözlemlenmiştir. Yapılan gözeneklilik analizleri sonucunda, bamya numunesinin kurutulması sırasında suyun transferini sağlayan gözenekler çok küçük olduğu için kullanılan cihaz tarafından gözlemlenememiştir. Ispanak numunesinin gözenekliliğinin ise mikrodalga çıkış gücü arttıkça ya da kurutulan numune miktarı azaldıkça arttığı saptanmıştır.

Kuruma, renk değişimi ve rehidratasyon kinetiklerine ait modelleme çalışmaları yapılmış; kuruma kinetiğinin Page modele, renk değişim kinetiklerinin sıfırıncı ve birinci dereceden kinetik modellere; rehidratasyon kinetiğinin ise Peleg modele uygunluk gösterdiği saptanmıştır. Ayrıca, aktivasyon enerji değerleri; elde edilen kinetik sabitler kullanılarak Arrhenius denklemi temel alınarak türetilen bir eksponansiyel denklem ile hesaplanmıştır. Mikrodalga tekniği ile kurutulan bamya ve ıspanak numuneleri için kurumaya ait aktivasyon enerjileri sırası ile 5.54 W.g⁻¹ ve 10.84 W.g⁻¹ olarak bulunmuştur. Renk değişimleri ve rehidratasyon oranları için de ayrıca aktivasyon enerji değerleri hesaplanmıştır.

Anahtar kelimeler: Bamya, Ispanak, Mikrodalga, Kuruma hızı, Renk değişimi, Rehidratasyon, Vitamin C, Matematiksel modelleme, Aktivasyon enerjisi

ABSTRACT

Utilizing a variety of food by drying has been a process being applied for centuries. The process, being achieved simply in early times, has a place in the food industry and a lot of new ones, high efficient, low cost and high quality in final products, have been developed in time. The method widely used for drying in an agriculture country, Turkey, is solar drying. However, solar drying is not a preferred method due to some disadvantages such as dusting, long period of drying, low efficiency and insufficient exposure to solar beam every time. In this stage, microwave drying has gained a great importance and alternative way due to rapid involving in food technologies.

In this study, the effect of microwave drying technique on drying characteristics, colour change kinetics, rehydration kinetics, Vitamin C loss and porosity of both okra and spinach have been examined. It has been observed that drying time has decreased by increasing the microwave output power or decreasing the sample amount. Although, the colour of okra samples changed obviously, the colour of spinach samples did not change significantly. Rehydration characteristics was also investigated at a constant temperature of 30°C and it was observed that the rehydration capacity of both okra and spinach samples was changed with in the percentage of 95.50 and 78.0% respectively. Both okra and spinach samples lost their Vitamin C with the percentage of 40.32 and 27.45% respectively. Finally, the porosity analysis was done. But, during drying, the pores of okra samples were not observed while the pores of spinach samples were increased with the increase in microwave output power or decrease in sample amount.

Mathematical modelling was done for drying, colour change and rehydration kinetics and observed that Page model was fitted to drying kinetic, zero and first order kinetic model were fitted to colour change kinetic and Peleg model was fitted to rehydration kinetic. Therefore, the activation energies for all kinetic parameters were calculated by using an exponential expression based on Arrhenius equation. The Activation energies for drying kinetic of okra and spinach were found as 5.54 W.g⁻¹ and 10.84 W.g⁻¹, respectively. In the same time, the activation energies for colour change kinetic and rehydration kinetic were calculated and represented in the present study.

Keywords: Okra, Spinach, Microwave, Drying time, Colour change, Rehydration, Vitamin C, Mathematical modelling, Activation energy

1. GİRİŞ

Gıda endüstrisinde kullanılan “kurutma” terimi genel olarak, ham, yarı işlenmiş ya da işlenmiş katı, sıvı ve yarı sıvı gıdaların içeriğinde bulunan suyun büyük bir bölümünün kontrollü koşullarda ısı uygulayarak buharlaştırma ya da süblimasyon yoluyla materyalden çıkarılması anlamına gelir.

Bu yöntemin endüstriyel boyuta taşınması ilk olarak 1795 yılında Fransa'da ilk fırın kurutucunun sebze ve meyvelerin kurutulmasında kullanılması ile başlamış, daha sonra özellikle savaş döneminde uzun süre saklanabilecek gıdalara ihtiyaç duyulmasından dolayı gitgide yaygınlaşmıştır.

İnsanoğlunun ilk zamanlarından beri uyguladığı en eski ve en yaygın gıda saklama yöntemi olan kurutarak saklama pek çok yöntem olmasına rağmen, daha az işçilik, daha az donanım gerektirdiğinden en çok tercih edilen yöntemdir. Kurutma, gıdanın içeriğindeki su miktarının belli bir seviyeye düşürmeye olanak sağlaması, mikroorganizmalar tarafından gerçekleştirilen çürümeyi engellemesi, kurutulan gıdaların uzun süre saklanabilmesi ve besin değerlerinin büyük ölçüde korunması gibi avantajları nedeniyle günümüzde de hala yaygın olarak kullanılan saklama tekniğidir.

Kurutulan gıdalarda istenilen niteliklerin, istenilen anlamda oluşmasını sağlamak için makine, donanım ve tesislerin tasarımı, seçimi, kurulması ve iletilmesi sırasında, kurutma konusu ile ilgili tüm ilkeler göz önünde bulundurulmalı ve optimum koşullar seçilmelidir.

Sıvı, yarı sıvı ve katı gıdaların kurutulması amacıyla yapılmış olan kurutucular birkaç temel yönteme dayanan makine ve donanımlardır. Buna karşın son üründen istenen nitelikler, en az ürün zararı, üstün rehidratasyon özelliği, ekonomik koşulların çeşitli ve farklı olmaları gibi faktörler, kurutucuların tasarım ve çalışma ilkeleri yönünden çok çeşitli tiplerin ortaya çıkmasına neden olmuştur.

Bilinen tüm kurutma yöntemleri arasında en çok kullanılanlar; sıcak hava ile kurutma ve açık havada kurutma yöntemleridir. Bu tür kurutma işlemlerinde verimin düşük olması, prosesin uzun sürmesi ve özellikle açık havada kurutma sırasında meydana gelen kirliliklerden ötürü mikrodalga ile kurutma yöntemi daha az proses süresi, daha yüksek verim ve rehidratasyon özelliği nedeniyle alternatif bir kurutma yöntemi olarak kullanılmaya başlanmıştır.

Bu çalışmada, mikrodalga ile kurutma yönteminin bamya ve ıspanak üzerindeki etkilerinin incelenmesi amaçlanmıştır. 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 bamya ve ıspanak hakkında genel bilgi verildikten sonra Bölüm 6’da literatürde yer alan gıdaların mikrodalga ile ilgili bazı çalışmalar 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 ifadeler türetilmiş ve istatistik veriler hesaplanmıştır. Ayrıca, elde edilen kinetik sabitler kullanılarak Aktivasyon enerji değerleri, Arrhenius denklemi temel alınarak türetilen bir eksponansiyel denklem ile hesaplanmıştır. Bölüm 9’da ise deneysel çalışmalardan elde edilen sonuçlar özetlenmiştir.

2. GIDALARIN KURUTULMASI

2.1 Gıdaların Kurutulularak Saklanması Tarihi

Kurutma genel olarak, küçük miktarda suyun gıdadan uzaklaştırılması anlamına gelir. Gıdanın kurutulması daha uzun süre saklanabilmesine, maksimum besin ögesi konsantrasyonunun sağlanmasına, daha az ambalaj malzemesi kullanımına ve daha az ulaşım maliyetine olanak sağlar. Kurutma işlemleri ile mikroorganizmaların neden olduğu çürüme ve bozulma gibi istenmeyen özellikler ortadan kalkar. Aynı zamanda gıdanın içinde bulunan pek çok enzim, su varlığı olmadan etki edemez. Su oranının %10'un altına düştüğü durumlarda mikroorganizmalar etkin değildir. Gıdanın kurutulması ve buna bağlı olarak içeriklerinde bulunan su içeriklerinin azaltılması sayesinde mikrobiyal güvenlik sağlanır ve biyokimyasal reaksiyon hızlarında azalma görülür (UNIDO, 2004a).

Milattan önceki zamanlarda pek çok gıdanın kurutulduğuna dair bilgiler mevcuttur. Fenikeli ve Akdenizli balıkçıların avlarını güneşte kurdukları bilinmektedir. Eski Mısır'da yapılan kazılarda kümbetlerin içinde kurutulmuş buğdaylara rastlanmıştır. Çinlilerin de çok eski zamanlardan beri çay yapraklarını kurdukları bilinmektedir. 15. ve 16. yüzyılda; pek çok denizci uzun seyahatler sırasında gıdalarını kurularak saklamışlardır. Örneğin; Kolombusun yeni keşifler için çıktığı yolculuklarda erzak olarak kurutulmuş yiyecekler aldığı eski metinlerde yazılıdır. Bu sayede gıdaların bozunması önlenmiş olduğu için pek çok hastalıktan korunabilmişlerdir [1].

17. yüzyılda ise; özellikle savaşlarda gıdaların uzun süre kullanılmasına gereksinim duyulduğundan, gıdaların kurutulması sanayide yerini almıştır. Fransızlar ilk fırın kurutucunun üretimini gerçekleştirmişler ve bu sayede sebze ve meyvelerin endüstri boyutunda kurutulmasının ilk adımını atmışlardır [1]. Özellikle savaş dönemlerinde; erzakın cephelelere taşınması sırasında daha hafif olması ve daha uzun süre saklanabilmesi gibi avantajlarından dolayı kurutulmuş gıdalar tercih edilmiş ve gıdaların kurutulması yaygın olarak kullanılmaya başlamıştır. İngiliz birlikleri Kırım Savaşı sırasında kendi topraklarından kurutulmuş gıdalar getirtmişler, Kanadalılar Güney Afrika'ya kurdukları gıdaları savaş zamanında göndermişlerdir ve 4500 ton kurutulmuş gıda Amerika tarafından Birinci Dünya Savaşı sırasında gemi ile cephelelere gönderilmiştir. Amerika 1919 yılından itibaren endüstriyel boyutta lahana, ıspanak, şalgam, kereviz, patates, tatlı mısır, çorba karışımları ve havuç kurutmaya başlamıştır (Barbosa-Canovas ve Vega-Mercado, 1996).

Meyvelerin dehidratasyonu 1800'lü yılların sonu ile 1900'lü yılların başında önemli bir dönüm noktası yaşamış ve güneşte kurutmanın yerini alacak olan sprey kurutucular 2. Dünya Savaşından önce geliştirilmiştir. Bu tür kurutucular genelde süt ürünleri ve yumurtaların kurutulmasında kullanılmıştır (Barbosa-Canovas, Mercado-Vega, 1996). 1960'lı yıllarda Kaliforniya Üniversitesi'nden bir grup bilim adamı hala daha yaygın olarak kullanılan tünel kurutucuları geliştirmiş ve başarılı sonuçlar almışlardır [2].

Mikrodalgaların ısı kaynağı olarak kullanımı II. Dünya Savaşı'ndan hemen sonra radar konusunda yapılan çalışmalar sırasında fark edilmiştir. Isı enerjisi olarak mikrodalga enerjisinden 1950'li yıllarda sanayide patates cipsi son kurutmasında yararlanıldığı, ilk ev tipi mikrodalga fırının Raytheon Lisansı ile 1955 yılında kullanıma sunulduğu belirtilmektedir. Gıda sanayisinde mikrodalga enerjisinden kurutma, haşlama, pişirme, pastörizasyon, sterilizasyon ve buz çözme gibi amaçlarla yararlanılmaktadır (Kanat, 2001).

2.2 Kurutma Yöntemleri

2.2.1 Doğal kurutma

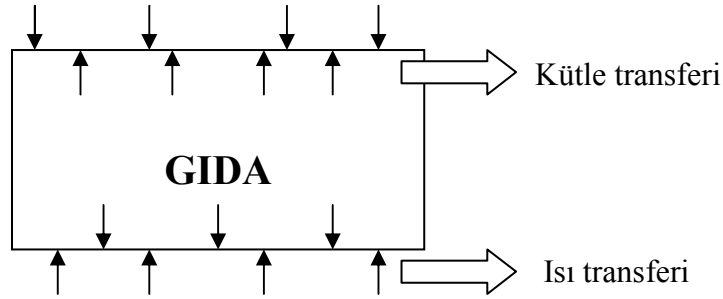
Güneş ısısından yararlanılarak ürünün yapısındaki su oranının azaltılması için uygulanan basit yönteme "doğal kurutma" denir. Ancak her ürünün güneşte kurutulma olanağı yoktur ve bazı ürünlerde bu yöntemin uygulanması doğru da değildir. Gıda son ürün kalitesi açısından incelendiğinde; kurutulan ürünün açık alanda tozlanması, çeşitli böcek, kuş ve benzer hayvanların gıdaya verecekleri zarar, önemli dezavantajlardır. Gıdaların doğal kurutulması için geniş alanlara gereksinim vardır. Kurutma işlemi çok yavaş gerçekleştiğinden kuruma süresi uzundur. Genellikle %15 su oranından daha aşağıya inilemez. Bu olumsuz yönleriyle doğal kurutma birçok gıda için uygun ve yeterli bir yöntem değildir (Soysal, 2004).

2.2.2 Yapay kurutma

Kurutma işleminin kapalı alanlarda ve kontrol edilebilir koşullarda yapılması yöntemine "yapay kurutma" denir. Bu tanımda, yapıdaki suyun tamamının ya da tamamına yakın bir bölümünün ürünün özelliklerinde önemli değişiklikler yapmaksızın uzaklaştırılması kavramı yatmaktadır. Kurutulmuş ürünlerdeki başlıca ölçüt, kurutulmuş gıdaların rehidratasyonu halinde eski durumlarına çok yakın bir hal almaları ya da eski durum ile rehidratasyon işleminden sonraki durum arasındaki farkın, fark edilemeyecek kadar önemsiz olmasıdır (Teymur, 1999).

2.3 Kurutmanın Prensipleri

Kurutma, eş zamanlı olarak gerçekleşen ısı transferi ve kütle transferi sayesinde suyun gıdalardan uzaklaştırılması prosesidir. Bu eş zamanlı fiziksel olaylar gıdanın kurutulması sırasında şöyle gerçekleşir; ilk olarak gıda çevresindeki sıcak hava ile temas eder ve ısınmaya başlar (ısı transferi) yüzeydeki nem tamamıyla kuruduktan sonra iç taraflarda bulunan nem difüzyon yolu ile (kütle transferi) yüzeye taşınır ve buradan buharlaşması sağlanır (Krokida vd., 2002). Bu işlemlerin şematik gösterimi Şekil 2.1’de gösterildiği gibidir. Kurutma işlemi sırasında ısı ve kütle transferini etkileyen parametreler; ortam sıcaklığı, ortamdaki havanın nemi, gıdanın yüzey alanı ve basınç olarak sıralanabilir (UNİDO, 2004a; Decereau, 1985).

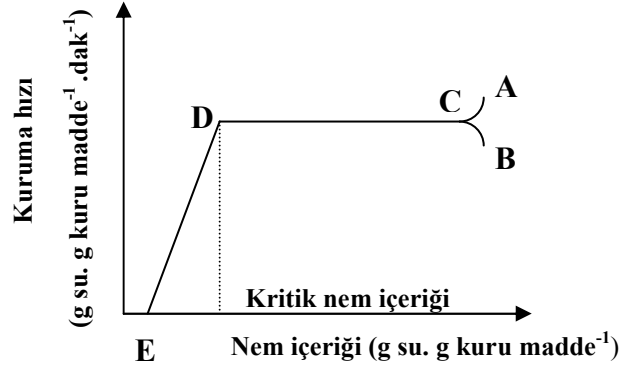


Şekil 2.1 Gıdaların kurutulması sırasında meydana gelen taşınım olayları (UNİDO, 2004a)

2.4 Gıda Kurutmanın Temel Aşamaları

Pek çok gıdanın farklı koşullarda kurutulmaları sonucunda elde edilen kuruma eğrileri farklı olmakla birlikte genelde gıdaların kurutulması sırasında, 2 farklı kuruma periyodu gözlemlenir. En başta kurumanın yüksek bir hızda gerçekleştiği ve nemin büyük bir kısmının uzaklaştırıldığı sabit hız periyodu, daha sonra ise; su içeriğinin artık azalmış olmasından dolayı hızın yavaşladığı ve nispeten daha az suyun buharlaştırıldığı, uzun süre alan azalan hız periyodu gözlemlenir (Baker, 1997).

Şekil 2.2’de gösterildiği gibi; gıdaların kurutulması sırasında elde edilen tipik bir eğride, CD arasındaki kısım sabit hız ile kurumanın olduğu, DE arasındaki kısım ise azalan hızda kurumanın olduğu aralıklardır. Grafikte gösterilen AC arası gıdanın kurutma işlemine başlarken sıcak olması durumunda gerçekleşir. BC arasındaki bölüm ise, gıdanın kurutma işlemine başlandığında soğuk olması durumunda elde edilen eğridir. C noktasında sistem artık dengeye gelir ve kurutma işlemi kararlı halde devam eder (Toledo, 1991).



Şekil 2.2 Gıdaların kuruma eğrisi (Baker, 1997)

2.4.1 Sabit hızda kuruma periyodu

Sabit hızda kuruma periyodunda, katının yüzeyi ıslaktır ve kuruma yüzeyinde suyun ısıtma ortamına transferini sağlamak için bir film tabaka oluşmuştur. Gıdanın bünyesinde bulunan serbest haldeki su, bu film tabakası sayesinde yüzeyden havaya transfer edilir. Bu periyotta buharlaşma hızı, katıdan bağımsız ve aynı koşullardaki serbest haldeki suyun, buharlaşma hızı ile aynı değerdedir (Baker, 1997).

Eğer gıdanın yapısı gözenekli bir yapıya sahip ise, sabit hızda kuruma periyodunda buharlaştırılan suyun büyük bir bölümü iç kısımlarda bulunan bünye nemidir. Sabit hızda kuruma periyodunda, kuruma hızı; kurutulan gıdanın dilim kalınlığına, sıcaklığa, toplam basınca ve kısmi buhar basıncına bağlı olarak değişir (Toledo, 1991; Baker, 1997).

2.4.2 Azalan hızda kuruma periyodu

Gıdaların kurutulması sırasında kritik nem içeriğine gelindikten sonra sabit hızda kuruma periyodundan azalan hızda kuruma periyoduna geçilir. Kritik nem içeriği yüzeyde artık suyun hiç kalmadığı andaki nem içeriği değeridir. Her bir gıdanın kritik nem içeriği değeri farklıdır. Bu noktadan sonra, gıdanın yüzeyi artık kurudur ve bu yüzden gıdanın iç kısımlarında bulunan su, buhar olarak yüzeye taşınır ve gıdadan uzaklaştırılır. Bu periyotta gıdanın nem kaybı az olmasına rağmen sabit hızda kuruma periyodundan daha uzun sürer. Bunun nedeni, gıdanın içerisindeki suyun azalmış olmasıdır. Azalan hızda kuruma periyodunda kuruma hızı devamlı düşme gösterir. Azalan hızda kuruma periyodunda kütle transferi çözümü zor bir mekanizma olmasına rağmen, etkin tek fiziksel olayın difüzyon olduğu kabul edilir (Abe ve Afzal, 1997). Difüzyon teorisi ile kütle transferi açıklanırken işlemlerde kolaylık açısından

bazı varsayımlar yapmak gerekir (Crank, 1975). Bunlar;

- Gıdanın içinde bulunan nem, gıdanın her yerine eşit olarak dağılmıştır,
- Kütle transferi gıdanın merkezine göre simetriktir,
- Kütle transferine yüzey direncinin etkisi, iç dirence göre çok az olduğundan ihmal edilebilir,
- Kütle transferi sadece difüzyonla gerçekleşir,
- Difüzyon katsayısı sabittir ve gıda yüzeyindeki büzüşme ihmal edilebilir.

2.5 Kuruma Hızını Etkileyen Faktörler

Gıdaların kurutulması sırasında, kuruma hızı pek çok faktörden etkilenmektedir. Kuruma hızına doğrudan doğruya etki eden başlıca faktörler; sıcaklık derecesi, havanın nemi ve havanın kurutucudaki hızı, yüzey alanı (parça iriliği, şekli, yığın kalınlığı vb.) gibi fiziksel faktörler olarak sınıflandırılabilir (Krokida vd., 2002).

2.5.1 Sıcaklık

Gıdaların kurutulması sırasında; kuruma hızını etkileyen en önemli faktörlerden birisi, kullanılan kurutucuda uygulanan kurutma sıcaklığıdır. Kurutma işlemi sırasında sıcaklık derecesi arttıkça difüzyon hızı artar, buna bağlı olarak kuruma hızı yükselir ve kurutma süresi kısalır. Gıdaların kurutulması sırasında yüksek sıcaklık uygulamanın avantajları şöyle sıralanabilir (Pratt, 1974);

- Yüksek sıcaklıklarda havanın nem tutma oranı yüksek olduğundan, yüksek buhar basıncı sağlanır ve böylece daha hızlı bir kurutma işlemi gerçekleşir,
- Isı kayıpları en aza indirilmiş olur,
- Gıdanın erişeceği denge nem içeriği yükselir.

Ancak; yüksek sıcaklıklarda kurutmanın getirdiği avantajlar yanında bazı dezavantajları da bulunmaktadır. Özellikle ince tabaka halinde olan gıdalarda yüksek sıcaklıklarda yanma ve buna bağlı olarakta besin değeri kayıpları gözlemlenebilir (Pratt, 1974).

2.5.2 Kurutma havasının hızı

Gıdaların kuruma hızına etki eden diğer bir faktör, kurutucudaki kurutma havasının hızıdır. Çünkü uygulanan sıcaklıkta kurutma havasının gıdadan absorplayabileceği nem miktarı sınırlıdır. Özellikle düşük hava hızlarında gıdanın yüzeyinden absorplanan nem, kurutma havasının kısa zamanda doymuş hale gelmesine neden olur ve hava debisi düşük olduğundan

doygun halde olmayan kurutma havası ile yer değiştirmesi zaman alır ve böylece gıdanın kurutulması uzun sürede gerçekleşir. Ancak, yüksek kurutma havası hızlarında, doygun havanın, hava dolaşımı sayesinde doygun halde olmayan kurutma havası ile yer değiştirmesi daha çabuk olacağından kurutma işlemlerinde yüksek kurutma havası hızı tercih edilir [3].

Aynı zamanda, kurutulan maddenin yüzeyinde kuruma sırasında oluşan film tabakanın oluşması önlenirse, suyun buharlaşmasında bir hızlanma belirir. Hava hızı, bu film tabakayı devamlı olarak sürüklemek suretiyle kuruma hızını arttırıcı yönde etkide de bulunmaktadır. Ancak, hava hızının olumlu etkisi, kurutmanın bulunduğu periyoda göre değişir. Kurutmanın başlangıç aşamalarında hava hızı çok etkili olmasına rağmen, kurutma işleminin ileri aşamalarında kuruma hızı artık alt tabakalardaki suyun yüzeye taşınma hızı ile sınırlandırıldığından, hava hızının yüksek olmasının bu konuda bir etkisi bulunmamaktadır (Barbosa-Canovas ve Mercado-Vega, 1996).

2.5.3 Kurutulan gıdanın yüzey alanı

Kurutulacak gıdanın birim yüzey alanı, ısı ve kütle aktarım hızını etkileyen bir değer değişkendir. Daha büyük yüzey alanı elde ederek daha geniş bir ısıtıcı yüzeyde ısı transferini sağlayabilmek için, ürün küçük parçalara ya da ince dilimlere bölünmelidir. Böylece nemin uzaklaşacağı alan arttırılmış olur. Çok ince dilimlerin seçilmesinin gıdanın yanmasına neden olma ihtimali olduğundan, kullanılabilir optimum dilim kalınlığı seçilmelidir (Heldman ve Hartel, 1997).

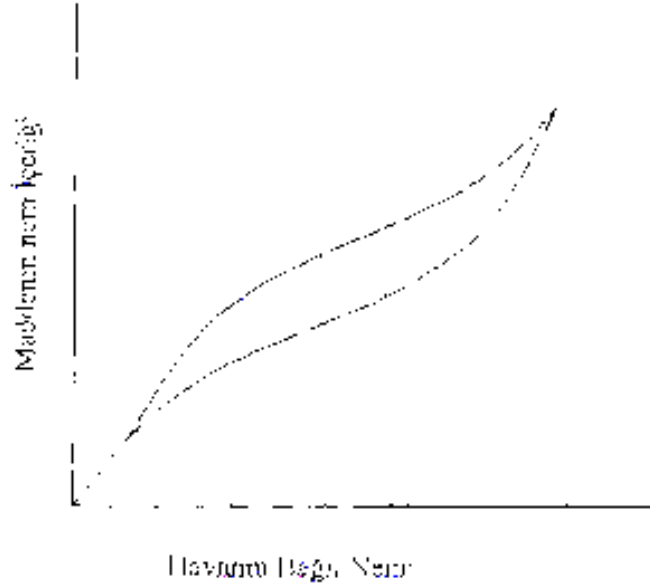
Küçük parçacıklar ya da ince dilimler, ısının kurutulan gıdanın merkezine ilerleme süresini kısaltarak daha kısa zamanda gıdanın neminin uzaklaştırılmasını sağlar. Gıdanın kuruma hızı, ürün dilim kalınlıkları ile ters orantılı olarak, gıdanın yüzey alanı ile doğru orantılı olarak değişir (Heldman ve Hartel, 1997).

2.5.4 Ortamın nem içeriği

Kurutulan gıdanın içerdiği nem miktarı ortamda bulunan su buharı miktarına göre değişiklik göstermektedir. Ortamın nemi arttırıldığında ve azaltıldığında maddedeki nem değişimi farklı karakteristiklere sahip olmaktadır. Maddenin içinde bulunduğu havanın nem miktarının sabit sıcaklıkta değiştirilmesi ile maddenin içerdiği nem miktarındaki değişimi gösteren eğriler sorbsiyon izotermi olarak adlandırılırlar (UNIDO, 2004a).

Sabit sıcaklıkta ortamın neminin arttırılması ile meydana gelen, maddenin içerdiği nem miktarındaki değişim adsorbsiyon (maddenin nem alması), yine sabit sıcaklıkla ortamın

neminin azaltılması ile maddenin içerdiği nem miktarındaki meydana gelen değişim desorbsiyon (maddenin nemini kaybetmesi) olarak adlandırılmaktadır (Baker, 1997; UNIDO, 2004a). Genelde çoğu madde için bu izoterm eğrileri birbirinden farklılık göstermektedir. Kurutulan gıdalardaki nem miktarı havanın bağıl nemine bağlı olarak değişimi Şekil 2.3'te verilmiştir (Baker, 1997).



Şekil 2.3 Kurutulan gıdanın nem içeriğinin bağıl nem ile ilişkisi (Baker, 1997)

2.5.5 Kurutulan gıdaya özgü özellikler

Ürünün kendine özgü olarak kuruma süresince değişen özellikleri de gıdaların kurutulması sırasında etkilidir. Örneğin; maddenin içindeki ısı geçişi, dolayısıyla sıvı ve buhar fazına geçen ısı, maddenin ısı iletkenliğine bağlı olduğundan kuruma hızını etkilemektedir. Gıdanın kimyasal yapısı da kuruma üzerinde etkilidir. Küçük moleküllü erimiş (şeker, tuz vb.) maddelerce zengin bir gıda, bu maddelerin daha az bulunduğu bir gıda ile kuruma açısından kıyaslanırsa, çözülmüş maddelerin suyun buhar basıncını düşürerek buharlaşma işlemini güçleştirmesinden dolayı, erimiş maddelerce zengin olanın daha zor kuruduğu görülür (Potter ve Hotchkiss, 1995; Kanat, 2001).

Aynı şekilde, ortamda yağ bulunması kuruma hızını olumsuz olarak etkileyen bir faktördür. Yağın sürekli faz olduğu bir emülsiyonda, yağ damlacıkları su molekülerinin etrafını sardığından böyle bir sistemde suyun buharlaşarak uzaklaşması çok güçtür (Potter ve Hotchkiss, 1995).

Diğer taraftan gıdalarda bulunan serbest su, gıdada öncelikle ve kolaylıkla uzaklaşabilen su olduğu halde, katı parçacıklara adsorbsiyonla bağlanan su daha zor uzaklaştırılabildiğinden nişasta ve pektince zengin maddelerin kurutulması oldukça zordur. En zor uzaklaştırılan su ise, glikoz monohidratta olduğu gibi, hidrat formunda kimyasal bağlı sudur. Böylece maddenin bileşiminin suyu bağlama şekli üzerine etki ettiği görülmektedir (Potter ve Hotchkiss, 1995).

2.6 Gıdaların Kurutulması Sırasında Meydana Gelen Kimyasal ve Fiziksel Değişimler

Kurutma sırasında, oluşan kimyasal ve fiziksel değişimler gıdalarda; kalite kaybına, besin değerinin düşmesine ve tüketiciler tarafından kötü olarak değerlendirilmesine neden olmaktadır. Gıdaların hepsinde bozunma olmasıyla birlikte, bozunma miktarı; gıdanın tipine, içeriğine, depolanması sırasındaki ortama ve kurutma işlemi şartlarına göre değişmektedir (Keey, 1978; Baker, 1997). Gıdaların kurutulması sırasında meydana gelen değişimler Çizelge 2.1’de gösterilmiştir.

Çizelge 2.1 Gıdaların kurutulması sırasında meydana gelen değişimler (Baker, 1997)

Kimyasal Değişimler	Fiziksel Değişimler	Biyokimyasal Değişimler
Esmerleşme reaksiyonları	Rehidratasyon kapasitesi	Vitamin kayıpları
Lipid oksidasyonu	Büzülme	Protein kayıpları
Renk değişimleri	Dokusal değişimler	Mikroorganizmaların inaktivasyonu

2.6.1 Kimyasal değişimler

2.6.1.1 Esmerleşme reaksiyonları

Gıdanın işlenmesi sırasında olduğu kadar saklama aşamasında da meydana gelen değişimler “Esmerleşme Reaksiyonları” olarak adlandırılır. Gıda stabilitesini korumak ve teknolojileri geliştirmek ile ilgilenenler için önemli bir konudur. Gıdanın yapısında oluşan esmerleşme reaksiyonları, gıdanın besin değerlerinin, tadının, renginin ve görünümünün değişmesine neden olur. Tüketicinin alışmış olduğu geleneksel damak zevkine uyabildiği halde (ekmek, bira, kahve vb.) rengi ve tadı kötü etkilediğinden sebze ve meyvelerin dondurulması ve kurutulmasında genelde istenmeyen bir özelliktir (Eskin vd., 1971; Maskan, 2001a).

Esmerleşme reaksiyonunun hızı; kuruma hızına, pH, nem içeriğine, süreye ve gıdanın bileşimine bağlıdır. Reaksiyon hızı yüksek sıcaklıkta kurutma sırasında ve yüksek şeker içeriği olan gıdalarda daha fazladır (Maskan, 2001a).

Özellikle gıdaların işlenmesi sırasında yüksek sıcaklıklarda işlem görmeleri nedeniyle oluşan renk değişimleridir. Enzimlerin etkin olmadığı durumlarda varlıklarını gösterirler. Bu tip reaksiyonlarda tıpkı enzimatik reaksiyonlarda olduğu gibi gıdanın kalitesinin azalmasına, renginin, kokusunun ve tadının değişmesine neden olur. Bu tip esmerleşme reaksiyonları depolama sırasında da görülebilmektedir. Enzimatik olmayan esmerleşme reaksiyonları 2'ye ayrılır (UNIDO, 2004b; Galiboğlu, 1990);

- Maillard Reaksiyonları
- Karamelizasyon

Maillard reaksiyonları ilk defa; Fransız bir kimyacı olan Maillard tarafından 1912 yılında keşfedilmiştir. Maillard'a göre glikoz ve glisin içeren gıdalar yüksek sıcaklarda işlem gördüğünde kahverengi bir renge sahip melanoidlere dönüşmektedir. Bu değişim gıdanın sadece rengini değil, kokusunu, dokusunu ve tadını etkilemektedir [1,2]. Maillard reaksiyonları, aminoasitlerin ve proteinlerin şeker üstündeki etkilerini inceler. Gıdanın içeriğindeki karbonhidrat indirgenmiş şeker olmalıdır. İndirgenmiş şeker, daha sonra melanoidlere ve amin yapılarına dönüşerek gıdanın kahverengi rengi almasına neden olur (Eskin vd., 1971). Maillard reaksiyonları sadece monosakkaritlerin varlığında değil disakkaritlerin varlığında (Laktoz, Maltoz vb.) gerçekleşebilmektedir. Maillard reaksiyonları pek çok faktörden etkilenebilmektedir (Ames, 1998);

- Gıdanın nem içeriği
- Sıcaklık
- Zaman
- pH
- Su aktivitesi
- Oksijen-metal varlığı
- İnhibitörler

Diğer enzimatik olmayan reaksiyon tipi karamelizasyondur. Aminoasit veya proteinin olmadığı anhidrit ortamlarda gıdanın yüksek sıcaklıklarda işlem görmesi sonucunda meydana gelmektedir. Reaksiyon mekanizması kısaca; gıdanın yapısında bulunan şekerin gıdanın

kurutulması sırasında erime noktasının üzerine çıkarak karamelize olmasıdır (UNIDO, 2004a). Değişik şeker yapılarının karamelize olma sıcaklıkları farklı farklıdır. Örneğin; Sakkaroz ve Glikoz yaklaşık 160°C sıcaklıkta karamelize olurken, Fruktoz, 110°C sıcaklıkta karamelize olmaktadır. Genel olarak asit veya baz katalizörlüğünde 120°C üstünde ve $3 < \text{pH} < 9$ ortamında gerçekleşir [4].

Enzimatik olmayan esmerleşme reaksiyonları, istenmeyen renk değişimleri nedeniyle kurutulmuş gıdaların raf ömürlerinin kısılması, askorbik asit parçalanması, potansiyel toksik etkisi yaratması ve metal iyonları ile kompleks oluşturması sonucu minerallerin bozulması gibi dezavantajlarından dolayı istenmeyen reaksiyonlardır (Bostan, 1997).

2.6.1.2 Lipid oksidasyonu

Lipid oksidasyonu oksijenli ortamda, serbest radikallerin katalizörlüğünü yapan metallerin varlığında meydana gelir. Gıdaların vitamin içeriklerini kaybetmesine, tat ve koku kayıplarına neden olan önemli bir esmerleşme reaksiyonudur. Oksidasyon hızını etkileyen temel faktörler; kurutulan gıdanın nem içeriği, kurutma ortamında bulunan oksijen miktarı, sıcaklık, metal iyonlarının ve antioksidanların varlığı ve protein içeriği olarak sayılabilir. Gıdaların kurutulması ve depolanması sırasında ortamdaki oksijen miktarının düşürülmesi sayesinde Lipid oksidasyonu engellenebilir (UNIDO, 2004b).

2.6.1.3 Renk değişimleri

Renk, ışığın spektral dağılımından meydana gelen görsel bir özelliktir. Doğal gıdaların renkleri içerdikleri çok çeşitli kimyasal formlara sahip olan ve pigment olarak tanımlanan maddelerden kaynaklanmaktadır. Meyveler ve sebzeler gibi doğal kaynaklı birçok ürün çeşitli renklere sahip olup, çekicilikleri renkleri ile ilgilidir. Renk gıdaların duyuşsal özellikleri yönünden ele alındığında, tüketici tercihi açısından, gıdanın çekiciliğinde önemli bir rol oynamaktadır (DeMan, 1990; Maskan, 2001b).

Gıdaların kurutulması sırasında, gıdaların rengini veren karoten pigmentleri, ısı ile bozunarak okside olurlar. Bu da gıdanın renginde değişimlere neden olur. Genel olarak, uzun kurutma zamanları ve yüksek sıcaklıklar pigmentlerin daha çok bozunmasına ve gıdanın renginin daha çok değişmesine neden olur. Gıdaların renginin kurutma sırasında değişmesini engelleyebilmek için gıdanın cinsine bağlı olarak sülfürleme veya askorbik asit ile yıkama gibi ön işlemlerden geçirilmesi gerekir (DeMan, 1990).

Tüketici tarafından kalitenin bir göstergesi olarak kabul edilen kurutulmuş gıdaların renkleri farklı yöntemlerle ölçülebilir. Renk ölçüm sistemlerinin başlıcaları; CIE sistem, Hunter L, a, b sistem ve Munsell sistemi olarak sınıflandırılır (Giese, 2003).

2.6.2 Fiziksel değişimler

2.6.2.1 Rehidratasyon oranı

Rehidratasyon, gıdanın kurutulması sırasında desorpladığı suyun geri kazanılabilmesi için belirli bir sıcaklıktaki su içinde bekletilmesi işlemidir. Gıdaların kurutulmaları sırasında yapılarında ve dokularında pek çok değişim olduğundan dolayı, kaybetmiş olduğu su miktarı ile rehidratasyonu sonucunda geri absorpladığı su miktarı eşit değildir. Gıdanın kurutma sonrasında geri absorpladığı su miktarının, gıdanın kurutulması sırasında desorpladığı su miktarına oranı “Rehidratasyon Oranı” olarak adlandırılır. Rehidratasyon oranı; gıdanın nem içeriğine, hücresel ve dokusal bozunma miktarına, kurutma ortamının cinsine ve sıcaklığına bağlı olarak değişmektedir (Lewicki, 1998; Lee vd., 2004).

2.6.2.2 Büzülme

Sebze ve meyveler gibi lifli yapıların kurutulması sırasında, özellikle kurutmanın ilk aşamalarında %40-50'ye varan büzülme meydana gelir. Büzülme, kurutulan gıdanın yüzeyinin daralmasına ve sert bir hal alarak su geçişine izin vermemesinden dolayı kuruma hızını düşüren bir faktördür. Pek çok gıdada, yüksek sıcaklıklarda kurutma işlemi yapıldığında, gıdanın yüzeyinden birim zamanda transfer olan su miktarı arttığından dolayı büzülme miktarı da artmaktadır (Fenemma, 1975; UNIDO, 2004c).

Büzülmenin etkisinin azaltılabilmesi için, gıdanın daha nemli bir hava ile veya daha düşük bir sıcaklıkta kurutulması gerekmektedir. Bu sayede kuruma hızı da yavaşlar ve gıdanın yüzeyinden birim zamanda transfer olan su miktarı azalır. Böylece büzülme miktarı da azalma gösterir (Fenemma, 1975). Aynı zamanda; literatürde; gıdaların mikrodalga ile kurutulduklarında diğer kurutma yöntemleri ile kurutulmalarına nazaran daha az büzülme gösterdikleri ifade edilmiştir (Panyawong ve Devahastin, 2007).

2.6.2.3 Dokusal değişimler

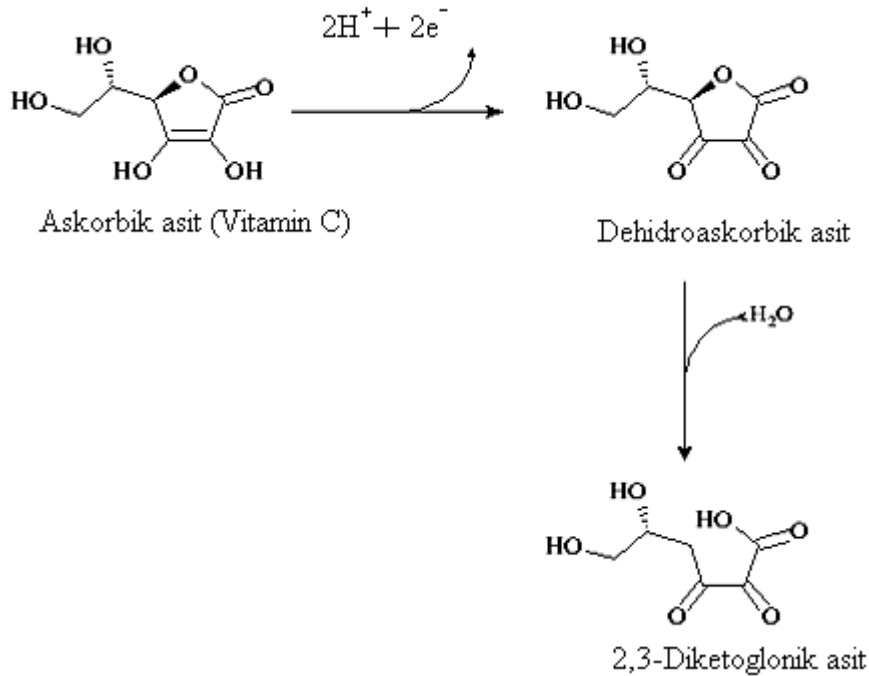
Gıdaların kurutulması sonucunda dokularında meydana gelen değişimler, kurutma işlemi sonucunda gıda yüzeyinde meydana gelen değişimlerin bir göstergesidir. Dokusal özellikleri etkileyen faktörler; gıdanın nem içeriği, ortamın pH'ı, gıdanın boyutları, gıdanın besin içeriği,

kurutma ortamı ve kurutma sıcaklığıdır. Gıdalarda kurutma sırasındaki dokusal değişimlere bağlı olarak meydana gelen kimyasal değişimler; pektinin bozunması, selüloz kristalizasyonu ve nişastanın jelâtinleşmesi olarak sıralanabilir. Genel olarak, yüksek sıcaklık ve buna bağlı olarak değişen yüksek kurutma hızları ile dokusal değişimler doğru orantılı olarak değişir. Sıcaklık ve hız arttıkça, dokudaki değişimlerde artmaktadır (Fellows, 2000).

2.6.3 Biyokimyasal değişimler

2.6.3.1 Vitamin kayıpları

Gıdaların kurutulması, besin kayıplarına yol açabilmektedir. Özellikle gıdaların yapılarında bulunan yağda (Vitamin A, D, E ve K) ve suda-çözünebilen (Vitamin B ve C) vitaminlerin kurutma işlemi sırasında meydana gelen oksidasyon ürünleri ile reaksiyonları sonucunda gıdaların besin değerlerinde azalma görülür (Hernandez vd., 2006). Örneğin; gıdaların kurutulması sırasında Vitamin C'nin (askorbik asit) bozunması ile meydana gelen kimyasal değişimler Şekil 2.4'te gösterilmiştir. Vitamin kayıplarının azaltılabilmesi için kurutma süresi kısa tutulmalı ve depolanmaları sırasındaki sıcaklık, nem miktarı ve oksijen düzeyi düşük tutulmalıdır (Teymur, 1999).



Şekil 2.4 Gıdaların kurutulması sırasında meydana gelen Vitamin C oksidasyonu (Hernandez vd., 2006)

2.6.3.2 Protein kayıpları

Proteinler, gıdaların kurutulmaları sırasında uygulanan kurutma yönteminden olduğu kadar, kurutma sırasında meydana gelen fiziksel ve kimyasal değişimlerden de etkilenirler. Teorik olarak gıdalarda bulunan su içeriğinin azaltılması ile proteinlerin stabilitelerinin artmasından dolayı gıdaların kurutulması sırasında, proteinlerin biyolojik değeri ve sindirim özelliği kaybolmamaktadır (Allison vd., 1998; Okos vd., 1992).

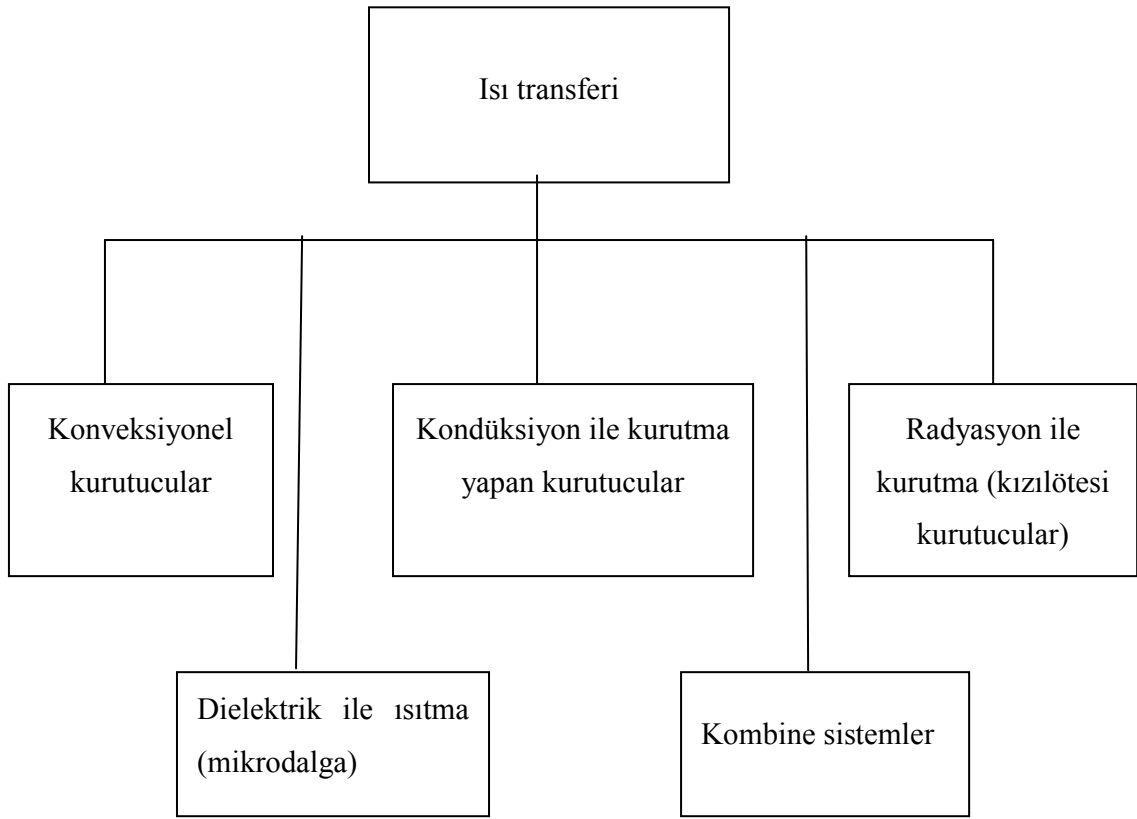
2.6.3.3 Mikroorganizmaların inaktivasyonu

Susuz ortamlarda canlıların yaşaması mümkün değildir. Mikroorganizmalar da yaşamak ve çoğalmak için suya ihtiyaç duyarlar. Mikroorganizmaların bozunmalarını sağlamak için gıdaların kurutulması çok eskiden beri uygulanan saklama yöntemlerinden biridir. Bakterilerin kullanabileceği su gıdadan buharlaştırıldığı için kurutulmuş gıdalarda bakteri üretmesi olmaz [5].

3. ENDÜSTRİYEL KURUTUCULAR

3.1 Kurutucuların Sınıflandırılması

Gıdaların kurutulması, ısı, kütle ve momentum transferini kapsayan karmaşık bir mekanizmaya sahiptir. Gıdaların tazeliklerini ve besin değerlerini koruyarak uzun süre saklanabilmesi açısından, kurutarak saklama yöntemi, diğer saklama yöntemlerine göre %10 enerji tasarrufu sağlamaktadır. Endüstride 200'e yakın kurutucu kullanılmasına rağmen, bunlardan 20 kadarı gıdaların kurutulmasına elvermektedir (Baker, 1997; Fellows, 2000). Şekil 3.1 ısı transfer yöntemine göre kurutucuların sınıflandırılması gösterilmektedir.



Şekil 3.1 Isı transfer yöntemine göre kurutucuların sınıflandırılması (Baker, 1997)

Kurutucuların diğer bir sınıflandırılma çeşidi ise; operasyon cinsine göre (kesikli ve sürekli) olarak yapmak mümkündür. Kesikli reaktörler, küçük ölçekli (<50 kg/saat) durumlarda kullanılır. Ancak, her kurutucunun kesikli olarak kullanılması mümkün değildir. Özellikle sprey, fırın ve döner kurutucuların kesikli olarak kullanılmaları mümkün değildir. Bunun yanı sıra, akışkan yataklı sistemler, mikrodalga fırınlar ve konveksiyonel fırınların hem kesikli hem de sürekli olarak kullanılmaları mümkündür (Fellows, 2000; Baker, 1997).

Kurutucuların modellenmesi sırasında pek çok kademe ve işlem bulunmaktadır. Ancak, uygun olan proses parametrelerinin belirlenmesi sırasında, kurutulacak olan gıdanın içeriğinde bulunan besinlerin (proteinler, vitaminler, mineraller vb.) bozunmasına neden olabilecek sıcaklığın aşılmasına özen gösterilmelidir (Baker, 1997). Yaygın olarak kullanılan kurutucu tipleri şöyle sıralanabilir;

3.1.1 Fırın tipi kurutucular

En pratik kurutma yöntemlerinden biridir, çok küçük bir yatırım gerektirmektedir. Genellikle kurutma işlemi hava şartlarına bağlı değildir. Sürekli kullanım için fırın kurutucuları tavsiye edilmemektedir, çünkü diğer kurutuculara göre verimleri düşüktür, ayrıca fırınlarda düşük kurutma sıcaklığı sağlanamamaktadır. Bu da ürün kalitesini etkileyebilmektedir (Çalışkan, 2002).

3.1.2 Kabin kurutucular

Kurutma kabininde kurutulacak olan maddeler kurutma havası ile temas yüzeyini arttıracak şekilde tepsilere yerleştirilmektedir. Tepsiler, ürünün kurutma havasıyla temas ettiği, kurutucu bölüme sürülmektedir. Kabin kurutucular çoğunlukla birkaç tonluk kapasitede yapılırlar. Sabit yatırımı genellikle az, çalıştırılmaları kolaydır (UNIDO, 2004d).

3.1.3 Tünel kurutucular

Sürekli veya yarı sürekli olarak çalıştırılan tünel kurutucular geliştirilmiş kabin kurutuculardır. Bu tip kurutucularda ürün tepsilere yerleştirilir, tepsiler üst üste raflara konur ve sonra ürün tepsilerinden oluşan çok raflı sistem hava tüneline yerleştirilir (Barbosa-Canovas ve Vega-Mercado, 1996).

3.1.4 Pnömatik kurutucular

Bu tip kurutucularda kurutma havası kurutma işleminden başka kurutulacak maddenin sistem boyunca taşınması görevini de üstlenmektedir. Bu nedenle pnömatik kurutucular akışkan yataklı kurutucuların genişletilmiş bir şekli olarak düşünülebilir. Kurutulacak maddenin aynı zamanda taşınabilmesi için daha büyük hava hızları kullanılmaktadır. Bu tip kurutucularda yüksek kurutma oranlarına ulaşılabilir [6].

3.1.5 Püskürtmeli kurutucular

Püskürterek kurutma, sıvı haldeki veya çamur kıvamında olan maddelerin kurutulmasında kullanılan gelişmiş yöntemlerden biridir. Bu tip kurutmada sıvı haldeki maddeler sisteme püskürtülür ve damlacıklar halinde sıcak hava akımı ile temas eder, sonuçta kuruyan madde toz haline gelir. Bu tip kurutmanın belirgin özellikleri kısa sürede kurutmanın gerçekleştirilmesi ve son sıcaklıkların düşük olmasıdır. Püskürterek kurutmada ilke, kurutulacak olan ürünün atomize edilmesi ile çok geniş bir yüzey kazandırılması ve böylece sıcak hava içinde hızlı bir kurutma sağlanmasıdır (Çalışkan, 2002).

3.1.6 Vakum kurutucular

Bu kurutucularda kurutma vakum altında, düşük sıcaklıklarda gerçekleşir. Gerek tesis ve gerek işletme masrafları yüksek olduğundan, ısıya çok duyarlı ürünlerin kurutulmalarında veya nem içeriğinin çok düşük düzeye düşürülmesi gereken ürünlerde uygulanmaktadır. Vakum kurutucularda hem sıvı hem katı parçacık halindeki ürünler kurutulabilmektedir (Brennan, 1969).

3.1.7 Döner kurutucular

Bu sistemlerde gıda maddesinin yapısında bulunan suyun buharlaşması için gerekli ısı maddeye iletimle verilir. Döner kurutucular, kendi yatay eksenlerinde dönen bir veya iki adet içi boş silindir içerir. Bu silindirler buhar, su veya başka bir sıvı tarafından ısıtılır. Kurutulacak madde yüzeye uniform kalınlıkta film halinde yayılır. Silindir döndükçe kurutma gerçekleşir ve kuruyan madde yüzeyden bir bıçak yardımıyla sıyrılarak alınır [6].

3.1.8 Dondurarak kurutmanın yapıldığı kurutucular

Bu yöntemde, donmuş halde bulunan su süblimleştirilerek, doğrudan buhar haline geçer. Dondurarak kurutma işleminin en belirgin üstünlüğü, nemin uzaklaştırılması veya kurutma işlemi sırasında, ürünün yüksek sıcaklıklara maruz kalmamasıdır. Genel olarak ürün önce dondurulur sonra ürün yüzeyine ısı uygulanarak buzun süblimleşmesi sağlanır. İşlem başlangıcında, ürünün yüzeyine uygulanan ısı o noktada süblimleşmeye yani buharın uzaklaşmasına neden olur. Başlangıçta gözlenen bu süblimleşme ile buharın uzaklaşması, buz yüzeyinin geri çekilmesine neden olur. Buz yüzeyi, ürün içine doğru hareket ederken, dondurarak kurutma debisini, ısı transferi ve buhar difüzyonu belirler [6].

3.1.9 Mikrodalga kurutucular

Mikrodalga 300 MHz ile 300 GHz frekans aralığındaki elektromanyetik dalgalardır. Dielektrik maddelerin ısıtılmasında rol oynayan iki ana mekanizma dipol rotasyon ve iyonik polarizasyondur. Nem içeren gıda maddesi mikrodalga radyasyonuna maruz kaldığında, su gibi dipol molekülleri, hızlı bir şekilde değişen elektrik alanıyla birlikte dipolleri sıraya sokma eğilimi gösterir. Sonuç olarak oluşan sürtünmeyle ısı açığa çıkar ve bu ısı komşu moleküllere iletilir. Mikrodalgayla kalın maddeler kolaylıkla ısıtılabilir, ayrıca yüksek nem içeriğine sahip maddelerin çeşitli bölgeleri seçimli olarak ısıtılabilir. Mikrodalgayla ısıtılan ürün içerisinde bulunan serbest nem hızla buharlaşır ve uzaklaştırılan nem oranı taşınımıyla kurutmaya göre daha yüksektir (Baker, 1997; Decereau, 1992; [7]).

4. MİKRODALGA ve GIDA SANAYİİNDE KULLANIMI

4.1 Mikrodalganın Tarihçesi

Mikrodalga teknikleri ve birçok uygulamaları askeri ekipmanların üretimi ve dizaynı üzerine çabaların yoğun olduğu 2. Dünya Savaşı sırasında başlamış ve gelişmiştir. İlk mikrodalga enerjisi üreten elektrik tüpleri İngiltere'de Sir John Randall ve Dr. H. A. Boot tarafından 1940 yılında icat edilmiştir (Decereau, 1992).

Bundan 6 yıl sonra Percy Spencer adındaki Raytheon Şirketi adına radar parçaları üreten Amerikalı bir mühendis, mikrodalga laboratuvarına giderken yanında götürdüğü çikolatayı laboratuvardaki bir aygıtın yanına bıraktığında kendiliğinden eridiğini gördüğünde mikrodalga teknolojisinin gıda sektöründe kullanılabileceğini tesadüf ile de olsa keşfetmiş oldu [7]. Raytheon tarafından, sanayi mutfakları için tasarlanmış ilk mikrodalga fırını, 340 kiloluk ve pişirdiklerini yakmaması için sürekli dik tutulması gereken bir fırındı. 1952 yılında ise ilk ev modeli mikrodalga fırın üretildi (Decereau, 1992; [8]).

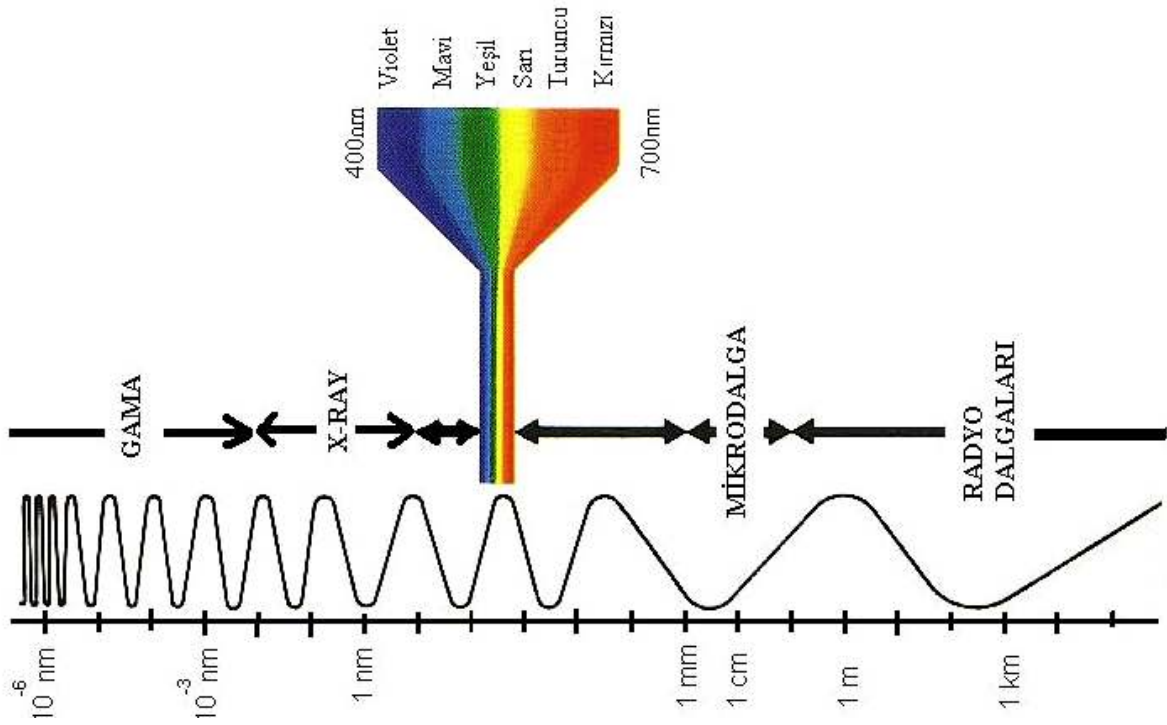
Günümüz gıda endüstrisinde mikrodalga enerji uygulamaları yeni bir teknoloji olmasına karşın, çok yaygın bir kullanım alanı bulmakta ve bugün kullanılmakta olan birçok ısısal işlemin yerini alacak bir başarı ve potansiyel göstermektedir. 1978'de 122 adet olarak bilinen sanayi tipi mikrodalga ekipman kullanımının, 1991 yılında 360 adet olduğu bildirilmiştir. Bugün ise endüstriyel olarak kullanılan mikrodalga ekipmanlarının sayısı kesin olarak bilinmemektedir. Mikrodalga ısıtma enerjisi 1960'lı yıllardan beri proses mühendisleri tarafından sanayide uygulanmaktadır. İlk uygulamalar gıda sanayisinde görülmüş çeşitli endüstrilerde ve laboratuarlarda son on yıldır yaygın olarak mikrodalga kullanılmıştır. Örneğin; gıda, kâğıt, inşaat malzemeleri, metalürji sanayi, çevre ile ilgili radyoaktif atık ve hastane artıklarının zararsız hale getirilmesinde kullanım ve uygulama alanı bulmuştur (Çalışkan, 2002).

4.2 Mikrodalga Fırınlara Gıda Alanında Kullanımı

Günümüzde mikrodalga enerji, dondurulmuş ürünlerin çözündürülmesinde, kurutma, kavurma, pişirme, pastörizasyon, sterilizasyon işlemlerinde, kek ve reçellerde küf mantarlarının azaltılmasında, dondurarak kurutma ve haşlama işlemlerinde kullanılmaktadır (Decerau, 1992).

4.3 Mikrodalganın Isıtma Mekanizması

Mikrodalgalar elektronik devrelerde elektronların hızlandırılmaları ile elde edilir. Dalga boyları 1 mm ile 30 cm ve frekansları 300 MHz ile 300 GHz arasında değişen elektromanyetik dalgalarıdır (Şekil 4.1). Mikrodalga ile ısıtma, yalıtkan bir kabinin içinde, elektromanyetik dalgaların polarizasyon etkileri ile gerçekleşir (Decereau, 1992).



Şekil 4.1 Elektromanyetik spektrum [9]

Mikrodalga enerji ile gıda maddesinin ısıtılmasında gıdanın nem içeriği, mikrodalganın çalışma frekansı ve gücü, gıdanın kütlesi, başlangıç sıcaklığı, fiziksel geometrisi, ısı iletkenlik özellikleri, spesifik ısısı gibi birçok parametrede etkili olmaktadır. Mikrodalga uygulayabilmek için bir ürünün dielektrik kaybına sahip olması gerekmektedir. Yani değişken bir elektromanyetik alan uygulandığında, madde içinde dipolar elektrik yüklerinin oluşması gerekir. Su molekülleri kolaylıkla dipolar elektrik yükleri oluşturabildiğinden, su içeren yapıda her ürün, mikrodalga ile ısıtmaya uygundur. Bu sebeple, özellikle meyve ve sebzelerin bileşimlerinde suyun önemli düzeyde bulunması nedeniyle gıdaların mikrodalga teknolojisi ile kurutulması yaygınlaşmıştır (Decereau, 1985; Sharma ve Prasad, 2006).

Mikrodalga ile gıdaların kurutulması sırasında; magnetron tarafından üretilen ve enerji taşıyan mikrodalgalar fırının içinde dağılır. Mikrodalgalar gıda maddeleri tarafından absorbe edildiği zaman mikrodalga ışınının pozitif ve negatif merkezlerinin yön değiştirmelerine paralel olarak, üründe bulunan polar moleküller yön değiştirir. Saniyede milyonlarca kez oluşan bu hareket sonucu sürtünme ısı açığa çıkar, madde ısınır ve gıdanın içindeki su, bu ısı sayesinde buharlaşır (Sharma ve Prasad, 2006).

4.4 Mikrodalga ile Isıtmaya Etki Eden Faktörler

4.4.1 Frekans

Değişik şekillerde, çok geniş bir spektrumda elde edilebilen mikrodalgalarda kullanılan frekanslar ve dalga boyları endüstriyel, bilimsel ve tıbbi amaçlar için sınırlandırılmıştır. Gıda sanayiinde işleme ve pişirme için I.T.U. tarafından düzenlenen mikrodalga kullanım frekansları, 2450 ± 50 MHz ve 915 ± 15 MHz olarak öngörülmektedir (Yurdagel vd., 1994).

Mikrodalga enerjinin frekansı ve buna bağlı olarak değişen dalga boyu kurutulacak gıdanın işleme derinliğini direk olarak etkilemektedir. Gıdaların içinde bulunan su için güç derinliği 2450 MHz frekansta 2-3 cm ve 915 MHz frekansta 20 cm'dir. Bu nedenle kurutulacak gıdanın boyutlarına göre seçilecek frekans da önem taşımaktadır. Genellikle geniş boyutlu gıdalar için, örneğin dondurulmuş balıkların eritilmesi gibi, 915 MHz frekansta çalışılmasının, daha küçük boyutlar için örneğin sosislerin pişirilmesi gibi 2450 MHz yeterli olacağı bildirilmiştir (Yurdagel vd., 1994).

4.4.2 Mikrodalga çıkış gücü ve ısıtma hızı

Birçok endüstriyel mikrodalga sistemi 5–100 kW arasında değişen mikrodalga çıkış gücünde çalışmaktadır. Güç akışının verilen kütle için yüksek olması, sıcaklığın hızla artmasına neden olur ve pişirme, fırınlama ve diğer bazı gıda işlemlerinde başlangıçta yükselen ısı etkisiyle bazı reaksiyonların hızlanması sonucu oldukça kompleks fizikokimyasal olaylar ortaya çıkabilmektedir. Bu da kurutulmuş gıdanın renginin değişmesine, tadının kötüleşmesine ve kalitesinin düşmesine neden olur (Yurdagel vd., 1994).

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

4.4.3 Kurutulan gıdanın kütlesi

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

4.4.4 Gıdanın su içeriği

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

4.4.5 İletkenlik

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

4.4.6 Spesifik ısı

Mikrodalga ısıtmada gıdanın spesifik ısısı genellikle ihmal edilen bir parametredir, ancak ısıtma işleminin uzun sürmesi durumunda dikkate alınması gereken bir etken olmaktadır.

Spesifik ısı özellikle mikrodalga alanında ısıtmada düşük dielektrik kaybı olan materyallerin ısıtılmasında önemli rol oynamaktadır (Yurdagel vd., 1994).

4.5 Mikrodalga Fırınının Bileşenleri

4.5.1 Güç ünitesi

Mikrodalga fırınlarda bulunan güç ünitesinin görevi; şebekeden alınan elektrik enerjisini kullanarak magnetronun çalışması için gerekli olan voltajı üretmektir. Magnetronlar genelde birkaç bin voltluk potansiyel farklarında çalışırlar (Schubert ve Reiger, 2005; Singh ve Holdman, 2001).

4.5.2 Magnetron

Magnetron, 60 Hz'lik elektriksel gerilimi 2450 MHz frekansındaki mikrodalga enerjisine çeviren elektronik bir tüptür. Küçüklük ve ucuzlukları yüzünden magnetronlar cisimleri ısıtmak için ticari fırınların hepsinde ve endüstriyel fırınların büyük bir bölümünde kullanılırlar [10].

4.5.3 Dalga kılavuzu

Mikrodalga üretildikten sonra bu dalganın fırına verilmesi ve ısıtılacak maddeye yönlendirilmesi gereklidir. Genelde iki tane iletim cihazı bu iş için kullanılmaktadır. Bunlar iki adet tel ve bir kablodan oluşan iletişim hatları ve dalga kılavuzlarıdır. İletim hatları ile yayma genelde düşük frekansta uygulanmaktadır. Yüksek güçte çalışıldığı durumlarda ise, akım yoğunluğu yüksek olduğu için iletim kayıpları meydana gelmektedir. Bunu önlemek için kesit alanlarının daha büyük olan içi boş tüpler (dalga kılavuzları) kullanılır. Optik dalga kılavuzlarında olduğu gibi, mikrodalga dalga kılavuzlarında da mikrodalgaları yaymak için yüksek yansıtma özelliğine sahip duvarlar bulunmaktadır (Schubert ve Reiger, 2005) .

4.5.4 Karıştırıcı

Karıştırıcılar genellikle fan biçiminde şekle sahip olup aplikatöre gönderilen mikrodalga enerjisini dağıtmak amacıyla kullanılırlar. Karıştırıcılar durağan dalga şablonlarını bozarlar ve böylelikle aplikatör içinde daha düzgün bir enerji dağılımı sağlarlar (Schubert ve Reiger, 2005).

4.5.5 Aplikatör

Aplikatörler (fırın oyuğu) elektromanyetik enerjiyi dalga kılavuzundan işlem görecektir maddeye geçirirler. İşlem gören maddenin içinde bulunduğu oyuk bu durumda aplikatör olarak tanımlanabilir. Aplikatörün büyüklüğü ve biçimi işlem yapılan frekans, işlem yapılan maddenin şekli, büyüklüğü ve özellikleri ve işlem tipi (sürekli, yığın) gibi özelliklere bağlıdır (Schubert ve Reiger, 2005).

4.6 Mikrodalga ile Gıdaların İşlenmesinin Avantajları ve Dezavantajları

Özellikle gıdaların kurutulması için halk arasında yaygın olarak kullanılan güneşte kurutma; kontaminasyon problemleri, düşük ısı ve kütle transferi sağlamaları, uzun süreli kurutma zamanları, kurutulmuş gıdanın kalitesinin düşük olması ve yüksek enerji sarfiyatı nedeniyle endüstriyel boyutta tercih edilmeyen kurutma sistemlerdir. Bu açıdan, mikrodalga ile kurutma alternatif kurutma yöntemi olarak gelişmiş ve yaygınlaşmıştır (Soysal ve Öztekin, 2001; Maskan, 2000). Mikrodalga ile kurutmanın avantajları şöyle sıralanabilir (Platts, 1991; Decareau, 1992; Ancos vd., 1999);

1. Mikrodalga ısıtmanın en önemli özelliği ısı üretiminin moleküler düzeyde başlaması ve bu sayede hem zamandan hem de enerjiden çok büyük oranda tasarruf sağlamasıdır.
2. Mikrodalga ile kurutma kapalı bir kabinin içinde gerçekleştiğinden güneşte kurutmaya göre daha temiz ve steril son ürün eldesini sağlar.
3. Mikrodalga fırınlar, geleneksel sistemlere göre daha az yer kaplar, kullanımı ve bakımı kolaydır.
4. Isıtma çevrimi hızlı olduğundan gıda maddelerinin depolamasında çok fazla depo alanı gerekmez.
5. Gıdaların kurutulması sırasında meydana gelen büzüşmeler daha azdır.
6. Özel ambalajlar kullanıldığı takdirde, ambalajlı gıdalara ısıtma işlemi uygulanabilir,
7. Mikrodalga ısıtma, istenen sonuca ulaşılabilmesi için diğer ısı transfer kaynaklarıyla kombine olarak kullanılabilir.
8. Mikrodalga ısıtmada, gıdayı çevreleyen hava ve fırın ısınmadığından ısıtma daha etkindir, zaman ve enerji kaybı olmamaktadır.

9. Mikrodalga enerjisinin ısıya dönüşüm verimi oldukça yüksektir. Geleneksel ısıtıcılarda %7 -14 arası değişen ısı verimi mikrodalga ekipmanlarda %40'a kadar çıkmaktadır.
10. Mikrodalgalar içten ısıtma sağladığı için, sıcaklık dağılımı daha uniform gerçekleşebilir ve yüzeyin aşırı ısınması engellenir. Diğer taraftan mikrodalgaların absorpsiyonu elektromanyetik özelliklere bağlı olduğundan, bazı gıda komponentleri diğerlerine göre daha hızlı pişer. Bu durum çok bileşenli gıdalarda farklı sıcaklık profillerini engeller ve farklı tabaklar için kullanımda kolaylık sağlar.
11. Mikrodalga teknolojisi birçok yeni ürün geliştirilmesinde olanak sağlamıştır.
12. Pazar imkânı geniştir.

Bunların yanında mikrodalga ile gıdaların kurutulmalarının dezavantajları da şöyle sıralanabilir;

1. Sabit yatırım masrafları yüksektir; magnetronlar geleneksel ısıtma elemanlarına göre pahalıdır, bu yüzden sanayide kullanımı yavaş gelişmektedir.
2. Mikrodalgaların absorblanması elektromanyetik özelliklere bağlı olduğundan, çok bileşenli gıdalarda sıcaklık profili büyük oranda farklı olabilir. Ürün karakteristikleri, şekil ve boyuta bağlı olarak düzensiz pişme meydana gelebilir.
3. Keskin köşe ve ince tabakalı gıdalarda, aşırı pişme ortaya çıkar ve geniş parçalı gıda maddelerinin merkezinde pişme tam gerçekleşmeyebilir.
4. İnsan sağlığı açısından radyasyon sızıntısının önlenmesi gerektiğinden tamamen kapalı bir sistem olması zorunludur.
5. Mikrodalga fırınlar, geleneksel fırınlara göre farklı emniyet tedbirleri gerektirir.
6. Tekrar ısıtılması gereken ve mikrobiyolojik yönden hassas ürünlerde (et ve süt ürünleri gibi), işlem süresinin çok kısa olması nedeniyle yeterli ve güvenli mikrobiyal inaktivasyonu sağlamak zor olabilmektedir.
7. Kullanılan kapların, ambalaj malzemelerinin mikrodalga ortamına uygun olması gerekmektedir.

4.7 Mikrodalga Fırınlarda Güvenlik Standardı

FDA kurumunun zorunlu kıldığı radyasyon güvenlik standardına 1971'den sonra üretilen bütün mikrodalga fırınlar sahiptirler. Mikrodalga radyasyonun güvenlik limiti, fırın yüzeyinden 5.08 cm uzaklık için 5 miliwatt. cm⁻²'dir. Bu limit, insanlara zarar verdiği bilinen miktarın (10 miliwatt. cm⁻²) çok altındadır. Bununla birlikte; ek bir emniyet sağlamak için, tüketici tipi ve endüstriyel tip mikrodalga fırınlarda sızmalar, fırın yüzeyinden 5 cm uzaklıkta 1000 miliwatt. cm⁻² olarak sınırlandırılmıştır. Bu standart ayrıca, tüm fırınlar için kapak mandalı serbest kaldığında ya da kapak açıldığında mikrodalga üretimini durdurmak için 2 adet birbirinden bağımsız emniyet sistemi olmasını zorunlu kılmaktadır. Buna ek olarak, denetleme sistemi emniyet sistemlerinden birisi ya da ikisi devre dışı kaldığında operasyona son vermektedir. Mikrodalga üretimi sona erdikten sonra fırında herhangi bir radyasyon kalıntısı kalmamaktadır (Kanat, 2001; [11]).

5. BAMYA ve İSPANAK HAKKINDA GENEL BİLGİ

5.1 Bamyacı

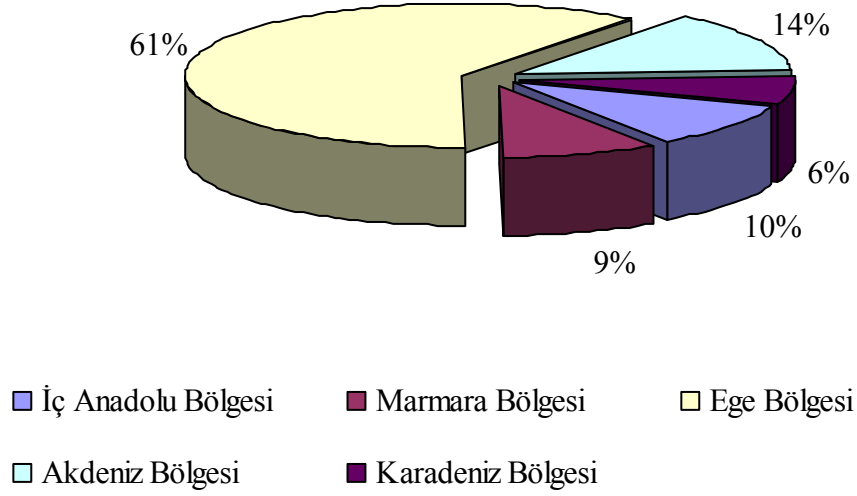
Ebegümeçigillerden olan bamyacı, anavatanının Asya veya Hindistan olduğu düşünölmektedir. Özellikle astropikal Asya, Doğu Afrika ve Türkiye’de çok popüler bir bitkidir (Salunkhe ve Kadam, 1998; Rubatzky ve Yamaguchi, 1999). Familyasında pek çok alt türü bulunmasına rağmen Türkiye’de tüketilen alt türü “*Hibiscus Esculentus L.*” olarak adlandırılır. Bir yaz sebzesi olan bamyacı taze, kurutulmuş, dondurulmuş veya konserve şeklinde tüm yıl boyunca tüketebilmektedir. İyi bir protein, niasin, demir, fosfor, çinko, bakır, Vitamin A, Vitamin C, Vitamin K, thiamin, riboflavin, kalsiyum, magnezyum, potasyum ve manganez kaynağıdır (Göğüş ve Maskan, 1999; Rubatzky ve Yamaguchi, 1999).

Bamyacı genellikle temmuz ağustos aylarında taze olarak toplanır. Hasadı zordur ve sık sık kontrol gerektirir [12]. Çeşidine göre, farklı boylarda, piramit ya da yuvarlağa yakın tombulca biçimli ve üzerleri köşeler oluşturan çizgili görünüşte olanları mevcuttur. İçlerinde, yuvarlak ya da hafif basık, çok koyu yeşil renkte tohumları bulunur. Türkiye’ye özgü çeşitleri bulunan bamyacı, sıcak ve zeytinyağlı yemeği yapılabildiği gibi salatalara ve çorbalara aroma verici olarak da kullanılabilir (Göğüş ve Maskan, 1999; [13]). Doymuş yağ oranı yüksek, kolesterol seviyesi düşüktür. Bamyacı besin değeri Çizelge 5.1’de verilmiştir.

Çizelge5.1 100 gram bamyacı içerdiği besin değeri (Salunkhe ve Kadam, 1998)

Besin Ögesi	İçerik (%)
Nem	89.6
Karbonhidrat	6.4
Protein	1.9
Yağ	0.2
Lifli yapı	1.2
Mineral	0.7

Ülkemizde genel olarak Ege Bölgesinde yoğun olarak yetiştirilen (Şekil 5.1) bamyacı, konserve edilerek doğrudan veya diğer sebzelerle birlikte tüketime sunulan ve muhafaza edilebilirliği nedeniyle diğer sebzelere oranla daha fazla tercih edilen bir bitkidir [13].



Şekil 5.1 Bamya üretiminin bölgelere göre dağılımı (DPT, 2003)

5.1.1 Bamyanın Faydaları

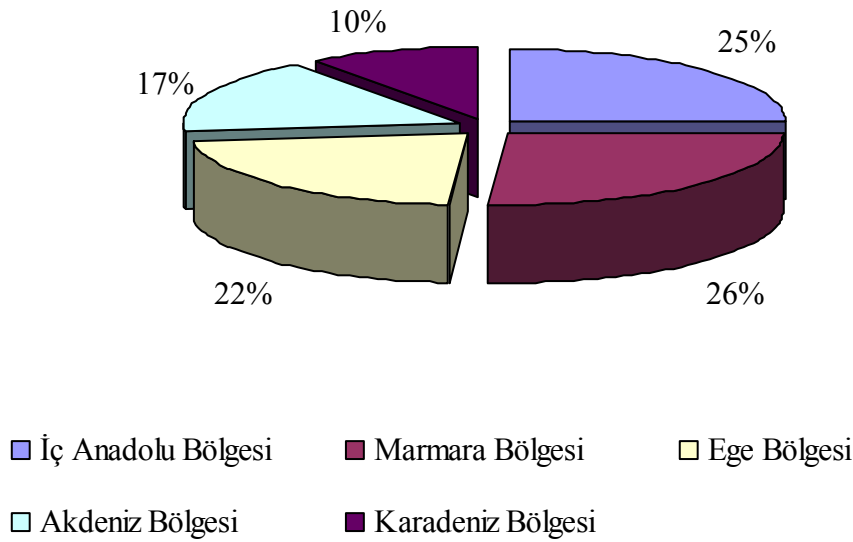
Bamya; insan sağlığı açısından önemli olan ve tüketilmesi gereken bir sebzedir. Sindirimi kolay olduğu için; hasta, yaşlı ve diyet yemeği yemek zorunda olan kişilere önerilmektedir. Lif oranı yüksek olması nedeniyle de kabızlık çeken kişilere iyi gelir. Ülser hastalığı çeken insanlarda rahatlatıcı etkisi bulunmaktadır (Salunkhe ve Kadam, 1998). Aynı zamanda, bamyanın çiçeklerinin suyla karıştırılıp ezilmesiyle elde edilen sıvının içilmesi göğsü yumuşatır. Aynı sıvı, çıbanlara dıştan sürülerek yüzeyde toplanan iltihabın kurutulmasında yardımcı olur [13].

5.2 Ispanak

Ispanak, dünyada ve Türkiye’de çok çeşidi bulunan ve oldukça kolay yetiştirilen ve tüketimi fazla olan sebzelerden biridir. Bir yıllık odunsu bitkilerden olan ıspanağın anayurdunun Kafkasya, İran, Afganistan ve Türkmenistan olduğu bilinmektedir. Familyasında pek çok alt türü bulunmasına rağmen Türkiye’de tüketilen alt türü “*Spinacia oleracea L.*” olarak adlandırılır. Genellikle ilkbahar ve sonbaharda tüketilen ıspanak, taze olarak yemeklerde ve salatalarda kullanılabildiği gibi kurutulmuş olarak bebek mamalarında ve hazır gıda sektöründe kullanılmaktadır. İyi bir Vitamin C kaynağıdır (Toledo vd., 2003).

İspanak ılıman iklimlerde yetişen bir bitkidir. Genelde dişi ve erkek olarak ayrılır. Güçlü bir kazık kökü ile buna bağlı toprağın yüzeyine yakın gelişen ince saçak kökleri vardır. Yapraklarının biçim, renk, etliliği bakımından ve bir de yaprak ayasının düz ya da kıvrıkcık olması yönünden ıspanaklar çeşitli tiplere ayrılır. 100 gr. taze ıspanak; 3 gr. protein, 3.6 g. karbonhidrat, 0.3 g. yağ, 2.1 g. lif, 38 mg. fosfor, 170 mg. kalsiyum, 2.2 mg. demir, 50 mg. sodyum, 500 mg. potasyum, 0,07 mg. B1 vitamini, 0,14 mg. B2 vitamini, 0.5 mg. B3 vitamini, 28 mg. C vitamini ve 1,7 mg. E vitamini içerir [14].

Ülkemizde genel olarak Marmara ve İç Anadolu Bölgesinde yetiştirilen (Şekil 5.2) ıspanak, düşük kalori değeri ve zengin demir ve kalsiyum içeriği nedeniyle tüketimi fazla olan bir bitki çeşididir (Salunkhe ve Kadam, 1998).



Şekil 5.2 İspanak üretiminin bölgelere göre dağılımı (DPT, 2003)

5.2.1 İspanağın Faydaları

İspanak, kansere yakalanma riskini azaltır. Yapılan araştırmalar ıspanağı bolca tüketen kişilerde deri, akciğer, prostat ve idrar torbası kanserlerine yakalanma oranlarının çok düşük olduğunu göstermiştir. Yüksek oranda A, C ve E vitamini gibi antioksidan maddeleri içerdiğinden, kişilerin kalp krizi geçirme, felç olma ve katarakt gibi rahatsızlıklara yakalanma tehlikesini de azaltmaktadır. Potasyum yönünden çok zengin olan ıspanak, yüksek tansiyonu düşürmektedir. Demir yönünden de zengin olan ıspanağın yüksek oranda oksalat içermesi

demir alımını engeller gibi görünürse de, yapılan araştırmalar iki günde bir ıspanak yiyenlerde demir oranının başlangıçta biraz düştüğünü, ancak altı haftadan sonra yükselen düzeylere ulaştığını göstermiştir. Zengin oranlı lifiyle kabızlık çekenlere iyi gelmektedir. Ayrıca ıspanağın, idrarı artırıcı, müshil ve yatıştırıcı etkileri de bulunmaktadır ([14]; Salunkhe ve Kadam, 1998). Diğer yandan; yüksek oranda oksalat içermesi nedeniyle ıspanağın her gün değil, haftada iki kez yenilmesi yararlı olur. Gut hastalığı, safra ve böbrek taşı rahatsızlıkları çekenler yüksek oranda oksalat içeren ıspanağı yememelidir [14].

6. GIDALARIN KURUTULMASINA İLİŞKİN ÇALIŞMALAR

Gıdaların kurutulması daha uzun süre saklanabilmesi, gıda teknolojileri için çok önemli bir konudur. Bu yüzden bu konuda yapılmış pek çok çalışma mevcuttur. Ancak, literatürde şimdiye kadar mikrodalga tekniği ile bamyı ve ıspanak numunelerinin kurutulmalarına ait bir çalışmaya rastlanmamıştır. Bu bölümde ise, konvansiyonel kurutucularla veya mikrodalga ile kurutma ile ilgili bazı gıdalara ait yapılan çalışmalar özetlenmiştir.

Wang ve Sheng, (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 kesilerek kurutulmuşlardır. Yapılan çalışmada, mikrodalga çıkış gücü arttıkça kütle transferinin arttığı ve buna bağlı olarak kuruma zamanları kısaldığı tespit edilmiştir. Mikrodalga ile şeftali numunesinin kurutulması 2 farklı azalan hızda kuruma periyodu tamamlanmıştır. Sabit hızda kuruma periyodu gözlemlenmemiştir. 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 değişirken, ikinci azalan hızda kuruma periyodunda nem içeriği 1.70 g su. g kuru madde⁻¹ değerinden 1.0 g su. g kuru madde⁻¹ değerine değişmiştir.

Doymaz, (2005) tarafından yapılan çalışmada 3 farklı sıcaklıkta (50, 60 ve 70°C sıcaklıkta) ve %8 ile %25 değerleri arasında değişen relatif hava nemlerinde 8.55 g su. g kuru madde⁻¹ başlangıç nem içeriğine sahip 100 gram bamyı numunesinin kurutulması sırasında meydana gelen değişimler gözlemlenmiştir. Yapılan çalışmalar sonucunda; bamyı numunesinin kuruma periyodunun sadece azalan hız periyodunda gerçekleştiği saptanmıştır. Bamyı numunesinin kurutma süreleri 480 dakika ile 930 dakika arasında değişmiştir. Kurutma karakteristiklerinin modellenmesinde Eksponansiyel ve Page's model kullanılmış ve Page's modelin kurutma karakteristiklerine daha uygun olduğu görülmüştür. Son olarak, bamyının azalan hız periyodunda sıcaklık değerlerine karşılık gelen ve sıcaklıkla doğru orantılı olarak değiştiği gözlenen etkin difüzyon hızı değerleri hesaplanmış ve 4.27x10⁻¹⁰ ile 7.76x10⁻¹⁰ m²/sn arasında değiştiği bulunmuştur. Hesaplanan etkin difüzyon hızı değerlerine bağlı olarak Arrhenius eşitliği ile hesaplanan aktivasyon enerjisi değeri yaklaşık olarak 51.26 kJ/mol bulunmuştur.

Soysal, (2004) yapmış olduğu çalışmada; 360 ile 900 W arasında değişen mikrodalga güçlerinde 4.93 ± 0.34 g su/g kuru madde başlangıç nem içeriğine sahip 25 ± 0.21 gram maydanozun kurutma karakteristiklerini incelemiştir. Kurutma kinetiğinin modellenmesinde Page's Model kullanılmıştır. Yapılan çalışmalar sonucunda maydanozun uygulanan mikrodalga çıkış gücüne bağlı olarak 3.5-10 dakika arasında değişen zamanlarda kuruduğu görülmüştür. Kurutma, sabit kuruma periyodu ve azalan hız periyodunda gerçekleşmiştir. 630 W mikrodalga çıkış gücünde bundan farklı olarak sabit hızda kuruma periyodunu takiben 2 farklı azalan hızda kuruma periyodu gözlemlenmiştir. Yüksek mikrodalga güçlerinde kurutma hızının artmış olmasından dolayı kurutma zamanı azalmıştır. Aynı zamanda, maydanozun kurutulması ile meydana gelen renk değişimleri incelenmiş ve taze maydanozun renk değerlerinin yaprakların sararmasına neden olan klorofilaz enziminin inaktive olmasından dolayı değişmediği gözlemlenmiştir.

McMinn, (2004) tarafından yapılan çalışmada laktozun 20, 40 ve 60°C sıcaklıktaki hava ile 650 W maksimum güç kapasiteli mikrodalga ile 60 W mikrodalga çıkış gücünde 90°C sıcaklıkta ve 0-1.0 m/sn hava hızı ile kurutulması ve en son olarak 90 W mikrodalga çıkış gücüyle kurutulması sırasında 0 ile 101 kPa arasında değişen vakum değerlerinde kurutulmasına ait parametrelerin değişimleri incelenmiştir. Yapılan çalışmalar neticesinde, laktozun kurutulması sırasında her bir kurutma prosesi için etkili parametrelerin, operasyon koşulları olarak nitelendirilen sistem basıncı ve sıcaklığı olduğu, aynı zamanda kurutulan gıdanın özelliklerinin de kurutma üzerinde etkin olduğu görülmüştür. Kurutma eğrilerine bakıldığında; hava ile kurutma, mikrodalga ile kurutma, kombine mikrodalga ve hava ile kurutma ve mikrodalga ile kurutma sırasında vakum uygulama ile kurutma sırasıyla 90, 150, 75 ve 85 dakikalarda gerçekleşmiştir. Yine her bir kurutma prosesi için kurutma eğrilerinin en başta kısa bir ısıtma süresinden sonra sabit hızlı periyotta gerçekleştiği ve bu aşamadan sonra azalan hız periyoduna geçtiği gözlemlenmiştir.

Maskan, (2001a) tarafından yapılan çalışmada; hava ile kurutma (1.29 m/sn hava hızı ve 27 ve 60°C hava sıcaklığı), 210 ile 490 W arasında değişen mikrodalga ile kurutma ve hava ile kurutmayı takiben kritik nem içeriğinden sonra (1.2 g su. g kuru madde⁻¹) 210 W mikrodalga çıkış gücünde mikrodalga ile kurutma sırasında, 5.03 ± 0.236 mm dilim kalınlığındaki 4.55 g su/ g kuru madde başlangıç nem içeriğine sahip kivi meyvesinde meydana gelen nem içeriği değişiklikleri gözlemlenmiş ve kurutma sonrasında numunelerin ne kadar büzüşme gösterdikleri incelenmiştir. Her üç kurutma koşulu için kivi meyvelerinin rehidratasyon kapasiteleri ve büzüşme gösterip göstermedikleri incelenmiş ve mikrodalga ile kurutma,

60°C sıcaklıkla kurutma ve hava ile kurutmayı takiben mikrodalga ile kurutma yöntemi sayesinde kivi meyvesinin sırasıyla %85, %81 ve %76 oranında büzüşme gösterdiği ve rehidratasyon kapasitesinin arttığı görülmüştür. Yapılan çalışmalar sonucunda; sadece azalan hız periyodunda gerçekleşen kuruma periyodunun kurutma zamanlarının hava ile kurutma, mikrodalga ile kurutma ve hava ile kurutmayı takiben mikrodalga ile kurutma işlemleri sayesinde %40- %89 düştüğü görülmüştür.

Maskan, (2001b) tarafından yapılan çalışmada; hava ile kurutma (1.29 m/sn hava hızı ve 27 ve 60°C hava sıcaklığı), 210 W mikrodalga çıkış gücünde kurutma ve hava ile kurutmayı takiben kritik nem içeriğinden sonra (1.2 g su. g kuru madde⁻¹) 210 W mikrodalga çıkış gücünde kurutma sırasında, 5.03 ± 0.236 mm dilim kalınlığındaki ve 40 ± 0.812 mm çapındaki 4.55 g su/ g kuru madde başlangıç nem içeriğine sahip kivi meyvesinde meydana gelen renk değişimleri Hunter Lab renk skalası yardımıyla incelenmiştir. Kivi meyvesinin her üç kurutma koşulunda; L ve b değerleri düşmüş bunun yanında a ve toplam renk değişimi (ΔE) değerleri yükselmiştir. Yapılan modelleme çalışmaları sonucunda hava ile kurutma için tüm renk indislerinin birinci dereceden kinetik modele uyduğu saptanmıştır. Ancak, kurutma koşulları değiştirildiğinde (210 W mikrodalga çıkış gücünde kurutma ve hava ile kurutmayı takiben 210 W mikrodalga çıkış gücünde kurutma), L ve b değerlerinin birinci dereceden kinetik modele uygunluk gösterirken, a ve toplam renk değişimi (ΔE) sıfırcı dereceden kinetik modele uygunluk göstermiştir. Renk değişimlerinin daha iyi açıklanabilmesi için Kroma (CV), Renk Açısı (HA) ve Kahverengileşme İndeksi (BI) değerleri de hesaplanmış ve 3 kurutma koşulu için; Kroma (CV), Renk Açısı (HA) değerlerinin kuruma zamanı boyunca azaldığı, Kahverengileşme İndeksi (BI) değerlerinin ise kuruma zamanı boyunca arttığı gözlemlenmiştir. 3 farklı kurutma koşulu karşılaştırıldığında; hava ile kurutmanın renk değişimini en az etkileyen kurutma şekli olduğu saptanmıştır.

Maskan, (2000) tarafından yapılan çalışmada ise farklı 3 dilim kalınlığı için (4.3 ± 0.177 , 7.4 ± 0.251 ve 14.0 ± 0.492 mm) muz numunesinin hava ile kurutulması (60°C sıcaklık ve 1.45 m/s hava hızı ile), mikrodalga ile kurutulması (350, 490 ve 700 W koşullarında 4.3 mm dilim kalınlığı için) ve 350 W mikrodalga çıkış gücünde 60°C sıcaklık, (1.45 m/sn hava hızı ve 4.3 mm dilim kalınlığında) kurutulması incelenmiştir. Hava ile kurutmada dilim kalınlığı arttıkça kurutma süreleri de uzamıştır. Kurutma süreleri yaklaşık olarak 600 dakika ile 450 dakika arasında değişmiştir. Mikrodalga ile kurutmada dilim kalınlığının artmasının kurutma süresinin uzamasına neden olduğu gözlemlenmiştir. Hava ile kurutmaya oranla mikrodalga ile kurutma esnasında kurutma sürelerinde büyük bir düşme görülmüştür. Kombine sistemde ise;

kritik bir nem içeriğine kadar (1.2 g su. g kuru madde⁻¹) hava ile kurutulduktan sonra mikrodalga ile 360 W mikrodalga çıkış gücünde kurutma işlemine devam edilmiştir. Denemeler sırasında muz numunelerinin kurutulmaları esnasındaki renk değişimleri de gözlemlenmiştir. Her üç kurutma prosesi için L (matlık/ parlaklık) ve b (sarılık/ mavilik) değerlerinin düştüğü, bunun yanında a (yeşillik/ kırmızılık) değerinde artış olduğu belirlenmiştir.

Göğüş ve Maskan, (1999) tarafından yapılan çalışmada; 3 farklı sıcaklıkta (60, 70 ve 80°C sıcaklıkta) ve 1.2 m/sn hava hızında bamyaya numunelerinin hava ile kurutulması sırasında meydana gelen değişimler gözlemlenmiştir. Bamyaya numunesinin kuruma periyodunun sadece azalan hız periyodunda gerçekleştiği ve azalan hız periyodunun birinci ve ikinci azalan hız periyodu olarak 2 farklı eğri gösterdiği saptanmıştır. Bununla beraber; bamyanın su aktivitesinin proses koşulları ile değişimi incelenmiş ve su aktivitesi değerinin sıcaklık ile ters orantılı olarak değiştiği görülmüştür. Son olarak, bamyanın azalan hız periyodunda sıcaklık değerlerine karşılık gelen ve sıcaklıkla doğru orantılı olarak değiştiği gözlenen etkin difüzyon hızları hesaplanmış ve buna bağlı olarak Arrhenius eşitliği ile hesaplanan aktivasyon enerjisi değeri yaklaşık olarak 32.4 kJ/mol bulunmuştur.

Adom vd., (1997) yapmış oldukları çalışmada, farklı 3 dilim kalınlığı için (5.0-10.0 ve 15.0 mm) bamyaya numunesinin güneşte kurutulması sırasında viskozite, mikrobiyal aktivite, toplam vitamin C değeri ve kül miktarı değerlerinin değişimleri gözlemlenmiştir. Yapılan çalışmalar neticesinde, 96 saat süren güneşte kurutma işlemi sonucunda, dilim kalınlığının; toplam vitamin C, viskozite, renk değişimi ve mikrobiyal aktivite üzerinde etkili olduğu, bunun yanında, toplam kül miktarının etkilemediği görülmüştür.

7. MATERYAL VE YÖNTEM

7.1 Kullanılan Materyaller

- 2-6, Diklorofenolindo fenol sodyum dihidrat tuzu
- Askorbik asit standard çözeltisi
- %3'lük Metafosforik asit-asetik asit çözeltisi

Bamya ve ıspanağın mikrodalga tekniği ile kurutulması sırasında kullanılan ıspanak ve bamya 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 50 gramlık numuneler 105°C sıcaklıktaki fırında 24 saat kurutulmuştur. Daha sonra elde edilen nem içeriği değerlerinin ortalamaları alınmıştır (Soysal, 2004).

Bamya ve ıspanağın mikrodalga tekniği ile kurutulması sırasındaki askorbik asit kaybının belirlenmesinde kullanılan 2-6, Diklorofenolindo fenol sodyum dihidrat boyar maddesi (Ürün kodu: 152870010) ve Asetik asit (Ürün kodu: 64-19-7) Acros firmasından, askorbik asit standardı (Ürün kodu: 200-066-2) JT Baker firmasından ve Metafosforik asit (Ürün kodu: K4108346) MERCK firmasından sağlanmış olup çalışmalar süresince oda koşullarında saklanmıştır.

7.2 Kullanılan Cihazlar

7.2.1 Mikrodalga fırın

Bamya ve ıspanakların mikrodalga tekniği ile kurutulması çalışmaları, Arçelik firması tarafından üretilen MD 594 ürün koduna sahip mikrodalga fırın ile yapılmıştır. Deneylerde kullanılan mikrodalga sisteminin genel görünümü Şekil 7.1'de ve mikrodalga fırınına ait teknik özellikler Çizelge 7.1'de verilmiştir. Ayrıca, numunelerin rehidratasyon çalışmaları için 30°C ayarlanmış su banyosu kullanılmıştır.



Şekil 7.1 Mikrodalga fırının genel görünümü

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 Renk ölçüm cihazı

Bamya ve ıspanağın 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. Deneylerde kullanılan renk okuma cihazının ve data işlemcisinin genel görünümü Şekil 7.2’de ve teknik özellikleri Çizelge 7.2’de verilmiştir.

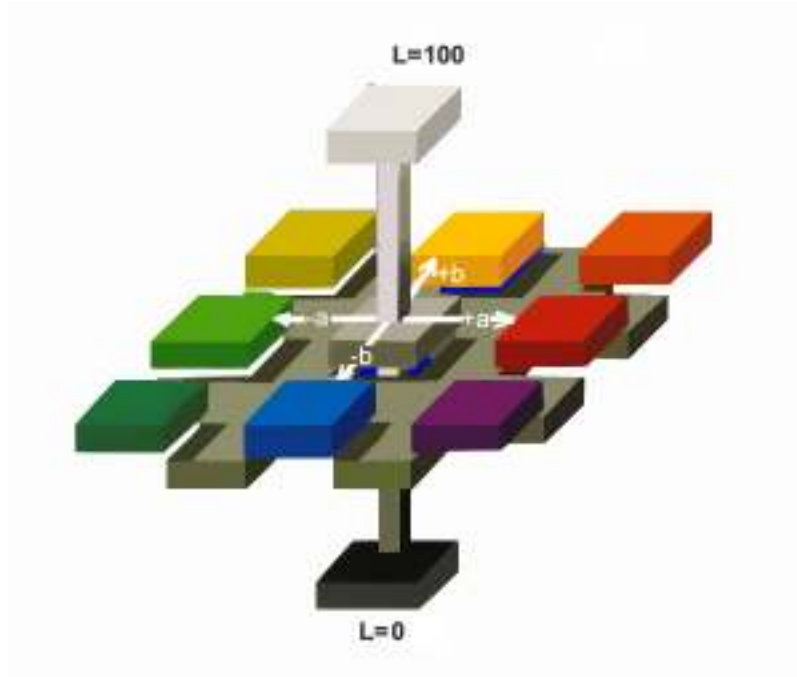


Şekil 7.2 Konica Minolta CR-400 ve DP-400 cihazlarının genel görünümü

Çizelge 7. Konica Minolta CR-400 ve DP-400 cihazlarının teknik özellikleri

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

Deneyde kullanılan renk ölçüm cihazında ölçümler “Hunter Lab Renk Skalası (L, a, b)” metodu ile yapılmıştır. Hunter Lab Renk Skalası 1948 yılında R.S Hunter tarafından fotoelektrik bir renk ölçme cihazı ile direk olarak okunabilen düzenli bir renk skalası olarak geliştirilmiştir. Çalışmalar sırasında kullanılan renk skalası Şekil 7.3’te, L,a ve b indislerinin renk skalasındaki anlamlarını gösteren açıklama ise Çizelge 7.3’te sunulmuştur.



Şekil 7.3 Hunter Lab renk skalası [15]

Çizelge 7.3 Hunter Lab renk skalasında kullanılan indislerin anlamları [15]

İndis	Anlamı
L	L değeri gıdanın renginin beyazlık parlaklık matlık indeksine göre ölçümü sonucu elde edilen bir değerdir. Bu değer 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 belirtir.

7.2.3 Doku analiz cihazı

Mikrodalga tekniği ile kurutulmuş bamyaya ve ıspanak numunelerinin dokularında meydana gelen değişimleri gözlemleyebilmek için, LEICA firmasının ürettiği Q550 IW ürün koduna sahip Trioküler Floresans ve Yansıma-Kontrast Mikroskobu kullanılmıştır. Deneylede kullanılan Trioküler Floresans ve Yansıma-Kontrast Mikroskobunun genel görünümü Şekil 7.4'te ve teknik özellikleri Çizelge 7.4'te verilmiştir.



Şekil 7.4 Trioküler Fluoresans ve Yansıma-Kontrast mikroskopunun genel görünümü

Çizelge 7.4 Trioküler Fluoresans ve Yansıma-Kontrast mikroskopunun teknik özellikleri

Özellikler	Değerler
Işık kaynağı	Tungsten lamba
Ana Voltaj	100-115 V / 230 V \pm %10
Frekans	50-160 Hz
Maksimum güç	160 W
Boyutları	504.5*331.4*364.3 mm
Operasyon koşulları	0-36°C
Filtreler	Polarize filtre
Kamera	Leica DFC280
Görüntüleme programı	Leica IM50

7.3 DeneYlerin Yapılışı

7.3.1 Kuruma hızlarının belirlenmesi

Bamya ve ıspanak numunelerinin mikrodalga ile kurutma tekniği kullanılarak kurutulmasına ait deneYlerin ilk bölümünde; 100 g bamya ve 25 g ıspanağın 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 bamya ve ıspanak numunelerinin kurutulması deneYlerinin ikinci bölümünde ise; 360 W sabit mikrodalga çıkış gücü için farklı ağırlıklarda kurutulan numuneler için aynı kuruma kinetiği incelenmiştir.

7.3.2 Renk değişimlerinin incelenmesi

Mikrodalga ile kurutma tekniğinin bamya ve ıspanak numunelerinin renk değişimi üzerindeki etkisini incelemek için yapılan çalışmaların birinci bölümünde; 100 g bamya ve 25 g ıspanağın 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 gerçekleştirilmeden önce Konica Minolta renk ölçüm cihazı beyaz standart kalibrasyon plakası ile kalibre edilmiştir. Kurutulan bamya ve ıspanak numunelerinin renk değişimlerinin tüm numunenin renk değişimini kapsamaması 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 tekniğinin bamya ve ıspanak numunelerinin renk değişimi üzerindeki etkisini incelemek için yapılan denemelerin ikinci bölümünde ise; 360 W sabit mikrodalga çıkış gücü için farklı ağırlıklarda kurutulan numuneler için aynı işlemler tekrar edilmiştir.

7.3.3 Rehidratasyon oranlarının belirlenmesi

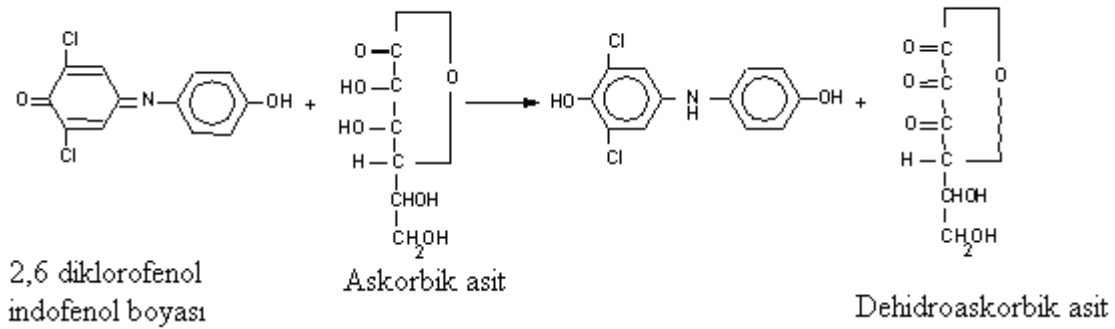
Mikrodalga ile kurutma tekniğinin bamya ve ıspanak numunelerinin rehidratasyon oranı üzerindeki etkisini incelemek için yapılan denemelerin birinci bölümünde; 100 g bamya ve 25 g ıspanağın farklı mikrodalga güçlerinde belirli bir nem içeriğine kadar kurutulması sonucunda elde edilen kurutulmuş ürünler, bir gün süre ile desikatörde bekletilip soğutulduktan sonra, 30°C sıcaklığında su banyosunda rehidratasyon işlemine tabi tutulmuştur. Kurutulmuş numuneler tarafından geri absorplanan su miktarları belirli zaman

aralıklarında numunelerin tartımları alınarak belirlenmiştir. Deneyler üçer kez yapılmış ve elde edilen değerlerin ortalamaları alınmıştır.

Mikrodalga ile kurutma tekniğinin bamyaya ve ıspanak numunelerinin rehidratasyon oranı üzerindeki etkisini incelemek için yapılan denemelerin ikinci bölümünde ise; 360 W sabit mikrodalga çıkış gücü için farklı ağırlıklardaki bamyaya ve ıspanak numuneleri için aynı işlemler tekrar edilmiştir.

7.3.4 Vitamin C kayıplarının belirlenmesi

Standart eğrinin hazırlanması: Mikrodalga ile kurutma tekniğinin bamyaya ve ıspanak numunelerinin Vitamin C kayıpları üzerindeki etkisini incelemek için yapılan deneylerde, standart askorbik asit çözeltisinden 0.1, 0.5, 1.0, 1.5 ve 2.0 ml alınarak 20 ml'ye %3'lük metafosforik asit-asetik asit çözeltisiyle tamamlanır. Bu çözeltilerden deney tüplerine 5'şer ml alınır ve üzerine 15 ml distile su eklenir ve 2,6-diklorofenilindo fenol sodyum dihidrat çözeltisi ilave titre edilir. Titrasyonda elde edilen değerler sayesinde standart eğri hazırlanır. 2,6 diklorofenolindo fenol boyasının askorbik asit tarafından indirgenmesi sonucu rengin açılmasına ait şematik gösterim Şekil 7.5'de verilmiştir.



Şekil 7.5 Askorbik asit ile 2,6-diklorofenolindo fenol boyası reaksiyonu

Numunelerin hazırlanması: Mikrodalga ile kurutma tekniğinin bamyaya ve ıspanak numunelerinin Vitamin C kayıpları üzerindeki etkisini incelemek için 25 g numune, 100 ml %3'lük metafosforik asit-asetik asit çözeltisinde 2 dakika yüksek hızda metalik olmayan bir karıştırıcıda karıştırılır. Süzüldükten sonra 5 ml filtrat deney tüplerine alınır, üzerine 15 ml distile su eklenir ve 2,6-diklorofenilindo fenol sodyum dihidrat çözeltisi ilave titre edilir. Titrasyon sırasında harcanan titrant miktarından numunenin içerdiği askorbik asit içeriği hazırlanan standart eğri yardımıyla hesaplanır.

7.3.5 Doku değişimlerinin incelenmesi

Mikrodalga ile kurutma tekniğinin bamyaya ve ıspanak numunelerinin doku değişimleri üzerindeki etkisini incelemek için yapılan denemelerin birinci bölümünde; 100 g bamyaya ve 25 g ıspanağın farklı mikrodalga güçlerinde belirli bir nem içeriğine kadar kurutulması sonucunda elde edilen kurutulmuş ürünler, bir gün süre ile desikatörde bekletilip soğutulduktan sonra, Leica Trioküler Floresans ve Yansıma-Kontrast Mikroskopu ile 480 nm frekans boyunda ve 100 V ışık gücünde incelenerek doku değişimleri gözlemlenmiştir.

Mikrodalga ile kurutma tekniğinin bamyaya numunesinin doku değişimleri üzerindeki etkisini incelemek için yapılan denemelerin ikinci bölümünde ise; 360 W sabit mikrodalga çıkış gücü için değişen ağırlıklardaki bamyaya ve ıspanak numuneleri için aynı işlemler tekrar edilmiştir.

7.4 Hesaplamalar

7.4.1 Kuruma hızının belirlenmesi için yapılan hesaplamalar

7.4.1.1 Nem içeriğinin hesaplanması

Bamyaya ve ıspanak numunelerinin mikrodalga tekniği ile kurutulması sırasında, nem içeriği değeri aşığıdaki gibi hesaplanmıştır;

$$M_t = \frac{m - KM}{KM} \quad (7.1)$$

Denklem (7.1)'de;

M_t : Herhangi bir t anındaki nem içeriği (g su. g kuru madde⁻¹)

m : Numunenin ağırlığı (g)

KM: Numunenin içerdii 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 (Maskan, 2000).

7.4.1.2 Kuruma hızının hesaplanması

Kurutma hızı, nem içeriğine karşılık kuruma zamanı eğrilerinin türevlerinin alınması ile bulunmuştur. Kuruma hızının birimi; g su. g kuru madde. dak⁻¹'dir.

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

Denklem 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,

$$MR = \frac{M_t - M_e}{M_0 - M_e} \quad (7.3)$$

Burada;

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.

Gıdaların mikrodalga ile kurutulması işleminde; M_e ifadesi diğer ifadelerden çok daha küçük olduğu için sıfır kabul edilir (Maskan, 2000; Maskan, 2001a).

7.4.1.4 Etkin difüzyon katsayısının hesaplanması

Gıdaların kurutulması sırasında meydana gelen kütle transferinin en önemli ölçütü olan etkin difüzyon katsayısı küre kabulü yapılan bamya numunesi için ve yaprak çapının, yaprağın inceliğinden daha büyük olması nedeniyle dilim (kesit) kabulü yapılan ıspanak numunesi için Denklem 7.4 ve Denklem 7.5'te sırası ile verilmiştir.

$$MR = \frac{6}{\pi^2} \exp\left(-\frac{D_{eff} \cdot \pi^2}{r^2} \cdot t\right) \quad (\text{Bamya için küre kabulü}) \quad (7.4)$$

$$MR = \frac{8}{\pi^2} \exp\left(-\frac{D_{\text{eff}} \cdot \pi^2}{4L^2} \cdot t\right) \quad (\text{Ispanak için dilim kabulü}) \quad (7.5)$$

Burada;

D_{eff} : Etkin difüzyon katsayısı ($\text{m}^2 \cdot \text{s}^{-1}$)

r: Küre kabulü yapılan bamyaya numunelerinin yarıçap değerleri ($r=0.75 \text{ cm}$)

L: Dilim kalınlığı (kesit kabulü yapılan ıspanak numunelerinin merkezden yüzeye olan uzaklığı ($L=0.05 \text{ cm}$))

t: Kuruma zamanı (saniye)

olarak tanımlanmıştır.

Literatürde, Denklem 7.4 ve Denklem 7.5'in lineer bir denkleme dönüştürülebileceği (Denklem 7.6 ve 7.7) ifade edilmiştir (Riva ve Peri, 1986; Nuh ve Brinkworth, 1997; Pala vd., 1996; Dadalı vd., 2007a). Numuneler için etkin difüzyon değerleri, Denklem 7.6'da ve Denklem 7.7'de verilen lineer denklemlerin eğimleri yardımıyla her bir numune için hesaplanmıştır.

$$\ln(MR) = \ln\left(\frac{6}{\pi^2}\right) - \frac{D_{\text{eff}} \cdot \pi^2}{r^2} \cdot t \quad (\text{Bamyaya için küre kabulü}) \quad (7.6)$$

$$\ln(MR) = \ln\left(\frac{8}{\pi^2}\right) - \frac{D_{\text{eff}} \cdot \pi^2}{4L^2} \cdot t \quad (\text{Ispanak için dilim kabulü}) \quad (7.7)$$

7.4.2 Renk değişiminin incelenmesi için yapılan hesaplamalar

Bamyaya ve ıspanak numunelerinin mikrodalga tekniği ile kurutulması sırasında meydana gelen renk değişiminin incelenmesinde renk ölçüm cihazı ile belirlenen L , a , b değerleri kullanılarak Denklem 7.8-7.11'de verilen Toplam renk değişimi (ΔE), Kroma değeri, Renk Açısı ve Kahverengilik İndeksi hesaplanmıştır.

$$\Delta E = \sqrt{(L_0 - L_t)^2 + (a_0 - a_t)^2 + (b_0 - b_t)^2} \quad (7.8)$$

$$\text{Kroma (CV)} = (a_t^2 + b_t^2)^{0.5} \quad (7.9)$$

$$\text{Renk Açısı (HA)} = \tan^{-1}\left(\frac{b_t}{a_t}\right) \quad (7.10)$$

$$\text{Kahverengilik İndeksi (BI)} = \frac{\left[100 \left(\frac{(a_t + 1.75L_t)}{(5.645L_t + a - 3.012b_t)} - 0.31 \right) \right]}{0.17} \quad (7.11)$$

Denklem 7.8-7.11'de;

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

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

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

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

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

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

olarak tanımlanmıştır.

7.4.3 Rehidratasyon oranının belirlenmesi için yapılan hesaplamalar

Bamya ve ıspanak numunelerinin mikrodalga tekniği ile kurutulması sonucunda elde edilen son ürünlerin rehidratasyon oranının belirlenmesi sırasında aşağıdaki bağıntı kullanılmıştır (Maskan, 2001b; Lewicki, 1998);

$$RR = \frac{W_t - W_e}{W_0 - W_e} \quad (7.12)$$

Denklem 7.12'de;

RR: Rehidratasyon oranı (birimsiz)

W_t : Herhangi bir rehidratasyon anındaki nem içeriği (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)

olarak tanımlanmıştır.

7.4.4 Vitamin C kayıplarının belirlenmesi için yapılan hesaplamalar

Bamya ve ıspanak numunelerinin mikrodalga tekniği ile kurutulması sonucunda elde edilen kurutulmuş ürünlerin Vitamin C değerlerinin belirlenmesi, standart askorbik asit çözeltisinin

2-6, Diklorofenolindo fenol sodyum dihidrat tuzu boyar maddesi ile titrasyonu sonucunda harcanan titrant miktarının, kurutulmuş ürünlerin yine aynı çözelti ile titrasyonu sonucunda harcanan titrant miktarına oranı yardımıyla mg Vitamin C/100 gram numune cinsinden hesaplanır.

$$\text{mg Vit. C/100 g numune} = \frac{N_t \cdot S_n}{S_t} \quad (7.13)$$

Denklem 7.13'te;

N_t : Numune çözeltisinde harcanan titrant miktarı (ml)

S_n : Standart Vitamin C (askorbik asit) çözeltisi (mg Vit C/100 g numune)

S_t : Standart çözeltide harcanan titrant miktarı (ml)

olarak tanımlanmıştır.

7.5 Modelleme Çalışmaları

7.5.1 Kuruma kinetiğine ait modelleme çalışmaları

7.5.1.1 Page model

Gıdaların kuruma kinetiklerinin açıklanması sırasında en çok kullanılan modellerden olan Page model Denklem 7.14'te sunulmuştur (Dadali 2007b).

$$MR = \exp(-k \cdot t^n) \quad (7.14)$$

Denklem 7.14'te;

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

n: Page modele ait bir katsayı

t: Kuruma zamanı (dak)

olarak tanımlanmıştır.

7.5.1.2 Henderson ve Pabis model

Henderson ve Pabis model Denklem 7.15'te sunulmuştur (Dadali 2007b).

$$MR = A \cdot \exp(-k \cdot t) \quad (7.15)$$

Denklem 7.15'te;

A: Katsayı (birimsiz)

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

t: Kuruma zamanı (dak)

olarak tanımlanmıştır.

7.5.1.3 Lewis model

Lewis model Denklem 7.16'da sunulmuştur (Dadali 2007b).

$$MR = \exp(-k \cdot t) \quad (7.16)$$

Denklem 7.16'da;

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

t: Kuruma zamanı (dak)

olarak tanımlanmıştır.

7.5.1.4 Logaritmik model

Logaritmik model Denklem 7.17'de sunulmuştur (Dadali 2007b).

$$MR = A \cdot \exp(-k \cdot t) + B \quad (7.17)$$

Denklem 7.17'de;

A: Katsayı (birimsiz)

B: Katsayı (birimsiz)

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

t: Kuruma zamanı (dak)

olarak tanımlanmıştır.

7.5.2 Renk değişiminin incelenmesi için yapılan modelleme çalışmaları

7.5.2.1 Sıfıncı dereceden kinetik model

Sıfıncı dereceden kinetik model Denklem 7.18'de sunulmuştur.

$$C = C_0 \pm kt \quad (7.18)$$

Denklem 7.18'de;

C: Herhangi bir t anındaki renk parametresi değeri

C₀: t=0 anındaki renk parametresi değeri

k: Kinetik sabit (dak⁻¹)

t: Kuruma zamanı (dak)

olarak tanımlanmıştır.

7.5.2.2 Birinci dereceden kinetik model

Birinci dereceden kinetik model Denklem 7.19'da sunulmuştur.

$$C = C_0 \exp(\pm kt) \quad (7.19)$$

Denklem 7.19'da;

C: Herhangi bir t anındaki renk parametresi değeri

C₀: t=0 anındaki renk parametresi değeri

k: Kinetik sabit (dak⁻¹)

t: Kuruma zamanı (dak)

olarak tanımlanmıştır.

Denklem 7.18 ve 7.19'da belirtilen (+) ve (-) bozunma ve oluşma reaksiyonlarını temsil etmektedir (Maskan vd., 2002).

7.5.3 Rehidratasyon oranının belirlenmesi için yapılan modelleme çalışmaları

7.5.3.1 Peleg model

Peleg model Denklem 7.20'de sunulmuştur.

$$RR_t = RR_0 + \frac{t}{k_1 + k_2 t} \quad (7.20)$$

Denklem 7.19'da;

RR_t : Herhangi bir t anındaki rehidratasyon oranı değeri (birimsiz)

RR_0 : $t=0$ anındaki rehidratasyon oranı değeri (birimsiz)

k_1 : Peleg modele ait kinetik sabit (s. g kuru madde⁻¹ . g su⁻¹)

k_2 : Peleg modele ait karakteristik sabit (g kuru madde⁻¹ . g su⁻¹)

t: Kuruma zamanı (saniye)

olarak tanımlanmıştır.

7.5.4 Aktivasyon enerjisinin hesaplanması

Kinetik sabitler kullanılarak bamya ve ıspanak numuneleri için aktivasyon enerjileri; Dadalı vd., (2007b; 2007c) tarafından Arrhenius denklemi temel alınarak türetilen eksponansiyel bir denklem kullanılarak hesaplanmıştır. Literatürde, daha önce buna benzer bir çalışmaya rastlanmamıştır. Türetilen model Denklem 7.21'de sunulmuştur.

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

Denklem 7.21'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 1.3 programı kullanılmıştır. Bu program yardımı ile deneysel ve hesaplanan değerler arasındaki sapma, en küçük kareler metodu kullanılarak hesaplanmıştır. İstatistiksel değerler Denklem 7.22-7.23'te sunulmuştur.

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

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

Denklem 7.22 ve 7.23'te;

m: gözlem sayısı

N_d : toplam deney sayısı

p: parametre sayısı ve

δ : Standart sapma

olarak tanımlanmıştır.

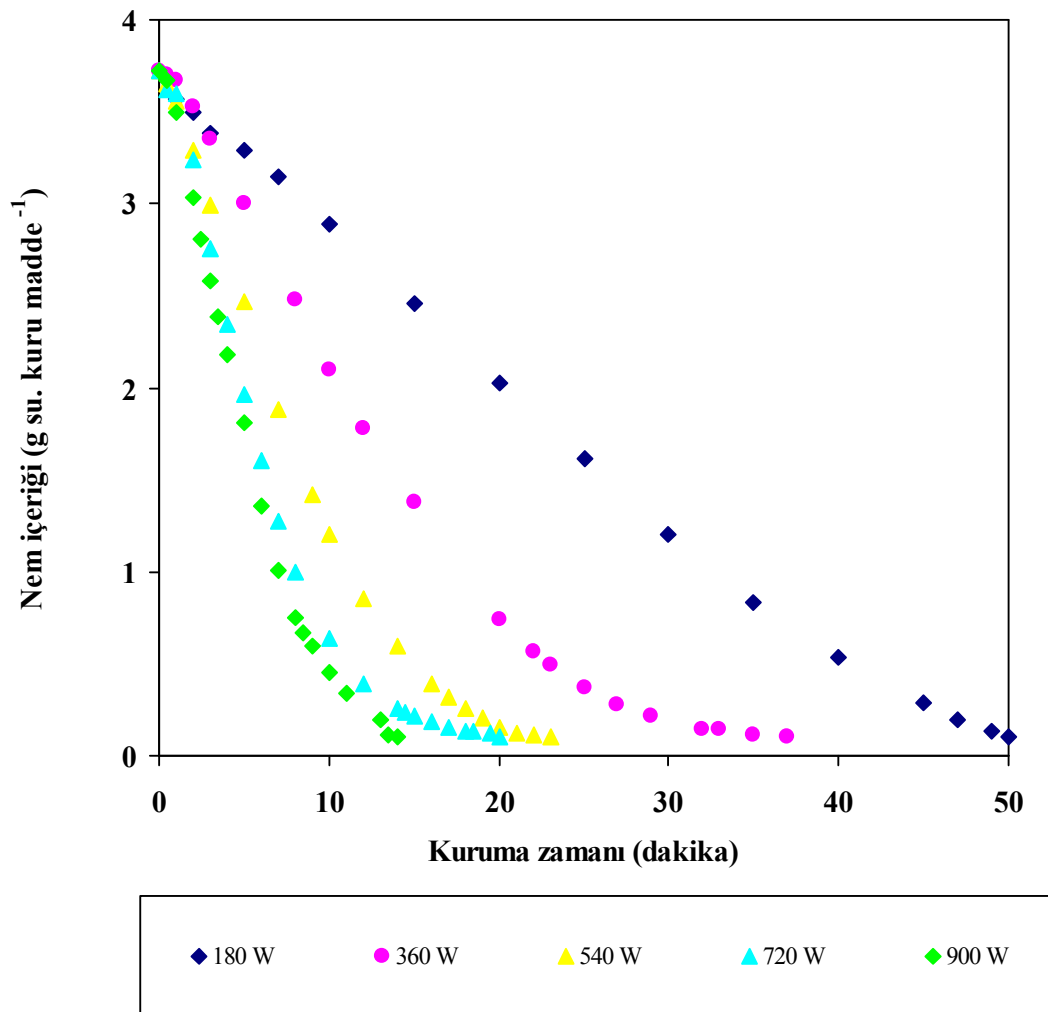
8. ARAŞTIRMA BULGULARI

8.1 Mikrodalga Çıkış Gücünün Balya Numunesinin Kurutulması Üzerindeki Etkisi

8.1.1 Mikrodalga çıkış gücünün balya numunesinin kuruma kinetiği üzerindeki etkisi

8.1.1.1 Nem içeriği değişimi

Bu çalışmada kullanılan balya numunelerinin ortalama toplam nem içeriği $M_0=3.72$ g su. g kuru madde⁻¹ olarak hesaplanmıştır. Mikrodalga çıkış gücünün nem içeriği değişimi üzerindeki etkisini incelemek için; 180, 360, 540, 720 ve 900 W mikrodalga çıkış güçlerinde kurutulan 100 g balya numunesinin nem içeriği değişimi için elde edilen değerler Ek 1, Çizelge 1.1-1.5'te sırası ile verilmiş ve Şekil 8.1'de grafiksel olarak sunulmuştur.

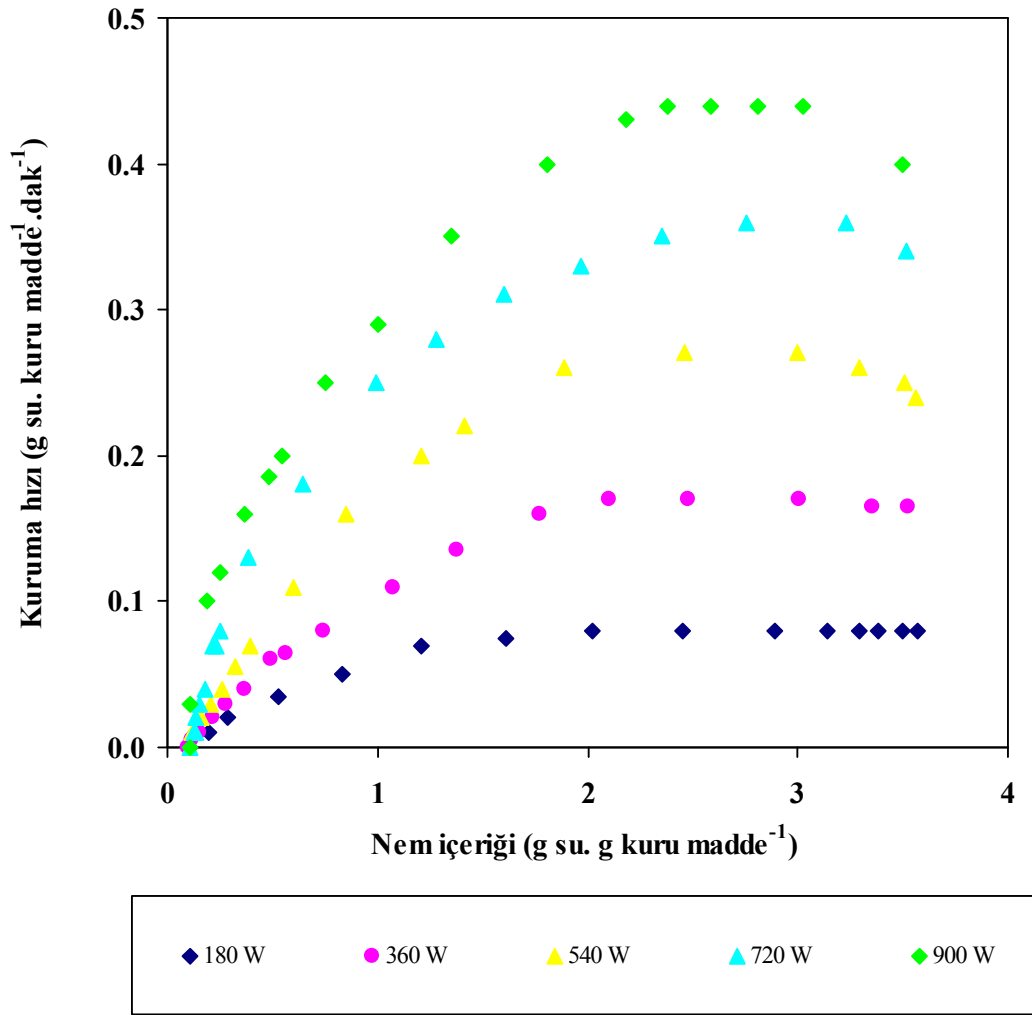


Şekil 8.1 Farklı mikrodalga çıkış güçlerinde balya numunesinin nem içeriğinin kuruma zamanı ile değişimi (Numune ağırlığı= 100 g)

Yapılan incelemeler sonucunda mikrodalga çıkış gücü artırıldığında 100 g bamyaya numunesi için kuruma sürelerinin azaldığı gözlemlenmiştir. Şekil 8.1 incelendiğinde 180 W mikrodalga çıkış gücü için bamyaya numunesinin nem içeriğinin 3.72'den 0.1 g su. g kuru madde⁻¹ değerine düşmesi 50 dakika sürerken, 900 W mikrodalga çıkış gücü için 14 dakikada tamamlanmıştır. 180 W mikrodalga çıkış gücü yerine 900 W mikrodalga çıkış gücü kullanıldığında kuruma süresinin %69.20 azaldığı belirlenmiştir.

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 100 g bamyaya numunesinin kuruma hızları Denklem 7.2'den hesaplanmış ve bamyaya numunelerine ait kuruma hız değerleri Şekil 8.2'de grafiksel olarak sunulmuştur.



Şekil 8.2 Farklı mikrodalga çıkış güçlerinde bamyaya numunesine ait kuruma hızlarının nem içeriği ile değişimi (Numune ağırlığı= 100 g)

Şekil 8.2 incelendiğinde, bamya numunesinin kurutulması sırasında kısa bir ısınma süresinin ardından; sabit hızda kuruma periyodu ve azalan hızda kuruma periyodu olmak üzere 2 farklı kuruma periyodu gözlemlenmiştir. Bamya numunelerinin sabit hızda kuruma periyodunda ortalama kuruma hızları, mikrodalga çıkış gücü 180 W mikrodalga çıkış gücünden 900 W mikrodalga çıkış gücüne çıkarıldığında, 0.08 değerinden 0.44 g su. g kuru madde⁻¹.dak⁻¹ değerine arttığı gözlemlenmiştir. Sabit hızda kuruma periyodunda; nem içeriği değerleri; 180 ve 360 W mikrodalga çıkış güçlerinde 3.50 değerinden 2.0 g su. g kuru madde⁻¹ değerine, 540, 720 ve 900 W mikrodalga çıkış güçlerinde ise 3.0 değerinden 2.0 g su. g kuru madde⁻¹ değerine düştüğü görülmüştür. Sabit hızda kuruma periyodunu azalan hızda kuruma periyodu takip etmiştir. Bu periyot süresince nem içeriği değerleri ortalama 2.0 g su. g kuru madde⁻¹ değerinden 0.1 g su. g kuru madde⁻¹ değerine düşmüştür.

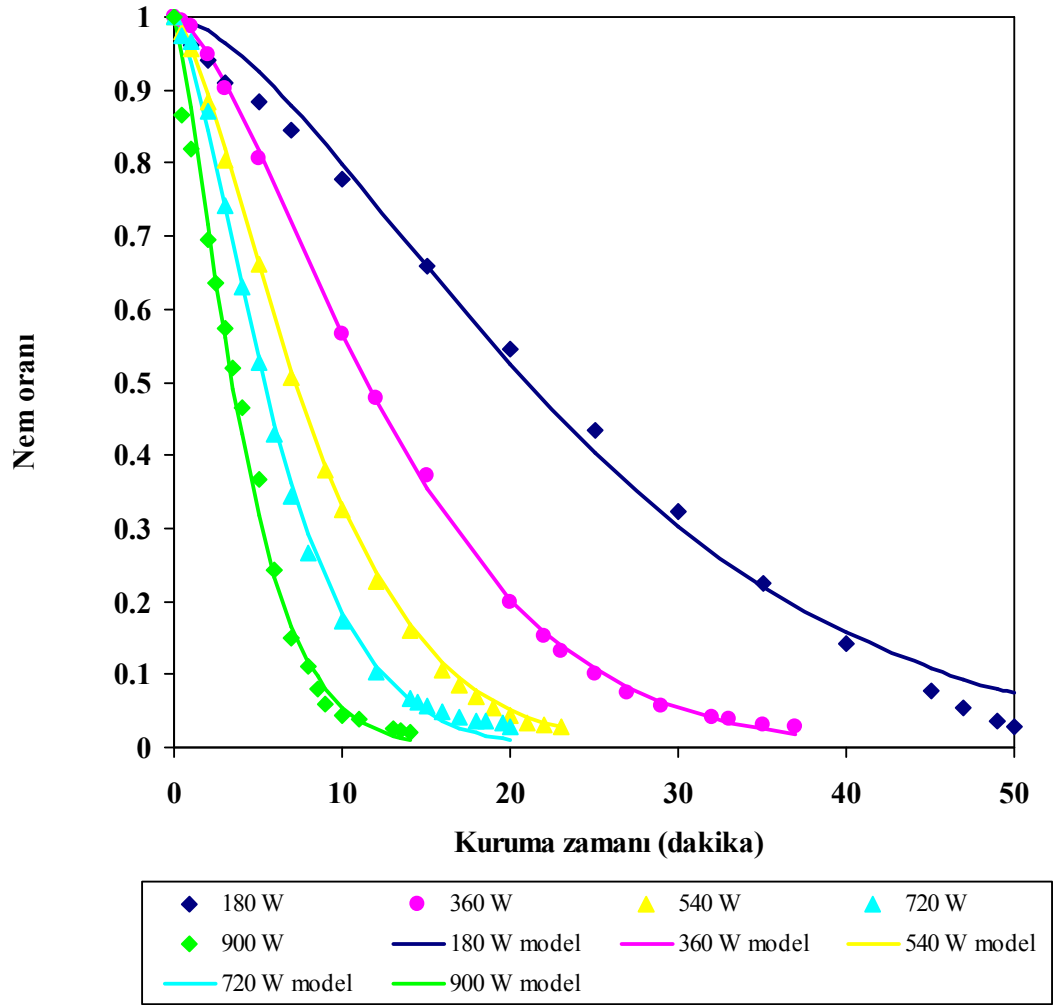
8.1.1.3 Kuruma kinetiğine ait model çalışmaları

Mikrodalga tekniği kullanılarak 100 g bamya 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 istatistik veriler Çizelge 8.1’de sunulmuştur. Elde edilen verilerden; yüksek R² ve düşük standart sapma (δ) değerleri ile Page modelin bamya numunesinin kuruma kinetiğini açıklayan en iyi model olduğu saptanmıştır. Kurumanın gerçekleştirildiği 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’te, matematiksel model sabitleri ve istatistik veriler Çizelge 8.2’de verilmiştir.

Çizelge 8.2 incelendiğinde; Page modele ait kinetik sabitin (k) değerinin mikrodalga çıkış gücü arttıkça 0.0068 dak⁻¹ değerinden 0.0691 dak⁻¹ değerine arttığı gözlemlenmiştir. Bu durum yüksek mikrodalga çıkış güçlerinde yüksek sıcaklıkların oluşmasından dolayı kurumanın daha kısa sürede gerçekleştiğini göstermektedir. Diğer yandan, Page modele ait diğer bir sabit olan n değeri 1.42-1.52 değerleri arasında değişmiş ve mikrodalga çıkış gücünden etkilenmediği saptanmıştır. Elde edilen veriler neticesinde; Page modele ait n sabitinin bamya numunesinin mikrodalga tekniği ile kurutulması sırasında sabit kabul edilebileceği yargısına varılmış ve her bir mikrodalga çıkış gücünde elde edilen değerlerin aritmetik ortalaması alınarak n sabiti 1.47 olarak hesaplanmıştır.

Çizelge 8.1 Farklı mikrodalga çıkış güçlerinde kurutulan bamya numunesinin kuruma hızlarının belirlenmesi sırasında kurulan matematiksel modeller ve istatistik veriler

Modeller	Mikrodalga Çıkış Gücü (W)	R²	δ
Page Model	180	0.9962	0.0330
	360	0.9998	0.0072
	540	0.9999	0.0047
	720	0.9991	0.0152
	900	0.9996	0.0091
Henderson ve Pabis Model	180	0.9822	0.0725
	360	0.9910	0.0530
	540	0.9920	0.0480
	720	0.9921	0.0460
	900	0.9870	0.0560
Lewis Model	180	0.9787	0.0767
	360	0.9869	0.0638
	540	0.9875	0.0588
	720	0.9864	0.0599
	900	0.9788	0.0711
Logaritmik Model	180	0.9951	0.0164
	360	0.9967	0.0337
	540	0.9975	0.0275
	720	0.9948	0.0390
	900	0.9953	0.0354



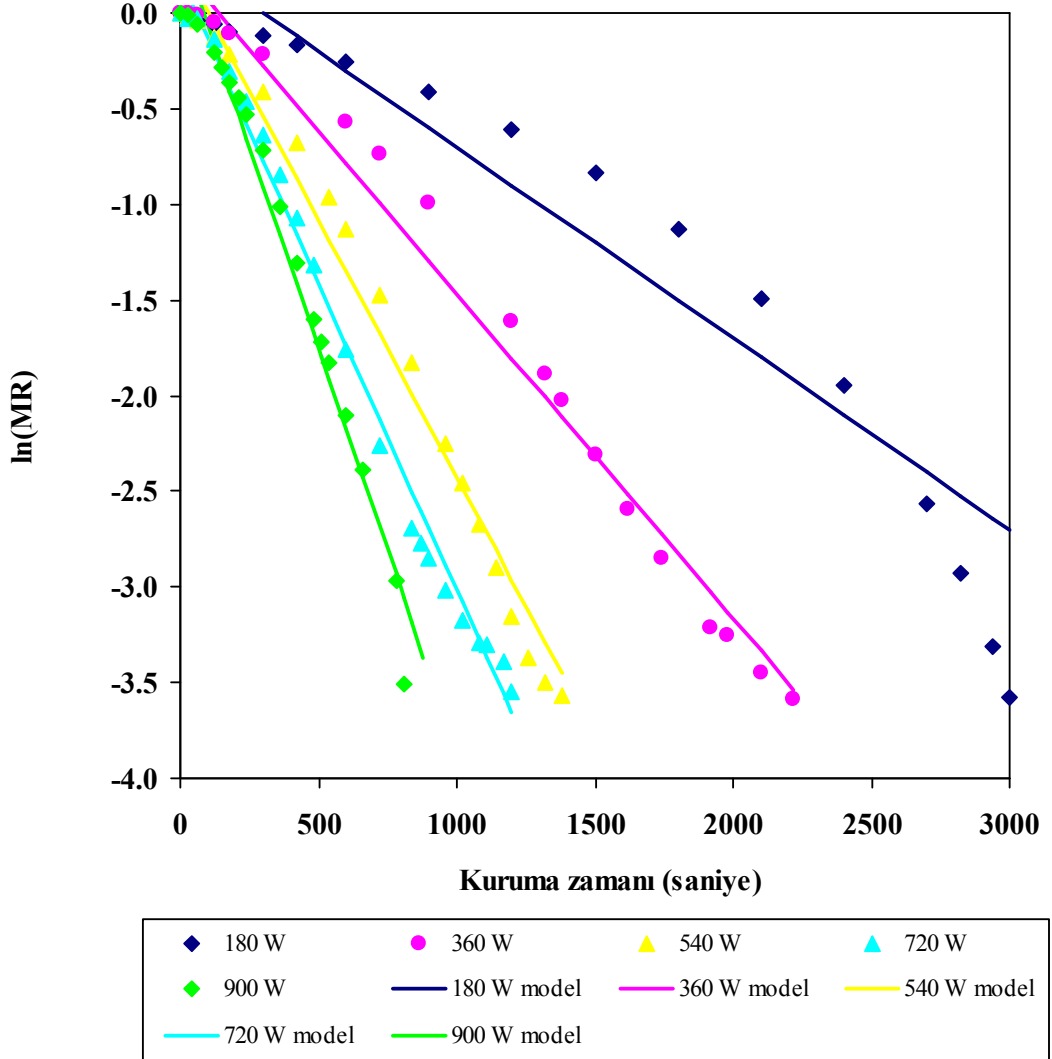
Şekil 8.3 Farklı mikrodalga çıkış güçlerinde bamyaya numunesine ait nem oranı değerlerinin kuruma zamanı ile değişimi (Numune ağırlığı= 100 g)

Çizelge 8.2 Farklı mikrodalga çıkış güçlerinde bamyaya numunesine ait kuruma zamanlarına karşılık elde edilen deneysel verilere uyan Page model sabitleri ve istatistik veriler (Numune ağırlığı= 100 g)

Mikrodalga Çıkış Gücü (W)	k (dak ⁻¹)	n (birimsiz)	R ²	δ
180	0.0068	1.52	0.9962	0.0330
360	0.0184	1.49	0.9998	0.0072
540	0.0420	1.42	0.9999	0.0047
720	0.0630	1.43	0.9991	0.0152
900	0.0691	1.49	0.9998	0.0351

8.1.1.4 Etkin difüzyon katsayılarının hesaplanması

Gıdaların kurutulması sırasında meydana gelen kütle transferinin en önemli ölçütü olan etkin difüzyon katsayısı küre kabulü yapılan bamyaya numunelerinin beş farklı mikrodalga çıkış gücünde, 180, 360, 540, 720 ve 900 W, kurutulmaları sırasında Denklem 7.6'da verilen lineer denklemin eğimi yardımıyla hesaplanmıştır (Şekil 8.4). Matematiksel model sabitleri ve istatistik veriler Çizelge 8.3'te verilmiştir.



Şekil 8.4 Farklı mikrodalga çıkış güçlerinde bamyaya numunesine ait $\ln(MR)$ değerlerinin kuruma zamanı ile değişimi (Numune ağırlığı= 100 g)

Şekil 8.4 ve Çizelge 8.3'te görüldüğü gibi mikrodalga çıkış gücü arttıkça etkin difüzyon katsayısı değerleri de artmaktadır. Bunun nedeni, daha yüksek mikrodalga çıkış güçlerinde gıdanın içerisinde meydana gelen sıcaklıkların artması ile kütle transferinin de artış göstermesi ve kuruma sürelerinin azalmasıdır.

Diğer yandan, 180 W mikrodalga çıkış gücünde elde edilen deneysel değerlerin lineer denkleme diğer mikrodalga çıkış güçlerine nazaran daha az uyduğu saptanmıştır. Bunun sebepleri; düşük mikrodalga çıkış güçlerinde numunelerin daha fazla büzüşmeleri ve bundan dolayı oluşan yavaş kuruma nedeniyle buharlaşması gereken suyun bir kısmının gıdanın içinde sıkışarak kütle transferini engellemesi olarak sıralanabilir.

Çizelge 8.3 Farklı mikrodalga çıkış güçlerinde bamya numunesine ait hesaplanan etkin difüzyon katsayısının değişimi ve istatistik veriler (Numune ağırlığı= 100 g)

Mikrodalga Çıkış Gücü (W)	Eğim*10 ³	D _{eff} *10 ¹⁰ (m ² .s ⁻¹)	R ²	δ
180	0.360	20.52	0.9599	0.3624
360	0.612	34.87	0.9868	0.1952
540	0.973	55.44	0.9918	0.1738
720	1.152	65.65	0.9927	0.1242
900	1.512	86.17	0.9958	0.1125

8.1.2 Mikrodalga çıkış gücünün bamya numunesinin renk değişimi üzerindeki etkisi

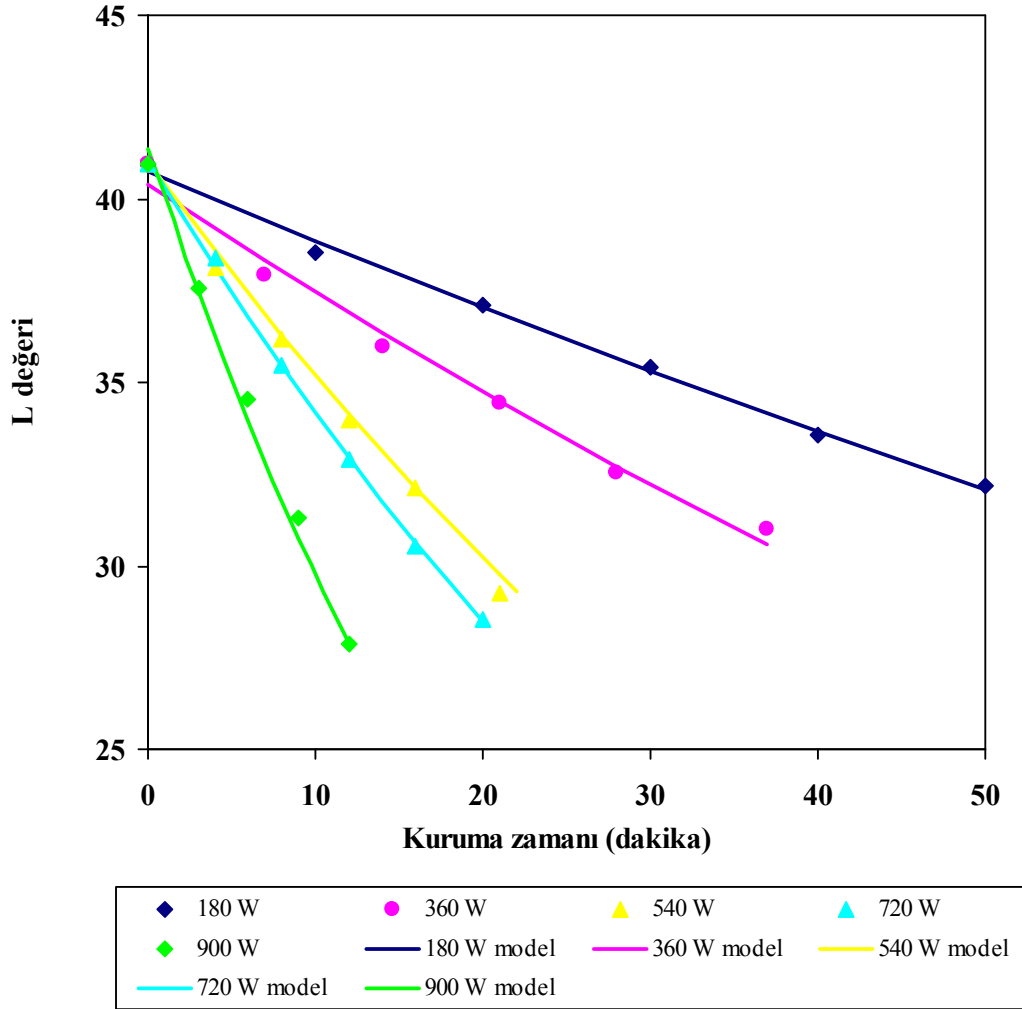
Mikrodalga ile kurutma tekniği kullanılarak 100 g bamya numunesinin zamana bağlı olarak renk değişimleri belirlenmiştir. Elde edilen L, a b ve toplam renk değişimi (ΔE)'ye ait deneysel değerler Ek 2, Çizelge 2.1-2.5'te sırası ile sunulmuş ve modellenmiştir. Yapılan modelleme çalışmaları sonucunda; L, b, Kroma (CV) ve Kahverengileşme İndeksi (BI) değerlerinin birinci dereceden kinetik modele (Denklem 7.19), diğer yandan a, toplam renk değişimi (ΔE) ve Renk Açısı (HA) değerlerinin ise sıfırıncı dereceden kinetik modele (Denklem 7.18) uygunluk gösterdiği görülmüştür. Farklı mikrodalga çıkış güçleri 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 -11'de, matematiksel model sabitleri ve istatistik veriler Çizelge 8.4 -10'da sırası ile verilmiştir.

▪ L değeri değişimi

Farklı mikrodalga çıkış güçlerinde elde edilen L değerinin kuruma zamanı ile değişimi Şekil 8.5'te matematiksel model sabitleri ve istatistik veriler de Çizelge 8.4'te verilmiştir. Şekil 8.5'ten anlaşılacağı gibi, L değeri kuruma zamanı boyunca düşmüştür. Bu durum gıdanın renginin koyulaşmaya başladığının bir göstergesidir. L değeri mikrodalga çıkış gücü 180 W iken; 40.93 değerinden 32.18 değerine, mikrodalga çıkış gücü 900 W iken; 40.93 değerinden

27.85 değerine düşmüştür.

Yapılan matematiksel modelleme sonucunda; birinci dereceden kinetik denkleme ait hız sabiti (k); mikrodalga çıkış gücü 180 W değerinden 900 W değerine arttırıldığında, 0.0047 dak^{-1} değerinden 0.0328 dak^{-1} değerine artma göstermiştir. Bu sonuç, gıdanın içinde meydana gelen yüksek sıcaklık neticesinde termal bozunma reaksiyonlarının daha hızlı gerçekleştiğini göstermektedir (Maskan, 2001b; Dadali vd., 2007c).



Şekil 8.5 Farklı mikrodalga çıkış güçlerinde bamya numunesine ait L değerlerinin kuruma zamanı ile değişimi (Numune ağırlığı= 100 g)

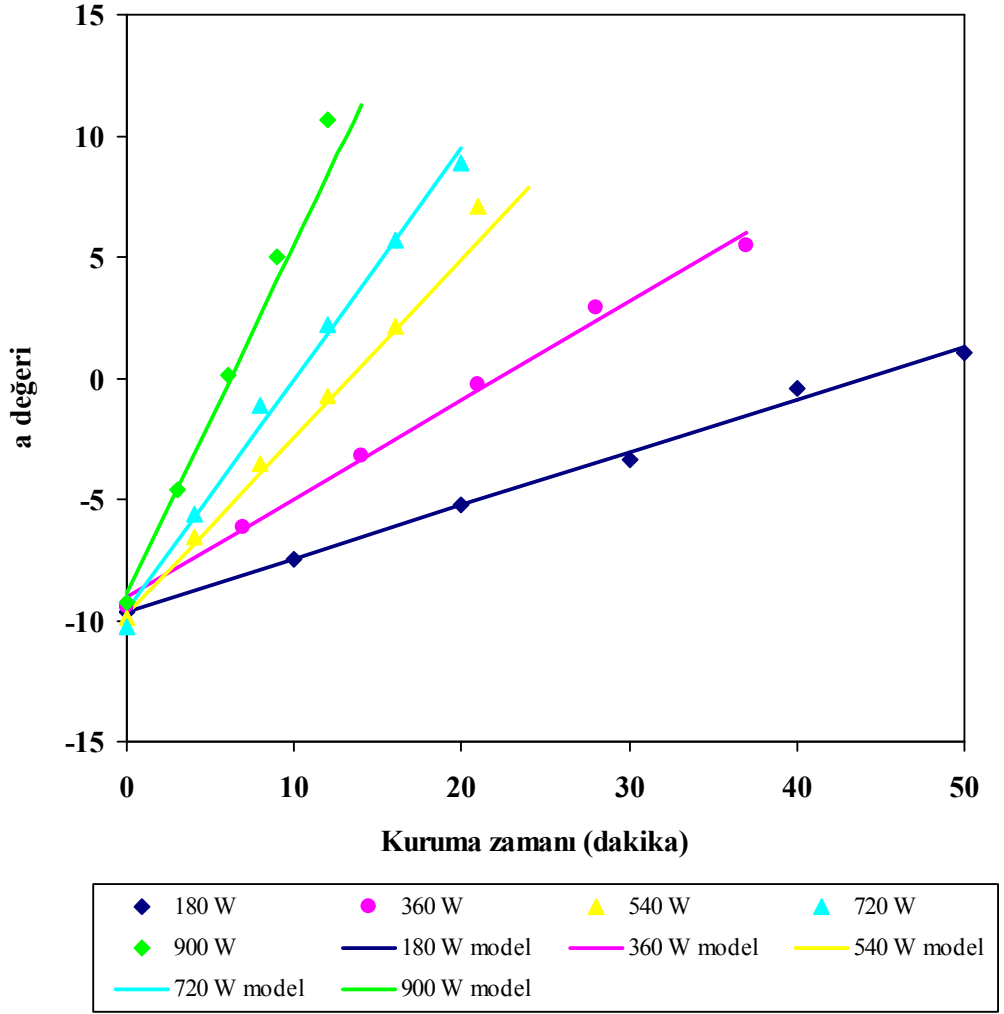
Çizelge 8.4 Farklı mikrodalga çıkış güçlerinde bamya numunesine ait L değeri için birinci dereceden kinetik denklem kullanılarak elde edilen model sabitleri ve istatistik veriler (Numune ağırlığı= 100 g)

Mikrodalga Çıkış Gücü (W)	k (dak ⁻¹)	C ₀ (birimsiz)	R ²	δ
180	0.0047	40.7529	0.9986	0.1920
360	0.0075	40.3913	0.9940	0.4412
540	0.0152	41.0218	0.9938	0.5212
720	0.0193	41.2295	0.9980	0.3420
900	0.0328	41.3494	0.9929	0.6595

▪ a değeri değişimi

Farklı mikrodalga çıkış güçlerinde elde edilen a değerinin kuruma zamanı ile değişimi Şekil 8.6'da ve matematiksel model sabitleri ve istatistik veriler Çizelge 8.5'te verilmiştir. Şekil 8.6'da verildiği üzere, a değeri kuruma zamanı boyunca artmıştır. Bu durum, gıdanın renginin yeşilden kahverengiye dönmeye başladığının bir ölçütüdür. a değeri mikrodalga çıkış gücü 180 W iken; -9.75 değerinden 1.06 değerine; mikrodalga çıkış gücü 900 W iken; -9.75 değerinden 10.23 değerine artmıştır.

Yapılan matematiksel modelleme sonucunda; sıfırıncı dereceden kinetik denkleme ait hız sabiti (k); mikrodalga çıkış gücü 180 W değerinden 900 W değerine arttırıldığında, Lopez vd. (1997) tarafından da belirtildiği gibi gıdanın içinde meydana gelen ve yüksek sıcaklıkta oluşan kahverengi pigmentlerin artması neticesinde k değeri 0.3220 dak⁻¹ değerinden 1.5736 dak⁻¹ değerine artmıştır.



Şekil 8.6 Farklı mikrodalga çıkış güçlerinde bamyaya numunesine ait a değerlerinin kuruma zamanı ile değişimi (Numune ağırlığı= 100 g)

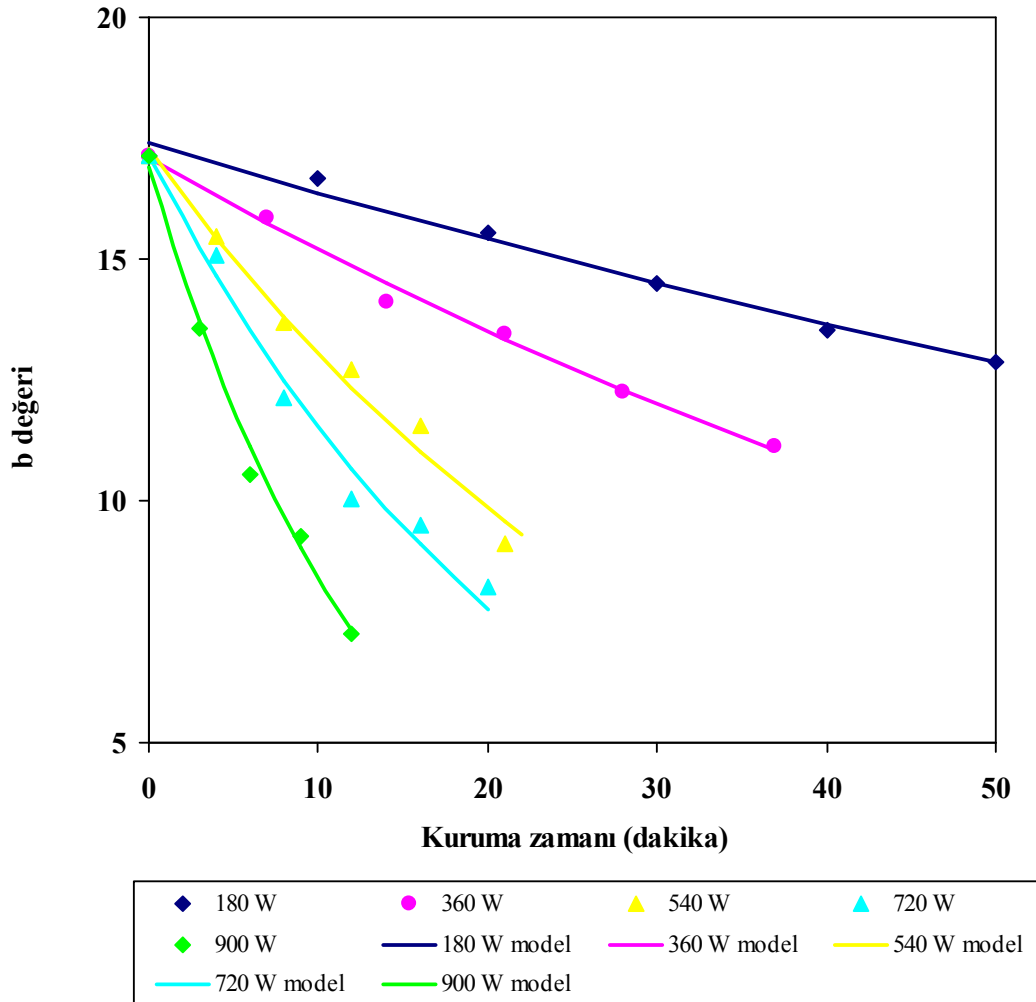
Çizelge 8.5 Farklı mikrodalga çıkış güçlerinde bamyaya numunesine ait a değeri için sıfırıncı dereceden kinetik denklem kullanılarak elde edilen model sabitleri ve istatistik veriler (Numune ağırlığı= 100 g)

Mikrodalga Çıkış Gücü (W)	k (dak ⁻¹)	C ₀ (birimsiz)	R ²	δ
180	0.3220	-9.6514	0.9978	0.2988
360	0.4079	-9.0607	0.9974	0.4458
540	0.7339	-9.7642	0.9974	0.4532
720	0.9509	-9.5510	0.9964	0.6685
900	1.5736	-9.2820	0.9999	0.1035

▪ b değeri değışimi

Farklı mikrodalga çıkış güçlerinde elde edilen b değerinin kuruma zamanı ile değışimi Şekil 8.7’de ve matematiksel model sabitleri ve istatistik veriler Çizelge 8.6’da verilmiştir. Şekil 8.7 incelendiğinde; b değerinin kuruma zamanı boyunca düştüğü gözlenmiştir. b değeri mikrodalga çıkış gücü 180 W iken; 17.13 değerinden 12.85 değerine; mikrodalga çıkış gücü 900 W iken; 17.13 değerinden 7.25 değerine düşmüştür.

Yapılan matematiksel modelleme sonucunda; birinci dereceden kinetik denkleme ait hız sabiti (k); mikrodalga çıkış gücü 180 W değerinden 900 W değerine arttırıldığında, 0.0060 dak^{-1} değerinden 0.0456 dak^{-1} değerine artma göstermiştir. Bu durum, gıdanın içinde meydana gelen yüksek sıcaklık neticesinde klorofil ve karoten pigmentlerinin bozunma reaksiyonlarının daha hızlı gerçekleştiğini göstermektedir (Palou, 1999; Weemaes, 1999).



Şekil 8.7 Farklı mikrodalga çıkış güçlerinde bamyaya numunesine ait b değerlerinin kuruma zamanı ile değışimi (Numune ağırlığı= 100 g)

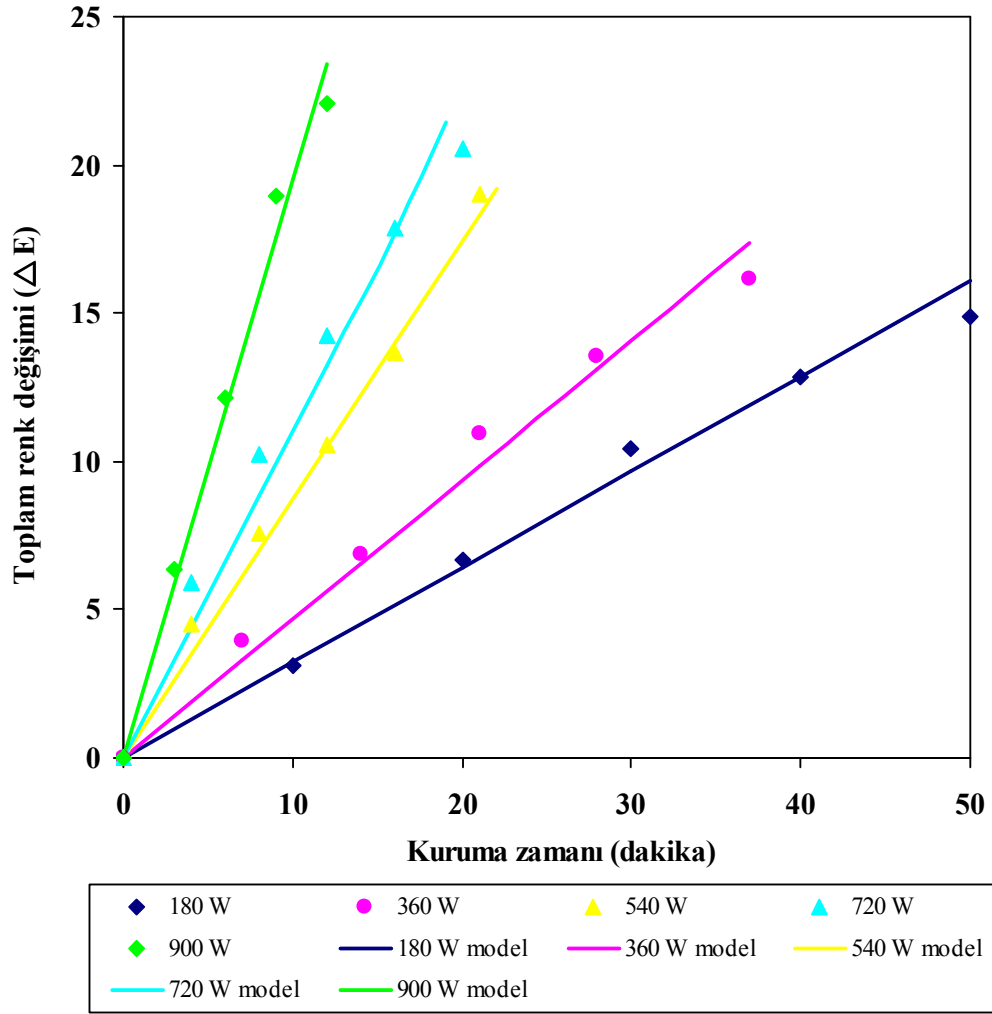
Çizelge 8.6 Farklı mikrodalga çıkış güçlerinde bamyaya numunesine ait b değeri için birinci dereceden kinetik denklem kullanılarak elde edilen model sabitleri ve istatistik veriler (Numune ağırlığı= 100 g)

Mikrodalga Çıkış Gücü (W)	k (dak⁻¹)	C₀ (birimsiz)	R²	δ
180	0.0060	17.3885	0.9936	0.2149
360	0.0123	17.2938	0.9971	0.2276
540	0.0285	17.1719	0.9952	0.2981
720	0.0398	17.8600	0.9961	0.6687
900	0.0456	16.8962	0.9958	0.2971

▪ **Toplam renk değişimi (ΔE) değeri**

Toplam renk değişimi (ΔE) değerleri Denklem 7.8 kullanılarak elde edilmiştir. Toplam renk değişimi (ΔE) değerlerinin kuruma zamanı ile değişimi Şekil 8.8’de, matematiksel model sabitleri ve istatistik veriler Çizelge 8.7’de verilmiştir. Toplam renk değişimi (ΔE) değerleri, mikrodalga çıkış gücü 180 W iken 12.85 değerine; mikrodalga çıkış gücü 900 W iken; 22.05 değerine yükselmiştir.

Yapılan matematiksel modelleme sonucunda; sıfırıncı dereceden kinetik denkleme ait hız sabiti (k); mikrodalga çıkış gücü 180 W değerinden 900 W değerine arttırıldığında, 0.2190 dak⁻¹ değerinden 1.9520 dak⁻¹ değerine artmıştır.



Şekil 8.8 Farklı mikrodalga çıkış güçlerinde bamya numunesine ait toplam renk değişimi (ΔE) değerlerinin kuruma zamanı ile değişimi (Numune ağırlığı= 100 g)

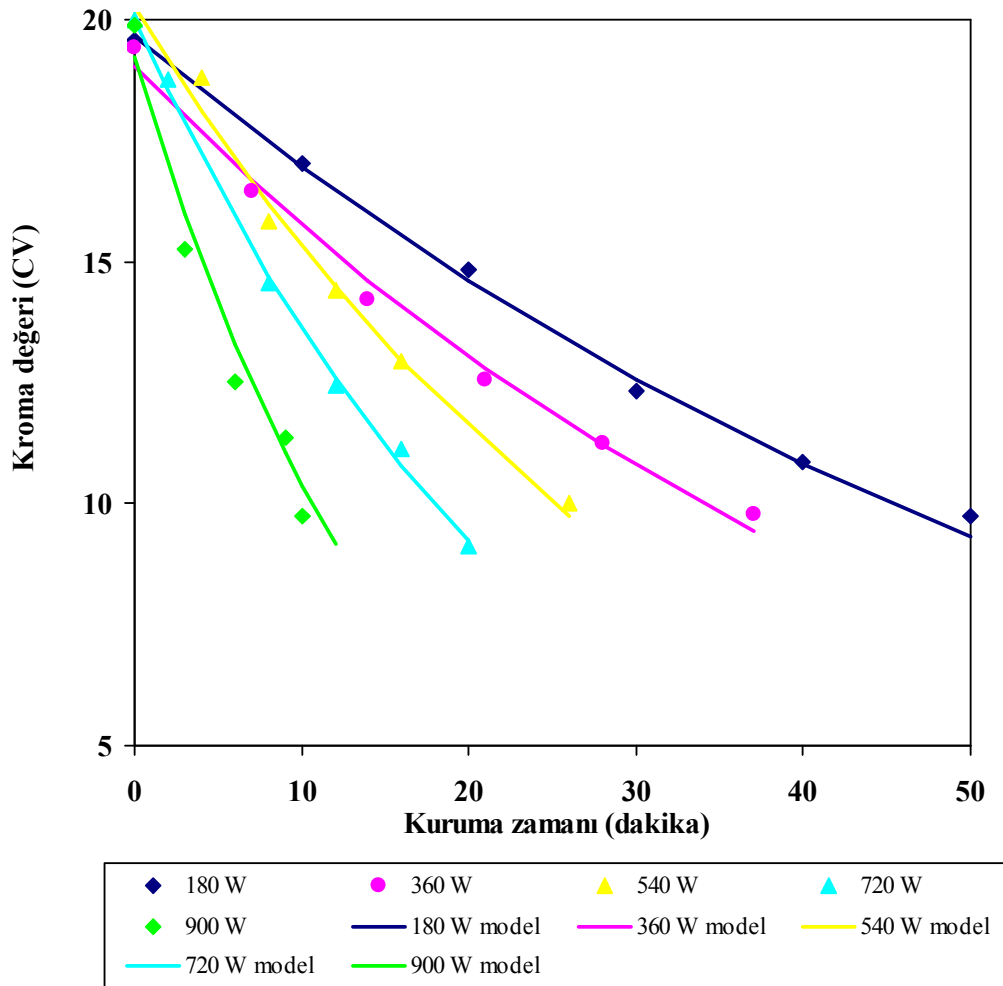
Çizelge 8.7 Farklı mikrodalga çıkış güçlerinde bamya numunesine ait toplam renk değişimi (ΔE) değeri için sıfırıncı dereceden kinetik denklem kullanılarak elde edilen model sabitleri ve istatistik veriler (Numune ağırlığı= 100 g)

Mikrodalga Çıkış Gücü (W)	k (dak ⁻¹)	R ²	δ
180	0.2190	0.9815	1.0521
360	0.4688	0.9908	0.8229
540	0.8729	0.9935	0.7434
720	1.1052	0.9868	1.2396
900	1.9520	0.9934	1.0288

▪ Kroma değeri (CV) değışimi

Denklem 7.9 kullanılarak elde edilen Kroma (CV) değęerlerinin kuruma zamanı ile değışimlerini gösteren grafiksel gösterim Şekil 8.9'da, matematiksel model sabitleri ve istatistik veriler Çizelge 8.8'de verilmiştir. Şekil 8.9 incelendiğinde; Kroma (CV) değęerinin kuruma zamanı boyunca düşme gösterdiği saptanmıştır. Kroma (CV) değęeri mikrodalga çıkış gücü 180 W iken; 19.56 değęerinden 12.34 değęerine; mikrodalga çıkış gücü 900 W iken; 19.56 değęerinden 9.76 değęerine düşmüştür.

Yapılan matematiksel modelleme sonucunda; birinci dereceden kinetik denkleme ait hız sabiti (k); mikrodalga çıkış gücü 180 W değęerinden 900 W değęerine arttırıldığında, 0.0149 dak⁻¹ değęerinden 0.0617 dak⁻¹ değęerine artmıştır.



Şekil 8.9 Farklı mikrodalga çıkış güçlerinde bamya numunesine ait Kroma (CV) değęerlerinin kuruma zamanı ile değışimi (Numune ağırlığı= 100 g)

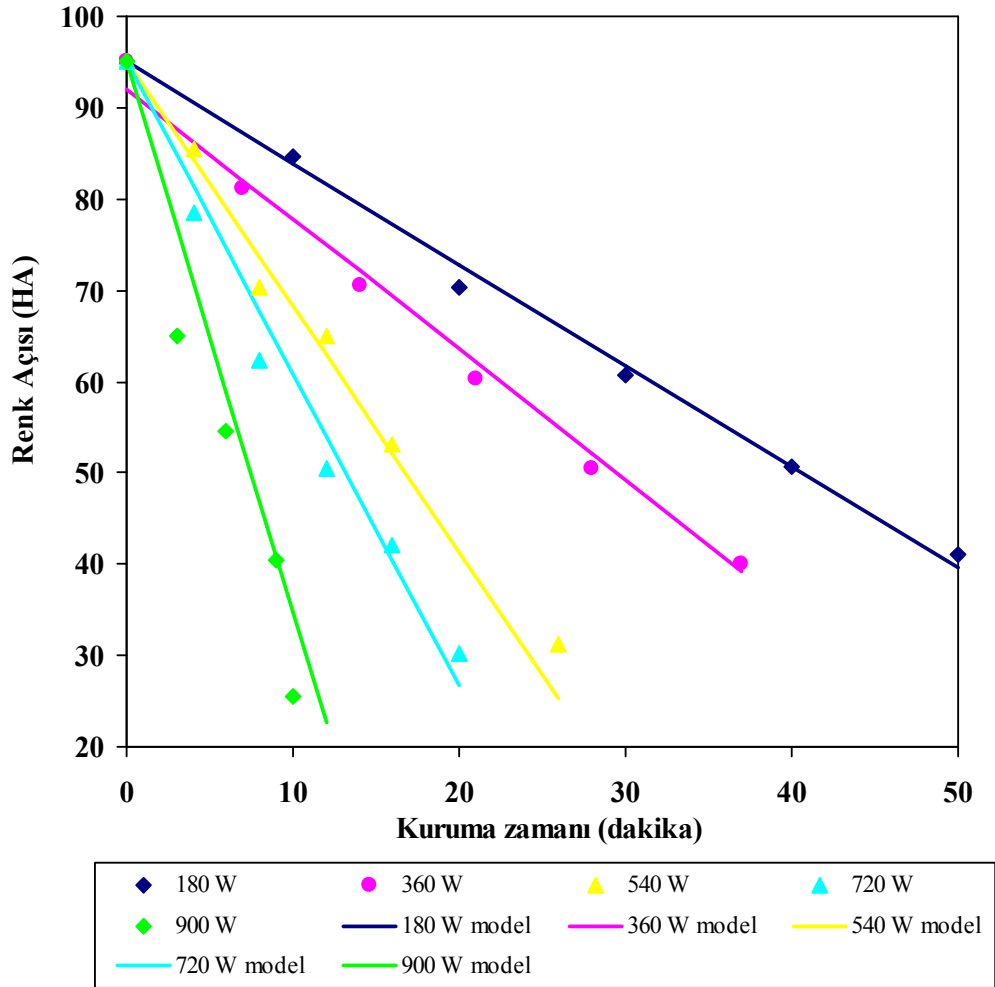
Çizelge 8.8 Farklı mikrodalga çıkış güçlerinde bamyaya numunesine ait Kroma (CV) değeri için birinci dereceden kinetik denklem kullanılarak elde edilen model sabitleri ve istatistik veriler (Numune ağırlığı= 100 g)

Mikrodalga Çıkış Gücü (W)	k (dak⁻¹)	C₀ (birimsiz)	R²	δ
180	0.0149	19.6647	0.9916	0.5573
360	0.0190	19.0520	0.9962	0.3440
540	0.0282	20.2828	0.9948	0.4379
720	0.0386	20.0152	0.9969	0.3803
900	0.0617	19.2264	0.9840	0.8158

▪ Renk Açısı (HA) değişimi

Denklem 7.10 kullanılarak elde edilen Renk Açısı (HA) değerlerinin kuruma zamanı ile değişimleri Şekil 8.10'da, matematiksel model sabitleri ve istatistik veriler Çizelge 8.9'da verilmiştir. Şekil 8.10 incelendiğinde; Renk Açısı (HA) değerlerinin kuruma zamanı boyunca düşme gösterdiği saptanmıştır. Renk Açısı (HA) değerleri mikrodalga çıkış gücü 180 W iken; 94.98 değerinden 40.98 değerine; mikrodalga çıkış gücü 900 W iken; 94.98 değerinden 30.24 değerine düşmüştür. Bu durum bamyaya numunesinin mikrodalga tekniği ile kurutulması sırasında renginin yeşilden (Renk Açısı > 90°C) kırmızı (Renk Açısı < 90°C) renge dönüştüğünün ifadesidir.

Yapılan matematiksel modelleme sonucunda; sıfırıncı dereceden kinetik denkleme ait hız sabiti (k); mikrodalga çıkış gücü 180 W değerinden 900 W değerine arttırıldığında, 0.8788 dak⁻¹ değerinden 4.4206 dak⁻¹ değerine artmıştır. Bunun nedeni; uygulanan yüksek mikrodalga çıkış güçlerinde gıdanın içerisinde oluşan yüksek sıcaklıklar renk değişimine neden olan bozunma reaksiyonlarını hızlandırmakta ve rengin daha hızlı ve daha fazla değişmesine neden olmaktadır.



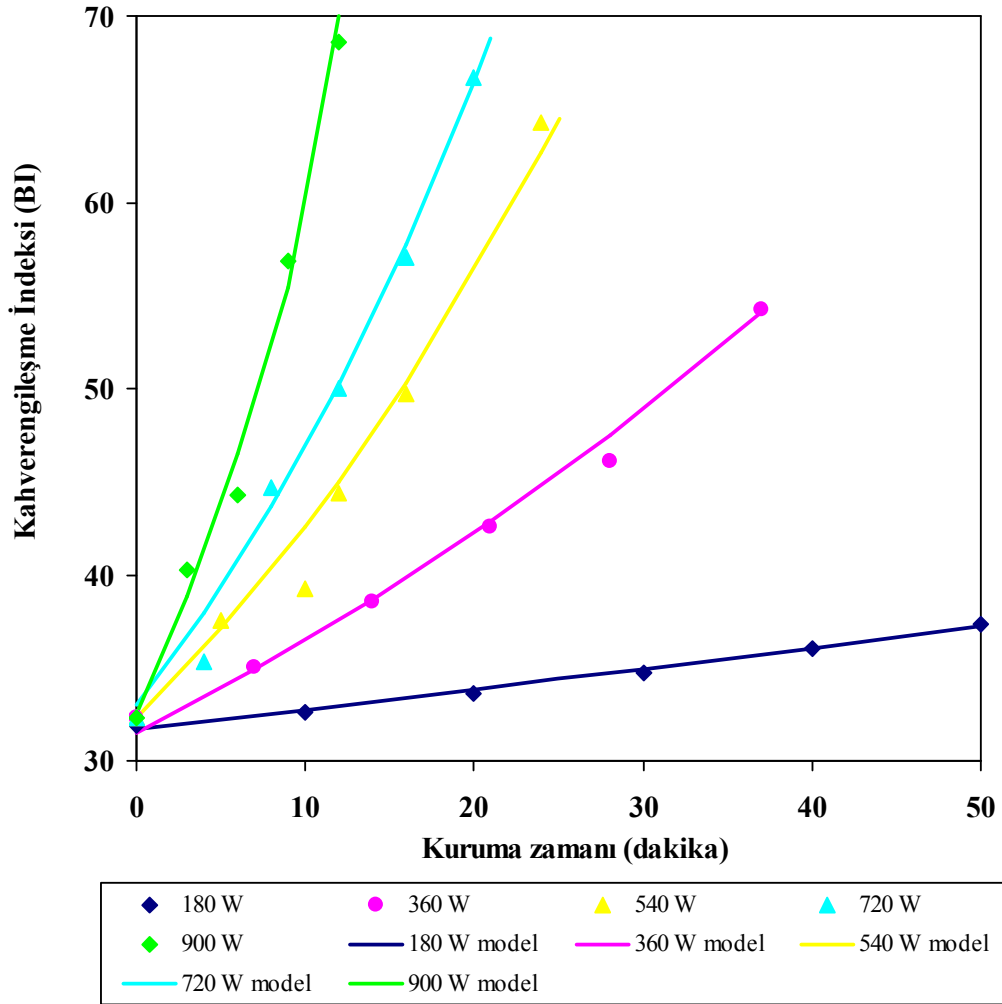
Şekil 8.10 Farklı mikrodalga çıkış güçlerinde bamya numunesine ait Renk Açısı (HA) değerlerinin kuruma zamanı ile değişimi (Numune ağırlığı= 100 g)

Çizelge 8.9 Farklı mikrodalga çıkış güçlerinde bamya numunesine ait Renk Açısı (HA) değeri için sıfırıncı dereceden kinetik denklem kullanılarak elde edilen model sabitleri ve istatistik veriler (Numune ağırlığı= 100 g)

Mikrodalga Çıkış Gücü (W)	k (dak ⁻¹)	C ₀ (birimsiz)	R ²	δ
180	0.8788	95.1071	0.9970	1.4269
360	1.1114	95.7581	0.9862	2.8401
540	2.1437	95.6223	0.9923	2.3143
720	2.4744	95.3109	0.9930	2.4501
900	4.4206	95.5320	0.9931	2.8688

▪ Kahverengileşme İndeksi (BI) değişimi

Denklem 7.11 kullanılarak elde edilen Kahverengileşme İndeksi (BI) değerlerinin kuruma zamanı ile değişimlerini gösteren grafiksel gösterim Şekil 8.11’de, matematiksel model sabitleri ve istatistik veriler Çizelge 8.10’da verilmiştir. Şekil 8.11 incelendiğinde; Kahverengileşme İndeksi (BI) değerlerinin kuruma zamanı boyunca arttığı görülmüştür. Kahverengileşme İndeksi değerleri mikrodalga çıkış gücü 180 W iken; 32.28 değerinden 37.35 değerine; mikrodalga çıkış gücü 900 W iken; 32.28 değerinden 65.55 değerine artmıştır. Bu durum gıdanın renginin yüksek mikrodalga çıkış güçlerinde enzimatik ve enzimatik olmayan reaksiyonlar neticesinde oluşan kahverengi pigmentler yüzünden daha koyu bir renge ulaştığını göstermektedir (Weemaes, 1999).



Şekil 8.11 Farklı mikrodalga çıkış güçlerinde bamya numunesine ait Kahverengileşme İndeksi (BI) değerlerinin kuruma zamanı ile değişimi (Numune ağırlığı= 100 g)

Yapılan matematiksel modelleme sonucunda; birinci dereceden kinetik denkleme ait hız sabiti (k); mikrodalga çıkış gücü 180 W değerinden 900 W değerine arttırıldığında, 0.1101 dak⁻¹ değerinden 2.7976 dak⁻¹ değerine artmıştır.

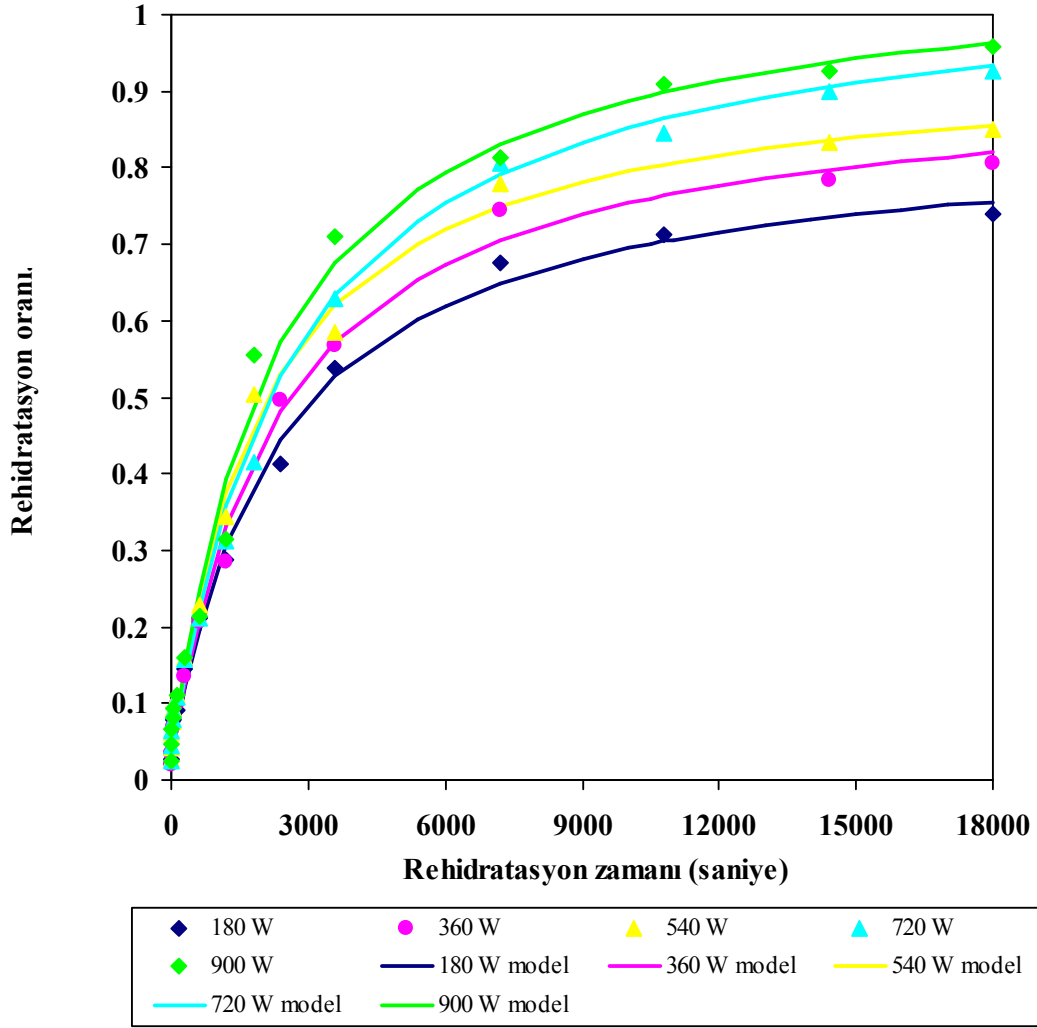
Çizelge 8.10 Farklı mikrodalga çıkış güçlerinde bamya numunesine ait Kahverengileşme İndeksi (BI) değeri için birinci dereceden kinetik denklem kullanılarak elde edilen model sabitleri ve istatistik veriler (Numune ağırlığı= 100 g)

Mikrodalga Çıkış Gücü (W)	k (dak⁻¹)	C₀ (birimsiz)	R²	δ
180	0.1101	32.6280	0.9959	0.2082
360	0.6026	32.8932	0.9840	0.6605
540	1.2088	32.3670	0.9939	0.1600
720	1.6687	32.4728	0.9950	0.3923
900	2.7976	32.1320	0.9984	0.3506

8.1.3 Mikrodalga çıkış gücünün bamya numunesinin rehidratasyon oranı üzerindeki etkisi

Mikrodalga ile kurutma tekniği kullanılarak 100 g bamya numunesinin beş farklı mikrodalga çıkış gücünde, 180, 360, 540, 720 ve 900 W, kurutulmasından sonra elde edilen kuru ürünler bir gün süre ile desikatörde bekletilmiş ve daha sonra 30°C sıcaklıktaki 250 ml distile suda rehidratasyon işlemine tabi tutulmuştur. Belirli zaman aralıklarında numuneler su banyosundan çıkarılmıştır. Numunelerin yüzeyinde bulunan su fazlası bir peçete yardımı ile uzaklaştırılarak tartım işlemleri yapılmıştır. Elde edilen tartım değerlerinden rehidratasyon oranı Denklem 7.12 kullanılarak hesaplanmıştır ve Ek 3, Çizelge 3.1-3.5'te sırası ile verilerek modellenmiştir. Yapılan modelleme çalışmaları sonucunda deneysel değerlerin Peleg modele (Denklem 7.20) uygunluk gösterdiği saptanmıştır.

Mikrodalga tekniği kullanılarak 100 g bamyanın kurutulması işleminin gerçekleştirildiği her bir mikrodalga çıkış gücünde rehidratasyon oranlarının 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 istatistik veriler Çizelge 8.11'de verilmiştir.



Şekil 8.12 Farklı mikrodalga çıkış güçlerinde bamya numunesine ait rehidratasyon oranı değerlerinin rehidratasyon zamanı ile değişimi (Numune ağırlığı= 100 g, rehidratasyon sıcaklığı= 30°C)

Şekil 8.12 incelendiğinde; mikrodalga çıkış gücü arttıkça bamya numunesinin geri absorplayabileceği su miktarı da artmaktadır. Ancak mikrodalga tekniği ile kurutulmuş olan bamya numunesinin absorplayabildiği su miktarı, taze iken sahip olduğu su miktarının %95'i kadardır. Bu durum kurutulan numunelerin kurutma ve rehidratasyon aşamasında yapılarında bazı değişikliklerin ya da doku farklılıklarının oluştuğunun bir göstergesi olarak açıklanabilir (Krokida ve Philippopoulos, 2005).

Çizelge 8.11 Farklı mikrodalga çıkış güçlerinde bamya numunesine ait rehidratasyon oranı değeri için Peleg model kullanılarak elde edilen model sabitleri ve istatistik veriler (Numune ağırlığı= 100 g, rehidratasyon sıcaklığı= 30°C)

Mikrodalga Çıkış Gücü (W)	k_1^*	k_2^{**}	R^2	δ
180	2812.1017	1.2146	0.9967	0.0231
360	2531.5804	1.1109	0.9969	0.0250
540	2144.8482	1.0877	0.9963	0.0270
720	2127.5432	0.9659	0.9952	0.0358
900	2108.9446	0.9493	0.9951	0.0376

* s.g kuru madde. g su⁻¹; ** g kuru madde. g su⁻¹

8.1.4 Mikrodalga çıkış gücünün bamya numunesinin Vitamin C kayıpları üzerindeki etkisi

Mikrodalga ile kurutma tekniği kullanılarak 100 g bamya numunesinin beş farklı mikrodalga çıkış gücünde, 180, 360, 540, 720 ve 900 W, belirli bir nem içeriğine kadar kurutulması sonucunda elde edilen kurutulmuş ürünler, bir gün süre ile desikatörde bekletilip soğutulduktan sonra, AOAC, (1990) tarafından belirlenen titrimetrik yöntem ile mg Vitamin C/100 g numune cinsinden hesaplanmıştır. Elde edilen değerler Çizelge 8.12’de sunulmuştur.

Çizelge 8.12’de görüldüğü gibi, Vitamin C değerindeki düşüş mikrodalga çıkış gücü arttırıldıkça artmıştır. Bunun nedeni, bamya numunesinin kurutma süresince maruz kaldığı yüksek sıcaklıklar neticesinde Vitamin C’nin bozunması olarak gösterilebilir. Aynı zamanda kurutma işlemi boyunca gıdanın hava ile teması sonucu Vitamin C oksitlenerek dehidroaskorbik aside dönüşmektedir (Khraisheh vd., 2004; Goula ve Adamopoulos, 2006). Bu durum gıdanın maksimum mikrodalga çıkış gücü olan 900 W değerinde %37.26 değerinde Vitamin C kaybı oluşmuştur.

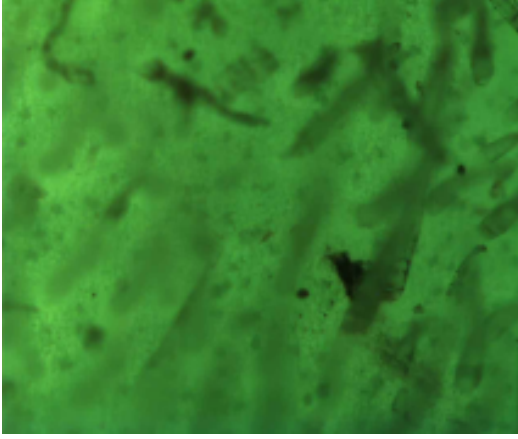
Çizelge 8.12 Farklı mikrodalga çıkış güçlerinde bamyaya numunesine ait Vitamin C değerlerinin değişimi (Numune ağırlığı= 100 g)

Mikrodalga Çıkış Gücü (W)	mg Vitamin C/100 g	% Kayıp*
180	22.20	11.30
360	20.18	19.92
540	18.90	25.00
720	17.14	31.98
900	15.81	37.26

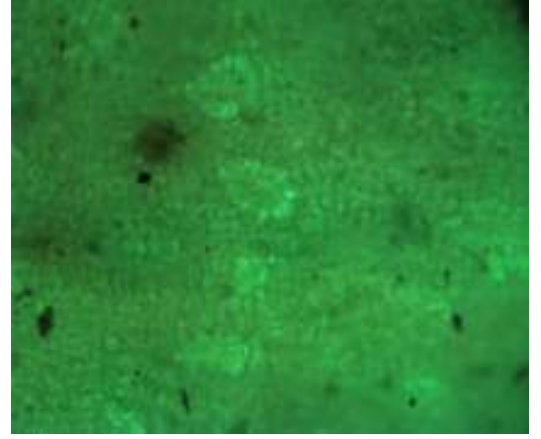
* 100 g bamyadaki Vitamin C miktarı 25.20 mg'dır.

8.1.5 Mikrodalga çıkış gücünün bamyaya numunesinin doku değişimleri üzerindeki etkisi

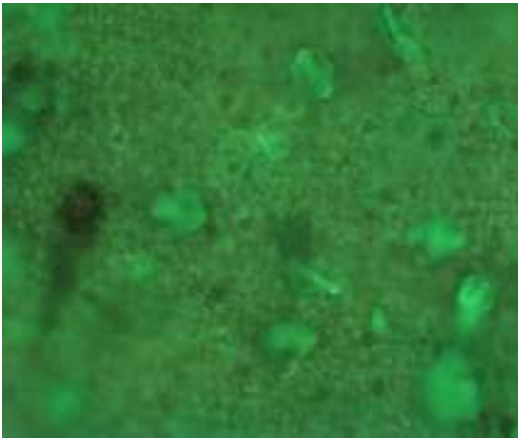
Mikrodalga ile kurutma tekniğinin 100 g bamyaya numunesinin beş farklı mikrodalga çıkış gücünde, 180, 360, 540, 720 ve 900 W, belirli bir nem içeriğine kadar kurutulması sonucunda elde edilen kurutulmuş ürünler, bir gün süre ile desikatörde bekletilip soğutulduktan sonra, Leica Trioküler Floresans ve Yansıma-Kontrast Mikroskobu ile 480 nm frekans boyunda ve 100 V ışık gücünde incelenerek doku değişimleri gözlemlenmiştir (Şekil 8.13). Elde edilen görüntülerde bamyanın kurutulması sırasında suyun transferini sağlayan gözenekler gözlemlenmemiştir. Bu durum; bamyaya numunelerinin kurutulması sırasında meydana gelen büzüşme nedeni ile son üründe gözeneklerin sıkışmış olabileceği, gıdanın tüylü yapısı veya oluşmuş gözenek boyutlarının mikroskopik büyütme ile saptanamayacak kadar küçük olması ile açıklanabilir.



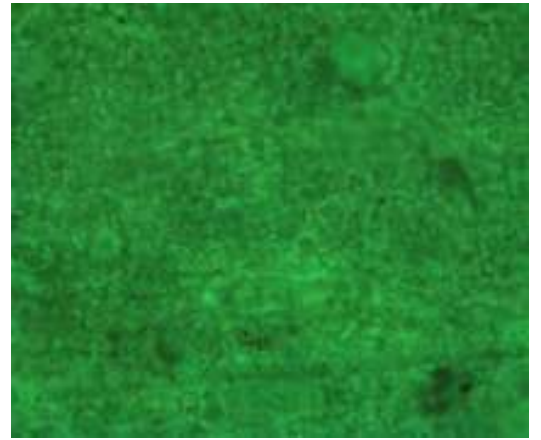
(a)



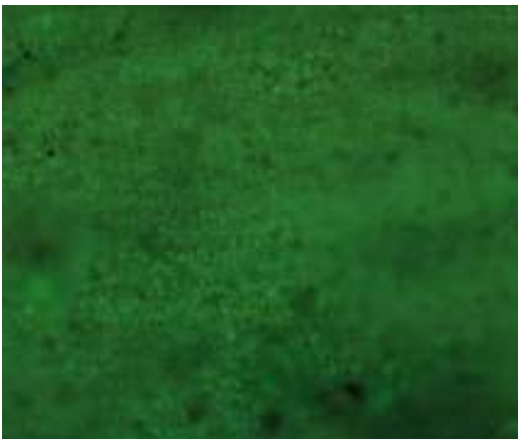
(b)



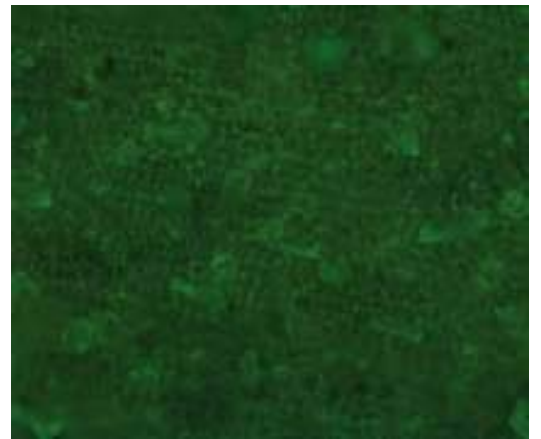
(c)



(d)



(e)



(f)

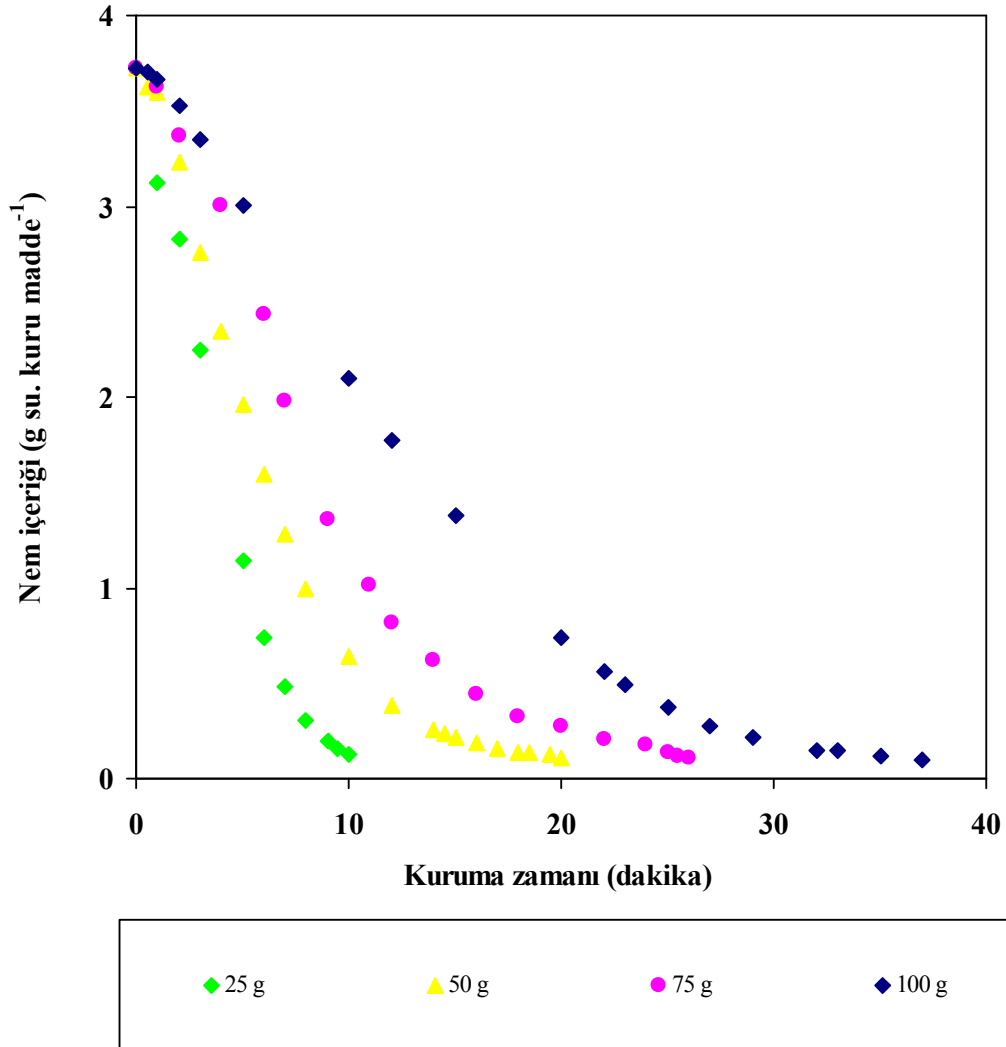
Şekil 8.13 Farklı mikrodalga çıkış güçlerinde bamyaya numunesinin Trioküler Floresans ve Yansıma-Kontrast Mikroskobu ile elde edilen görüntüleri (a) taze bamyaya, (b) 180 W, (c) 360 W, (d) 540 W, (e) 720 W, (f) 900 W (100 büyütme, 480 nm frekans boyu ve 100 V ışık gücü)

8.2 Sabit Mikrodalga Çıkış Gücünde Bamyı Numunesinin Ağırlığının Kuruma Üzerindeki Etkisi

8.2.1 Bamyı numunesinin ağırlığının kuruma kinetiğı üzerindeki etkisi

8.2.1.1 Nem içeriğı değışimi

Bamyı numunelerinin ortalama toplam nem içeriğı $M_0=3.72$ g su. g kuru madde⁻¹ olarak hesaplanmıştır. Kurutulan numune ağırlığının nem içeriğı değışimi üzerindeki etkisini incelemek için; 25, 50, 75 ve 100 g ağırlığındaki bamyı numuneleri 360 W sabit mikrodalga çıkış gücünde kurutularak nem içeriğı değıerleri hesaplanmıştır. Elde edilen değıerler Ek 4, Çizelge 4.1-4.5'te sırası ile verilmiş ve şekil 8.14'te grafiksel olarak sunulmuştur.

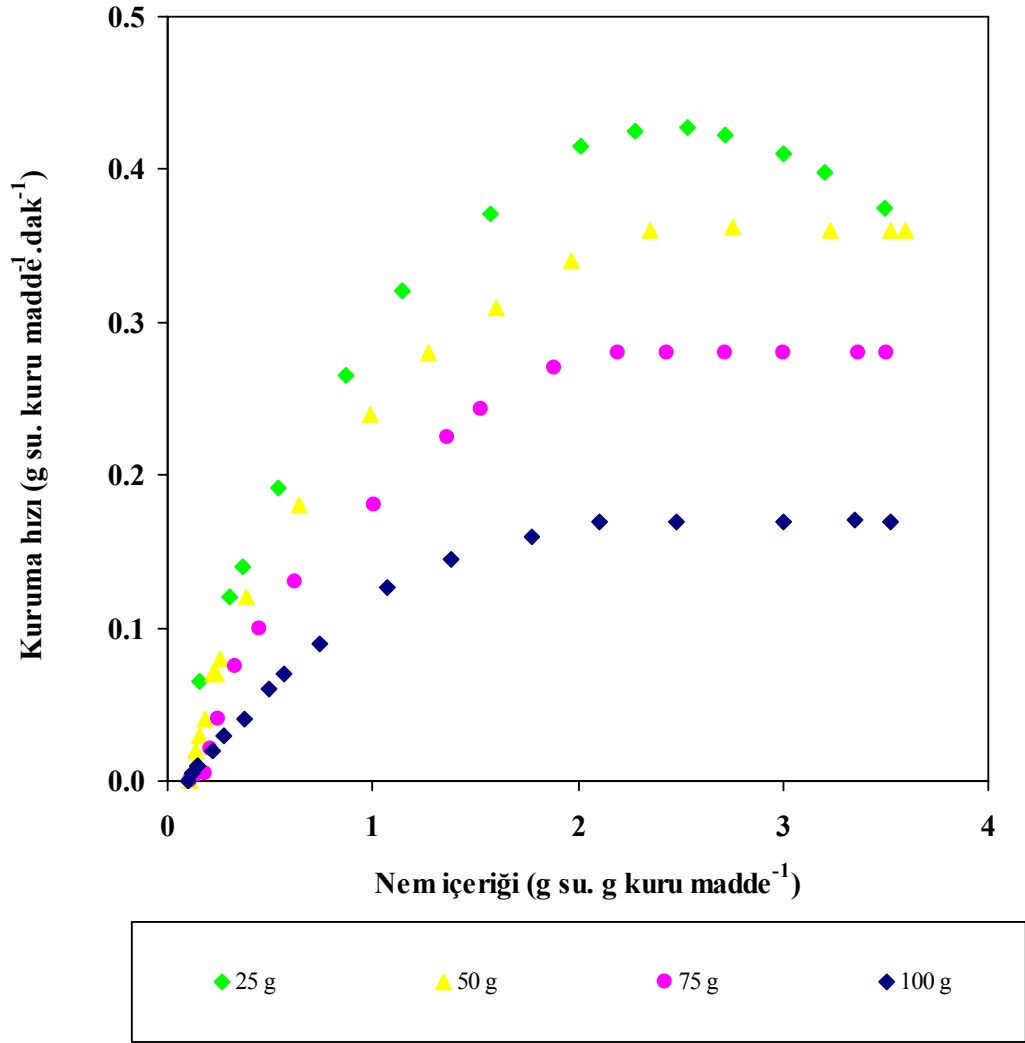


şekil 8.14 Farklı numune ağırlıklarında kurutulan bamyı numunesinin nem içeriğinin kuruma zamanı ile değışimi (Mikrodalga çıkış gücü= 360 W)

Yapılan çalışmalar sonucunda, kurutulan bamya numunesinin ağırlığı arttırıldığında kuruma sürelerinin arttığı gözlemlenmiştir. Şekil 8.14 incelendiğinde; 100 g numune kurutulduğunda nem içeriği değerlerinin 3.72'den 0.1 g su. g kuru madde⁻¹ değerine düşmesi 37 dakika sürerken, 25 g numunenin kurutulması 10 dakikada tamamlanmıştır. 100 g numune ağırlığı yerine 25 g numune ağırlığı kullanıldığında kuruma süresini %72.97 azaldığı belirlenmiştir.

8.2.1.2 Kuruma hızı değişimi

Numune ağırlığının kuruma hızı üzerindeki etkisini incelemek için; 25, 50, 75 ve 100 g ağırlığındaki bamya numuneleri 360 W sabit mikrodalga çıkış gücünde kurutulmuştur. Kurutulan bamya numunelerine ait kuruma hız değerleri Şekil 8.15'te grafiksel olarak sunulmuştur. Şekil 8.15 incelendiğinde, bamya numunesinin kurutulması sırasında kısa bir ısınma süresinin ardından sabit hızda kuruma periyodu ve azalan hızda kuruma periyodu olmak üzere 2 farklı kuruma periyodu gözlemlenmiştir. Bamya numunelerinin sabit hızda kuruma periyodunda ortalama kuruma hızları, numune ağırlığı 100 gramdan 25 grama düşürüldüğünde, 0.17 değerinden 0.42 g su. g kuru madde⁻¹.dak⁻¹ değerine yükseldiği gözlemlenmiştir. Sabit hızda kuruma periyodunda; nem içeriği değerleri; 75 ve 100 g numune miktarlarında; 3.50 g su. g kuru madde⁻¹ değerinden 2.0 g su. g kuru madde⁻¹ değerine, 50 g numune miktarında; 3.0 g su. g kuru madde⁻¹ değerinden 2.0 g su. g kuru madde⁻¹ değerine, 25 g numune miktarında ise; 2.5 g su. g kuru madde⁻¹ değerinden 2.0 g su. g kuru madde⁻¹ değerine düştüğü görülmüştür. Sabit hızda kuruma periyodunu azalan hızda kuruma periyodu takip etmiştir. Bu periyot süresince nem içeriği değerleri ortalama 2.0 değerinde 0.1 g su. g kuru madde⁻¹ değerine düşmüştür.



Şekil 8.15 Farklı numune ağırlıklarında kurutulan bamyaya numunesine ait kuruma hızlarının nem içeriği ile değişimi (Mikrodalga çıkış gücü= 360 W)

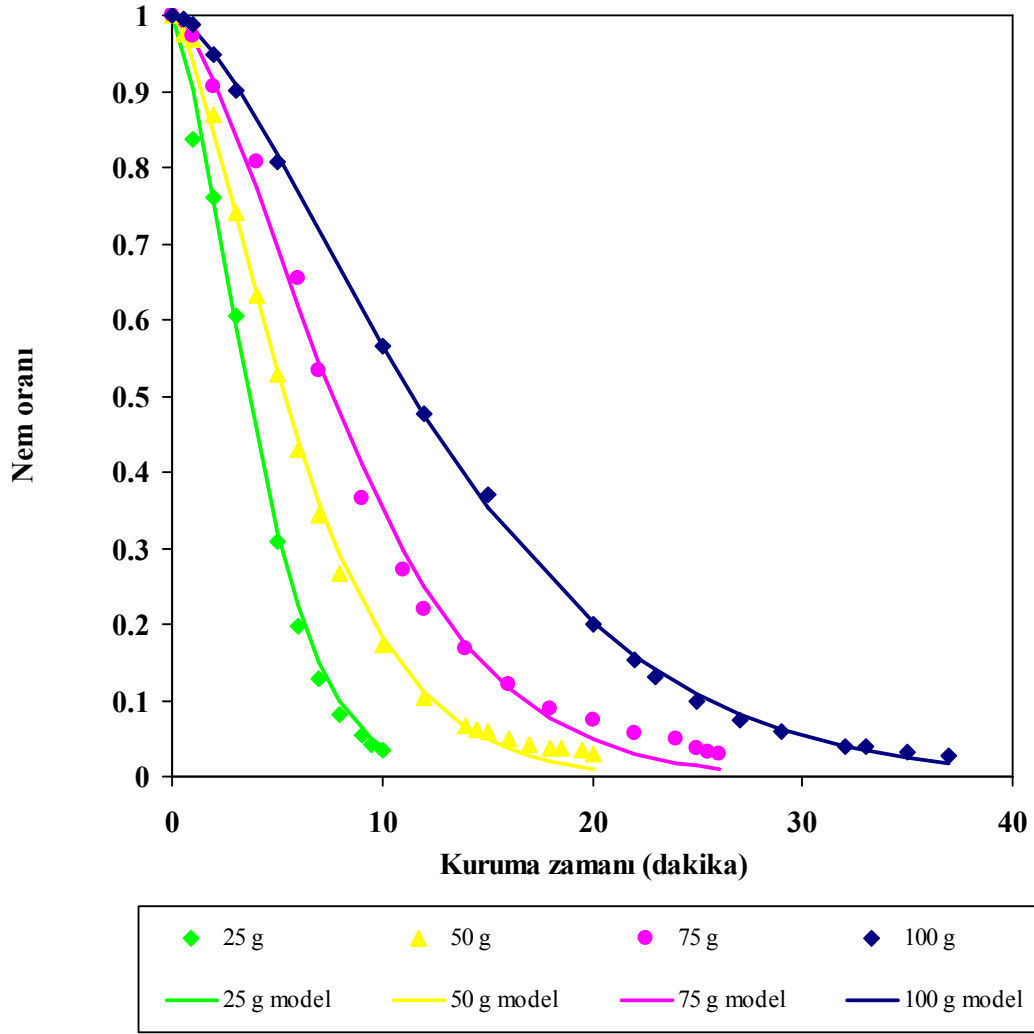
8.2.1.3 Kuruma kinetiğine ait model çalışmaları

Mikrodalga tekniği kullanılarak dört farklı ağırlıkta kurutulan, 25, 50, 75 ve 100 g, bamyaya 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 istatistik veriler Çizelge 8.13'te sunulmuştur. Elde edilen verilerden; yüksek R^2 ve düşük standart sapma (δ) değerleri ile Page modelin bamyaya numunesinin kuruma kinetiğini açıklayan en iyi model olduğu belirlenmiştir.

Çizelge 8.13 Farklı numune ağırlıklarında kurutulan bamyaya numunesinin kuruma hızlarının belirlenmesi sırasında kurulan matematiksel modeller ve istatistik veriler

Modeller	Numune (g)	R²	δ
Page Model	25	0.9980	0.0241
	50	0.9991	0.0152
	75	0.9966	0.0301
	100	0.9998	0.0072
Henderson ve Pabis Model	25	0.9827	0.0707
	50	0.9921	0.0460
	75	0.9794	0.0794
	100	0.9910	0.0530
Lewis Model	25	0.9785	0.0748
	50	0.9864	0.0599
	75	0.9691	0.0928
	100	0.9869	0.0638
Logaritmik Model	25	0.9941	0.0439
	50	0.9948	0.0390
	75	0.9958	0.0375
	100	0.9967	0.0337

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 8.16'da, matematiksel model sabitleri ve istatistik veriler Çizelge 8.14'te verilmiştir. Çizelge 8.14 incelendiğinde; Page modele ait kinetik sabitin (k) değerinin kurutulan numune miktarı arttıkça 0.1033 dak⁻¹ değerinden 0.0184 dak⁻¹ değerine azaldığı gözlemlenmiştir. Bu durum kurutulan düşük numune ağırlıklarında gıdanın içinde yüksek sıcaklıkların oluşmasından dolayı kurumanın daha kısa sürede gerçekleştiğini göstermektedir. Diğer yandan, Page modele ait diğer bir katsayı olan n 1.43-1.53 değerleri arasında değişmiştir. Her bir kurutulan numune ağırlığında elde edilen Page modele ait bir katsayı olan n değerleri birbirine oldukça yakın elde edildiğinden, bu değerlerin ortalaması alınarak n değeri 1.49 olarak bulunmuştur. Bölüm 8.1.1.3'te elde edilen ortalama n değeri ile (1.47), bu bölümde elde edilen ortalama n değeri (1.49) karşılaştırıldığında; bu iki değerlerin hemen hemen aynı olduğu görülmüştür. Bu yüzden iki değerlerin de ortalaması alınmıştır. Bundan sonraki çalışmalarda da bamyaya numunesi için Page modele ait n değeri 1.48 olarak kullanılmıştır.



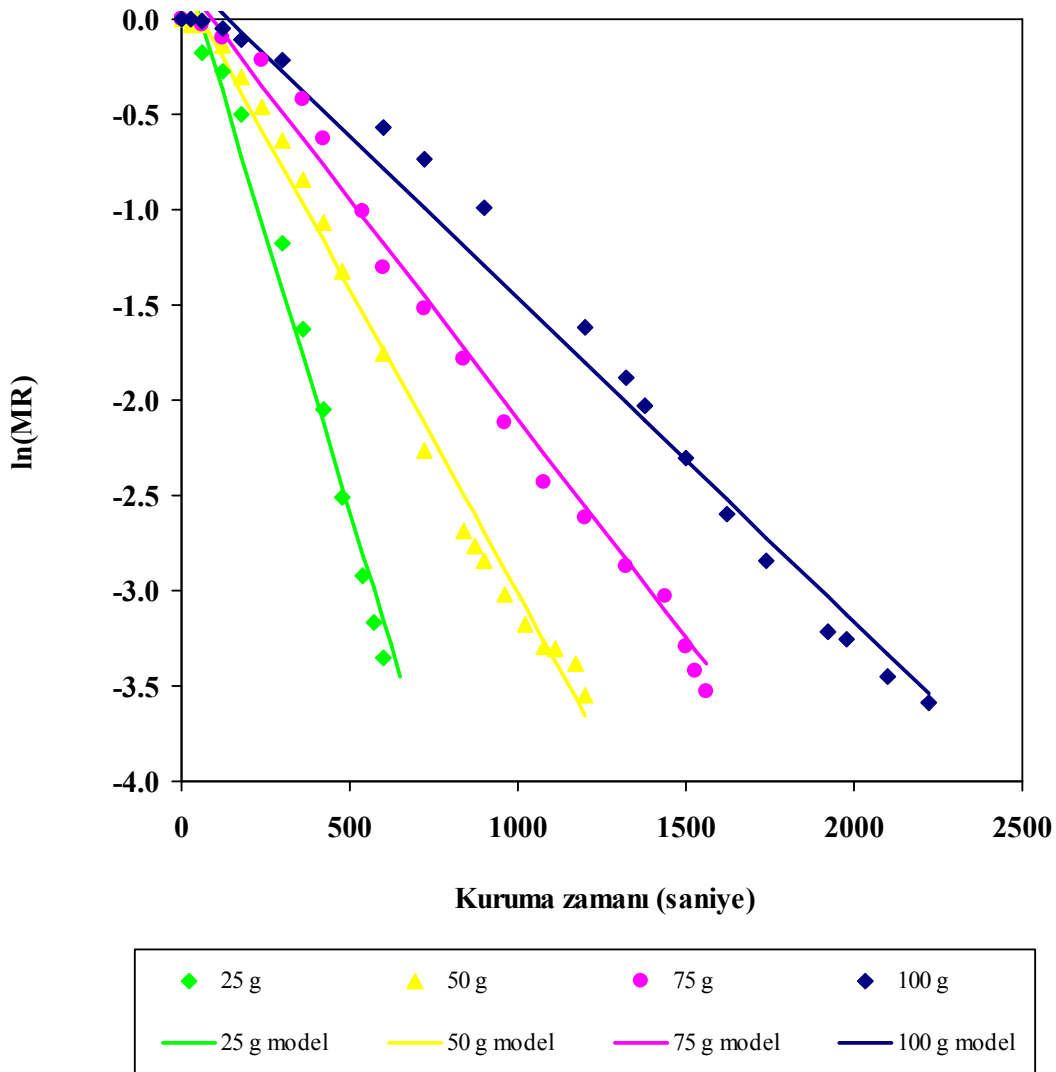
Şekil 8.16 Farklı numune ağırlıklarında kurutulan bamya numunesine ait nem oranı değerlerinin kuruma zamanı ile değişimi (Mikrodalga çıkış gücü= 360 W)

Çizelge 8.14 Farklı numune ağırlıklarında kurutulan bamya numunesine ait kuruma zamanlarına karşılık elde edilen deneysel verilere uyan Page model sabitleri ve istatistik veriler (Mikrodalga çıkış gücü= 360 W)

Numune (g)	k (dak ⁻¹)	n (birimsiz)	R ²	δ
25	0.1033	1.51	0.9980	0.0241
50	0.0630	1.43	0.9991	0.0152
75	0.0331	1.53	0.9966	0.0301
100	0.0184	1.49	0.9998	0.0072

8.2.1.4 Etkin difüzyon katsayılarının hesaplanması

Etkin difüzyon katsayısı, küre kabulü yapılan bamyaya numunelerinin dört farklı, 25, 50, 75 ve 100 g, numune ağırlığında kurutulmaları sırasında meydana gelen kütle transferinin en büyük ölçütüdür ve Denklem 7.6'da verilen lineer denklemin eğimi yardımıyla hesaplanmıştır. Hesaplanan değerler ile kullanılan teorik değerlerin karşılaştırılmasını içeren grafiksel gösterim Şekil 8.17'de, matematiksel model sabitleri ve istatistik veriler Çizelge 8.15'te verilmiştir. Çizelge 8.15'te görüldüğü gibi numune ağırlığı arttırıldıkça etkin difüzyon katsayısı değerleri azalmaktadır. Bunun sebebi; daha düşük numune ağırlıklarında gıdanın içerisinde meydana gelen sıcaklıkların artması ile kütle transferinin de artış göstermesi olarak gösterilebilir.



Şekil 8.17 Farklı numune ağırlıklarında kurutulmuş bamyaya numunesine ait $\ln(MR)$ değerlerinin kuruma zamanı ile değişimi (Mikrodalga çıkış gücü= 360 W)

Çizelge 8.15 Farklı numune ağırlıklarında kurutulan bamya numunesine ait hesaplanan etkin difüzyon katsayısının değişimi ve istatistik veriler (Mikrodalga çıkış gücü= 360 W)

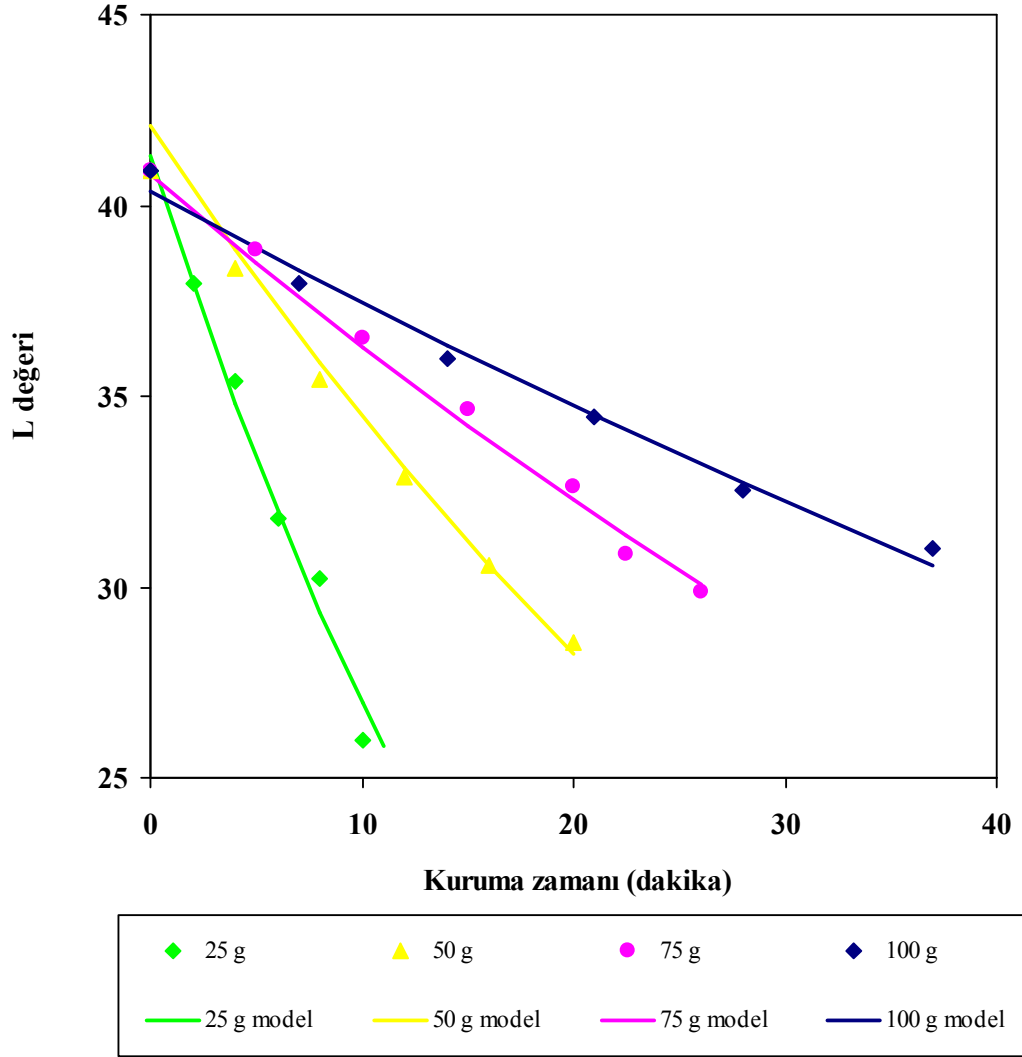
Numune (g)	Eğim* 10 ³	D _{eff} *10 ¹⁰ (m ² .s ⁻¹)	R ²	δ
25	2.090	119.11	0.9991	0.1962
50	1.152	65.65	0.9927	0.1242
75	0.829	47.22	0.9963	0.1115
100	0.612	34.87	0.9868	0.1952

8.2.2 Bamya numunesinin ağırlığının renk değişimi üzerindeki etkisi

Mikrodalga ile kurutma tekniği kullanılarak bamya numunesinin zamana bağlı olarak renk değişimleri renk ölçüm cihazı ile belirlenmiştir. Elde edilen L, a, b ve toplam renk değişimi (ΔE) değerlerine ait deneysel değerler Ek 5, Çizelge 5.1-5.5'te sırası ile sunulmuştur. Yapılan modelleme çalışmaları sonucunda; elde edilen L, b, Kroma (CV) ve Kahverengileşme İndeksi (BI) değerlerinin birinci dereceden kinetik modele (Denklem 7.19), diğer yandan a, toplam renk değişimi (ΔE) ve Renk Açısı (HA) değerlerinin ise sıfırıncı dereceden kinetik modele (Denklem 7.18) uygunluk gösterdiği görülmüştür. 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 8.18-24'te, matematiksel model sabitleri ve istatistik veriler Çizelge 8.16-22'de sırasıyla verilmiştir.

▪ L değeri değişimi

Kurumanın gerçekleştiği her bir numune ağırlığında L değerinin kuruma zamanı ile değişimi Şekil 8.18'de, matematiksel model sabitleri ve istatistik veriler de Çizelge 8.16'da verilmiştir. Şekil 8.18'de verildiği üzere, L kuruma zamanı boyunca düşmüştür. Bu değişim gıdanın renginin koyulaşmaya başladığının bir göstergesidir. L değeri numune ağırlığı 25 g iken; 40.93 değerinden 26.02 değerine; numune ağırlığı 100 g iken; 40.93 değerinden 31.02 değeri düşmüştür. Yapılan matematiksel modelleme sonucunda; birinci dereceden kinetik denkleme ait hız sabiti (k); numune ağırlığı 25 g değerinden 100 g değerine arttırıldığında, 0.0470 dak⁻¹ değerinden 0.0075 dak⁻¹ değerine azalma göstermiştir.



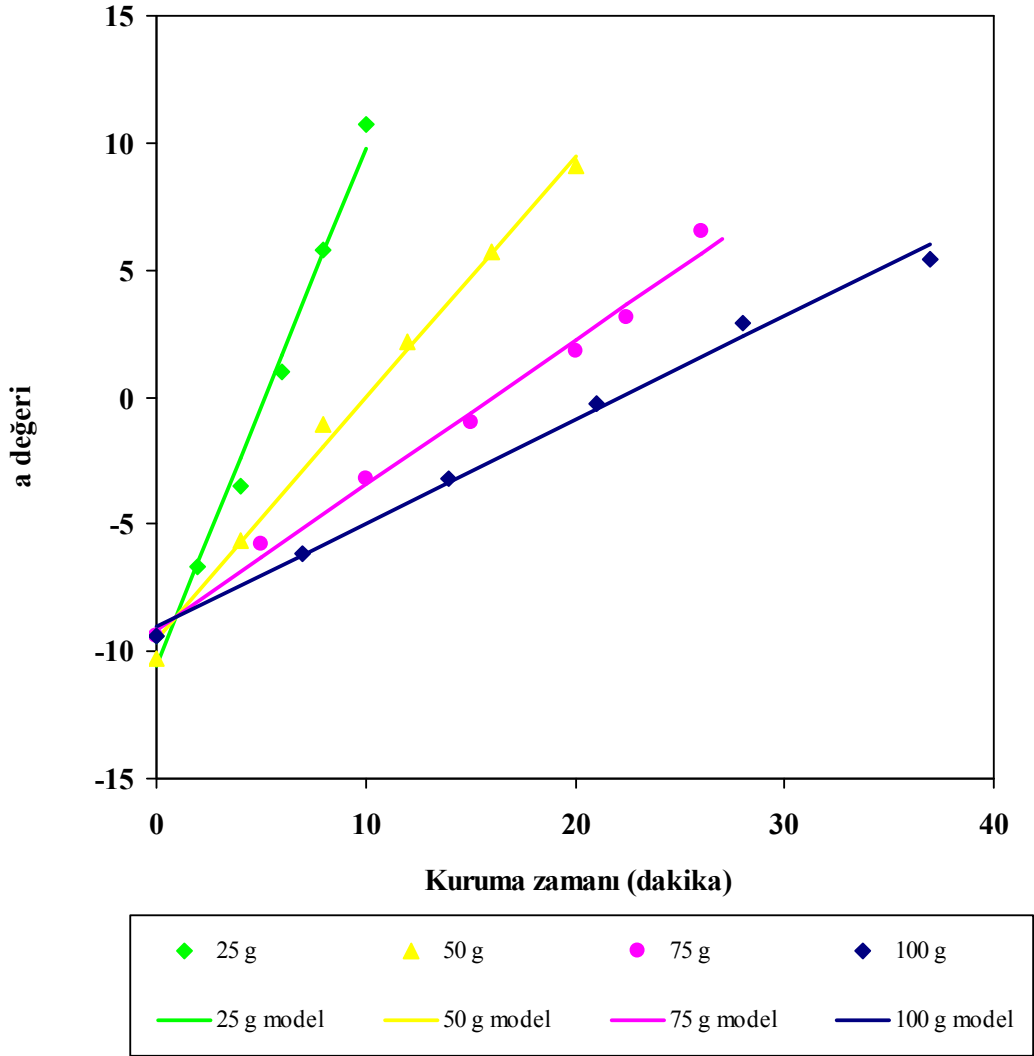
Şekil 8.18 Farklı numune ağırlıklarında kurutulan bamyaya numunesine ait L değerlerinin kuruma zamanı ile değişimi (Mikrodalga çıkış gücü= 360 W)

Çizelge 8.16 Farklı numune ağırlıklarında kurutulan bamyaya numunesine ait L değeri için birinci dereceden kinetik denklem kullanılarak elde edilen model sabitleri ve istatistik veriler (Mikrodalga çıkış gücü= 360 W)

Numune (g)	k (dak ⁻¹)	C ₀ (birimsiz)	R ²	δ
25	0.0470	40.7827	0.9976	0.2603
50	0.0193	41.2295	0.9980	0.3420
75	0.0117	40.7915	0.9943	0.4597
100	0.0075	40.3913	0.9940	0.4412

▪ a değeri değışimi

Kurumanın gerekleştđđi her bir numune ağırlığında a değeri nin kuruma zamanı ile değışimi Şekil 8.19’da, matematiksel model sabitleri ve istatistik veriler de izelge 8.17’de verilmiştir. Şekil 8.19’da gđsterildiđi gibi, a değeri kuruma zamanı boyunca yukselmiştir. Bu değışim gıdanın renginin yeşilden kahverengiye dđnmeye başladığının bir gđstergesidir. a değeri numune ağırlığı 25 g iken; -9.75 değeri nden 10.76 değeri ne; numune ağırlığı 100 g iken; -9.75 değeri nden 5.45 değeri ne yukselmiştir.



Şekil 8.19 Farklı numune ağırlıklarında kurutulan bamya numunesine ait a değeri ninin kuruma zamanı ile değışimi (Mikrodalga ıkış gc= 360 W)

Yapılan matematiksel modelleme sonucunda; sıfıncı dereceden kinetik denkleme ait hız sabiti (k); kurutulan numune ağırlığı 25 g değerinden 100 g değerine arttırıldığında; gıdanın içinde meydana gelen ve yüksek sıcaklıkta oluşan kahverengi pigmentlerin oluşmasının azalması neticesinde (Lopez vd, 1997) 2.0351 dak⁻¹ değerinden 0.4079 dak⁻¹ değerine düşmüştür.

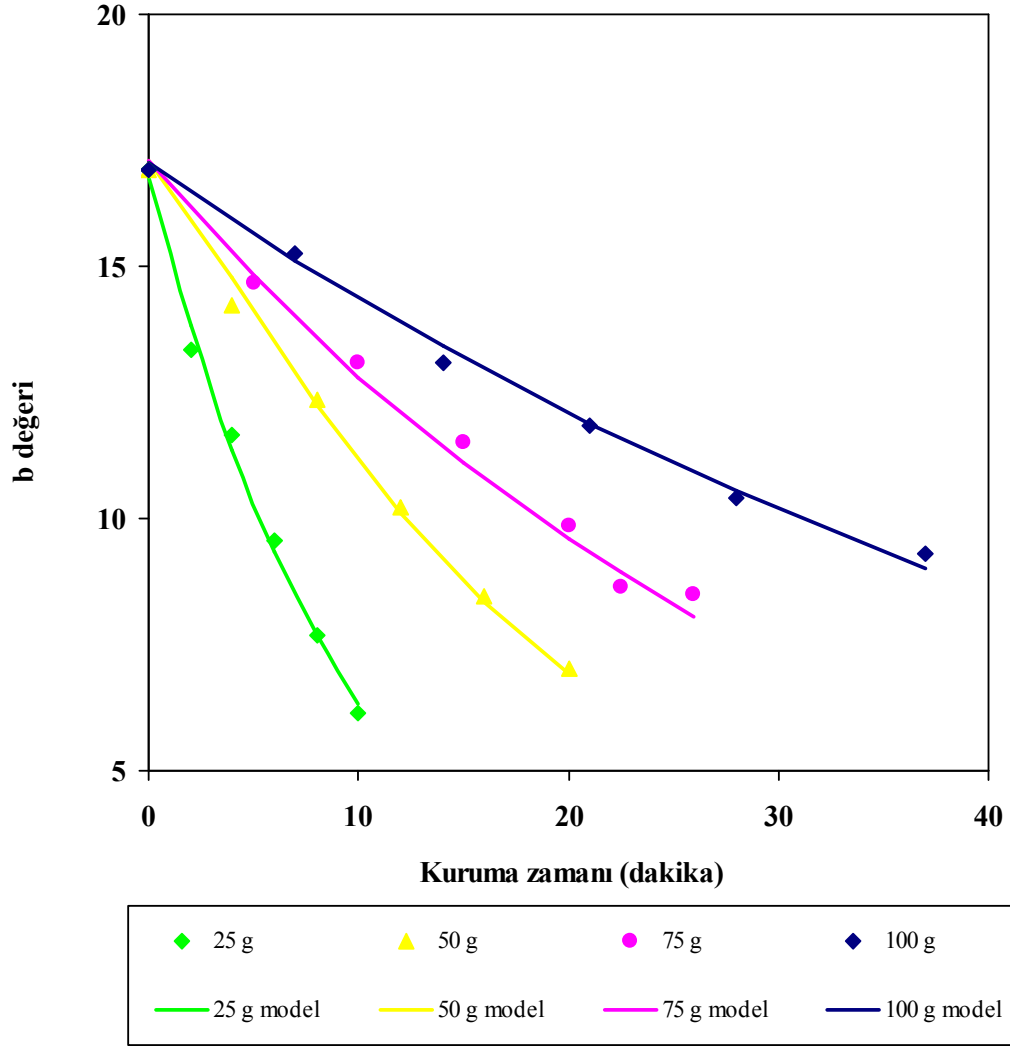
Çizelge 8.17 Farklı numune ağırlıklarında kurutulan bamya numunesine ait a değeri için sıfıncı dereceden kinetik denklem kullanılarak elde edilen model sabitleri ve istatistik veriler (Mikrodalga çıkış gücü= 360 W)

Numune (g)	k (dak ⁻¹)	C ₀ (birimsiz)	R ²	δ
25	2.0351	-10.5057	0.9933	0.9878
50	0.9509	-9.5510	0.9964	0.6685
75	0.5702	-9.1628	0.9947	0.5942
100	0.4079	-9.0607	0.9974	0.4458

▪ b değeri değişimi

Kurumanın gerçekleştiği her bir numune ağırlığında b değerinin kuruma zamanı ile değişimi Şekil 8.20'de, matematiksel model sabitleri ve istatistik veriler de Çizelge 8.18'de verilmiştir. Şekil 8.20 incelendiğinde; b değerinin kuruma zamanı boyunca düştüğü gözlenmiştir. b değeri kurutulan numune ağırlığı 25 g iken; 17.13 değerinden 6.15 değerine; kurutulan numune ağırlığı 100 g iken; 17.13 değerinden 9.50 değerine düşmüştür.

Yapılan matematiksel modelleme sonucunda; birinci dereceden kinetik denkleme ait hız sabiti (k); kurutulan numune ağırlığı 25 g değerinden 100 g değerine arttırıldığında, 0.0975 dak⁻¹ değerinden 0.0172 dak⁻¹ değerine düşme göstermiştir. Bu durum, kurutulan numune miktarı azaltıldığında; gıdanın içinde meydana gelen yüksek sıcaklık neticesinde klorofil ve karoten pigmentlerinin bozunma reaksiyonlarının daha hızlı gerçekleştiğini göstermektedir (Palou, 1999; Weemaes, 1999).



Şekil 8.20 Farklı numune ağırlıklarında kurutulan bamyaya numunesine ait b değerlerinin kuruma zamanı ile değişimi (Mikrodalga çıkış gücü= 360 W)

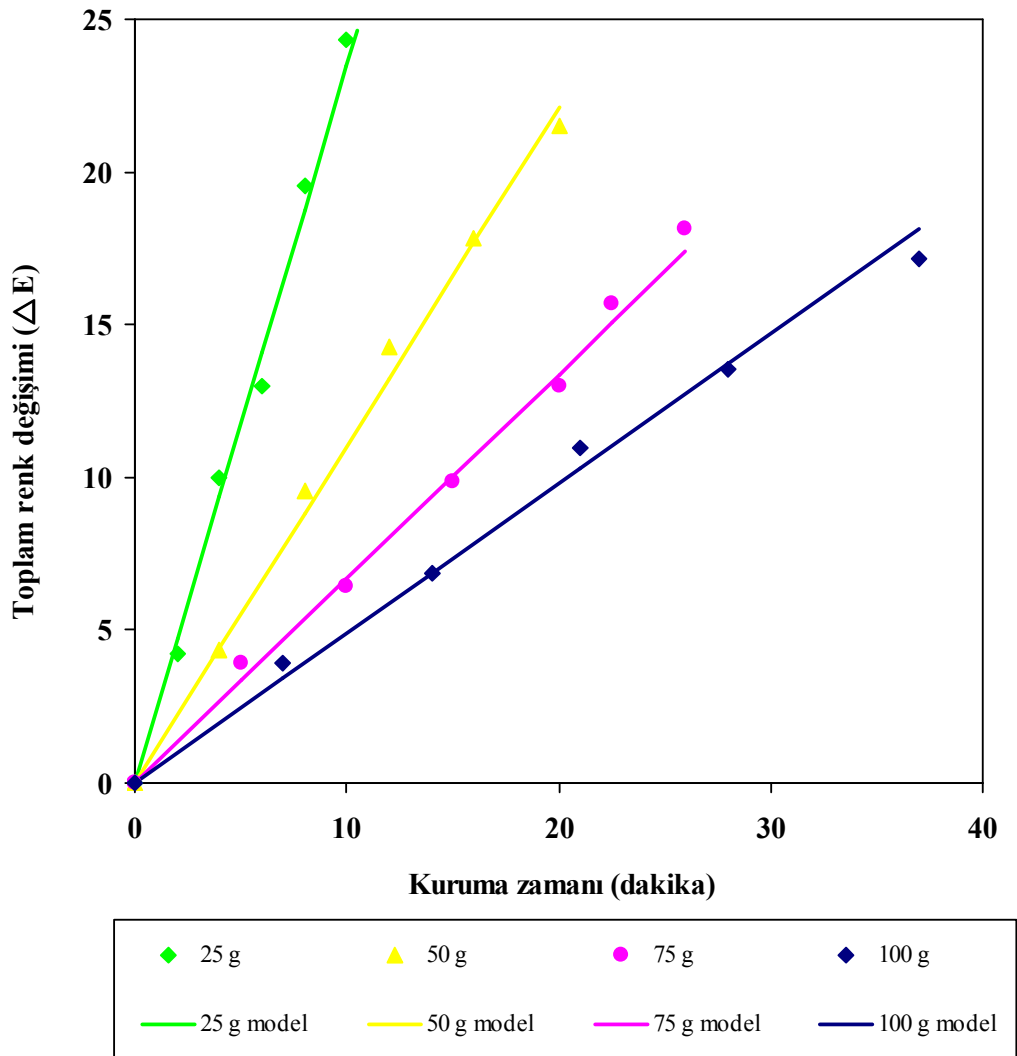
Çizelge 8.18 Farklı numune ağırlıklarında kurutulan bamyaya numunesine ait b değeri için birinci dereceden kinetik denklem kullanılarak elde edilen model sabitleri ve istatistik veriler (Mikrodalga çıkış gücü= 360 W)

Numune (g)	k (dak ⁻¹)	C ₀ (birimsiz)	R ²	δ
25	0.0975	16.7782	0.9974	0.3157
50	0.0371	17.8600	0.9961	0.6687
75	0.0251	16.6998	0.9885	0.1993
100	0.0172	17.2938	0.9971	0.2276

▪ Toplam renk değeri (ΔE) değışimi

Toplam renk değışimi (ΔE) Denklem 7.8 kullanılarak elde edilmiştir. Toplam renk değışimi (ΔE) değerinin kuruma zamanı ile değışimi Şekil 8.21’de, matematiksel model sabitleri ve istatistik veriler Çizelge 8.19’da sunulmuştur. Toplam renk değışimi (ΔE) değeri kurutulan numune ağırlığı 25 g iken; 24.32 değeri; kurutulan numune ağırlığı 100 g iken; 17.15 değeri yükselmiştir. Bu sonuçlardan da anlaşılacağı üzere; kurutulan numune ağırlığı azaltıldığında bamya numunelerinin renkleri daha çok değışmektedir.

Yapılan matematiksel modelleme sonucunda; sıfırıncı dereceden kinetik denkleme ait hız sabiti (k); kurutulan numune ağırlığı 25 g değeriinden 100 g değeriine arttırıldığında, 2.3456 dak^{-1} değeriinden 0.4688 dak^{-1} değeriine azalmıştır.



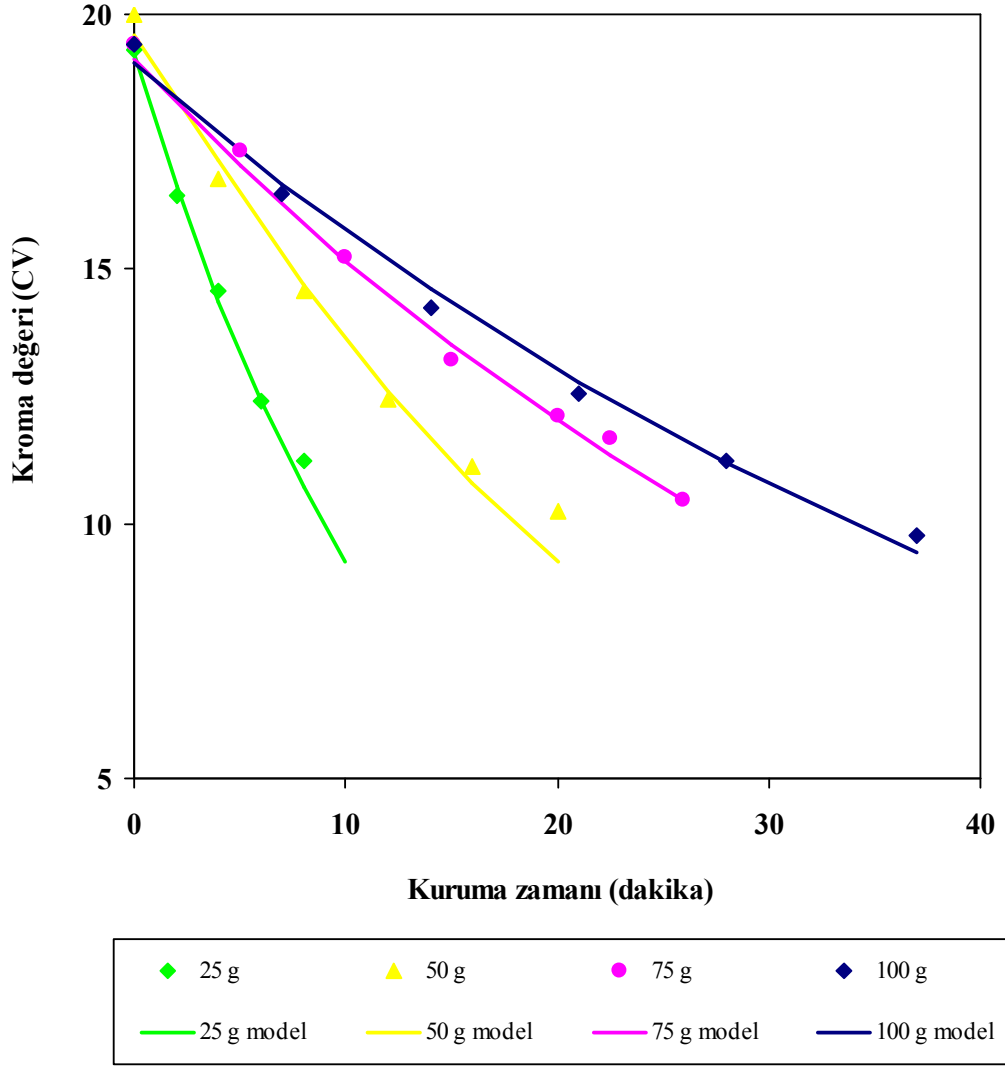
Şekil 8.21 Farklı numune ağırlıklarında kurutulan bamya numunesine ait toplam renk değışimi (ΔE) değeriinin kuruma zamanı ile değışimi (Mikrodalga çıkış gücü= 360 W)

Çizelge 8.19 Farklı numune ağırlıklarında kurutulan bamya numunesine ait toplam renk değişimi (ΔE) değeri için sıfırıncı dereceden kinetik denklem kullanılarak elde edilen model sabitleri ve istatistik veriler (Mikrodalga çıkış gücü= 360 W)

Numune (g)	k (dak ⁻¹)	R ²	δ
25	2.3456	0.9942	0.7424
50	1.1052	0.9868	1.2396
75	0.6686	0.9934	0.7426
100	0.4688	0.9908	0.8229

▪ Kroma (CV) değeri değişimi

Denklem 7.9 kullanılarak elde edilen Kroma (CV) değerlerinin kuruma zamanı ile değişimleri Şekil 8.22’de, matematiksel model sabitleri ve istatistik veriler Çizelge 8.20’de verilmiştir. Şekil 8.22 incelendiğinde; Kroma (CV) değerinin kuruma zamanı boyunca düşme gösterdiği saptanmıştır. Kroma (CV) değeri numune ağırlığı 25 g iken; 19.56 değerinden 9.77 değerine; numune ağırlığı 100 g iken; 19.56 değerinden 10.75 değerine düşmüştür. Yapılan matematiksel modelleme sonucunda; birinci dereceden kinetik denkleme ait hız sabiti (k); numune ağırlığı 25 g değerinden 100 g değerine arttırıldığında, 0.0729 dak⁻¹ değerinden 0.0190 dak⁻¹ değerine azalmıştır.



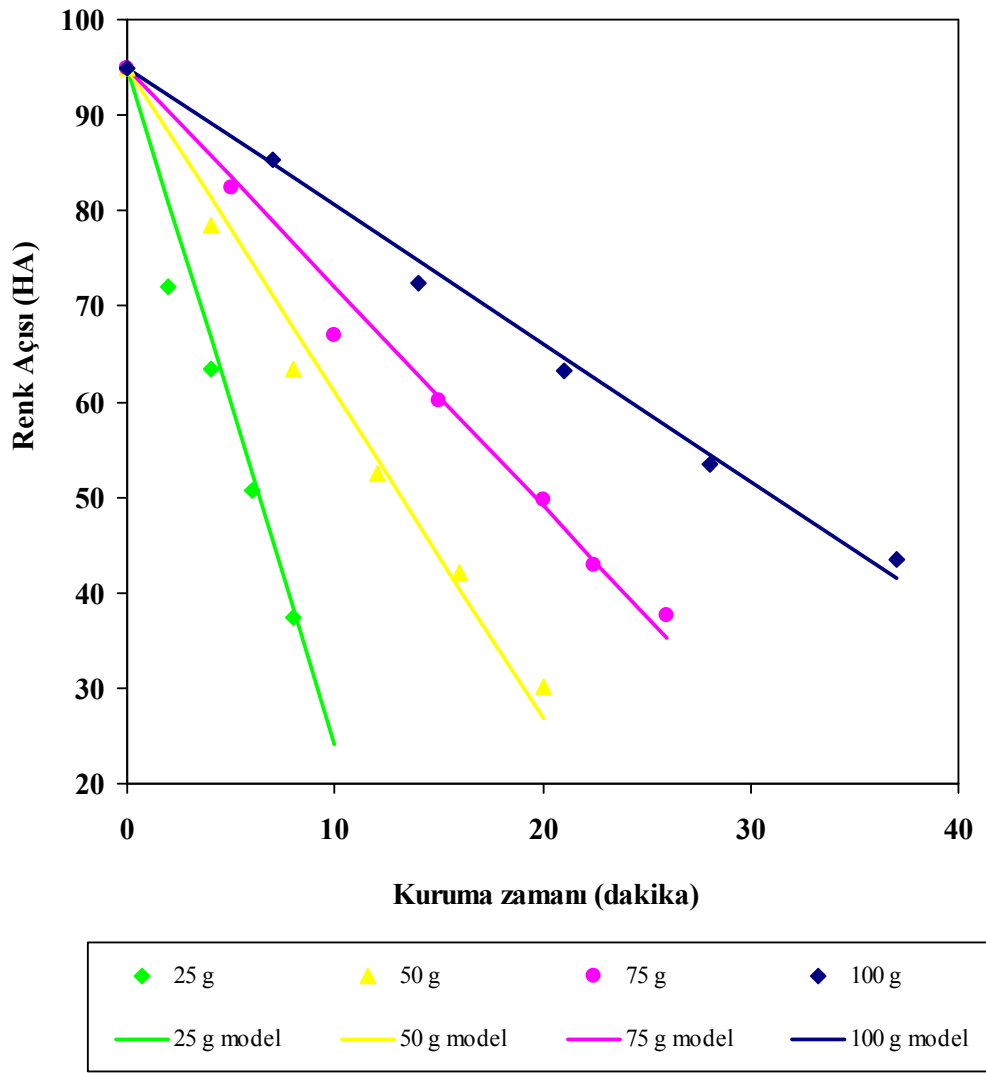
Şekil 8.22 Farklı numune ağırlıklarında kurutulan bamyaya numunesine ait Kroma (CV) değerlerinin kuruma zamanı ile değişimi (Mikrodalga çıkış gücü= 360 W)

Çizelge 8.20 Farklı numune ağırlıklarında kurutulan bamyaya numunesine ait Kroma (CV) değeri için birinci dereceden kinetik denklem kullanılarak elde edilen model sabitleri ve istatistik verileri (Mikrodalga çıkış gücü= 360 W)

Numune (g)	k (dak ⁻¹)	C ₀ (birimsiz)	R ²	δ
25	0.0729	19.2200	0.9958	0.2663
50	0.0386	20.0152	0.9969	0.3803
75	0.0232	19.1234	0.9914	0.2927
100	0.0190	19.0520	0.9962	0.3440

▪ Renk Açısı (HA) değişimi

Denklemler 7.10 kullanılarak elde edilen Renk Açısı (HA) değerleri ve kuruma zamanı ile değişimlerini gösteren grafiksel gösterim Şekil 8.23'te, matematiksel model sabitleri ve istatistik veriler Çizelge 8.21'de verilmiştir. Şekil 8.23 incelendiğinde; Renk Açısı (HA) değerlerinin kuruma zamanı boyunca düştüğü saptanmıştır. Bamyaya numunesinin Renk Açısı (HA) değerleri numune ağırlığı 25 g iken; 94.98 değerinden 20.43 değerine; numune ağırlığı 100 g iken; 94.98 değerinden 43.42 değerine düşmüştür. Bu durum bamyaya numunesinin mikrodalga tekniği ile kurutulması sırasında renginin yeşilden (Renk Açısı > 90°C) kırmızı (Renk Açısı < 90°C) rengine değiştiğinin ifadesidir.



Şekil 8.23 Farklı numune ağırlıklarında kurutulan bamyaya numunesine ait Renk Açısı (HA) değerlerinin kuruma zamanı ile değişimi (Mikrodalga çıkış gücü= 360 W)

Yapılan matematiksel modelleme sonucunda; sıfırıncı dereceden kinetik denkleme ait hız sabiti (k); numune ağırlığı 25 g değerinden 100 g arttırıldığında, 5.7414 dak⁻¹ değerinden 1.1114 dak⁻¹ değerine düşmektedir. Bunun nedeni, uygulanan düşük numune ağırlıklarında gıdanın içerisinde oluşan yüksek sıcaklıklar renk değişimine neden olan bozunma reaksiyonlarını hızlandırmakta ve rengin daha hızlı ve daha fazla değişmesine neden olmaktadır.

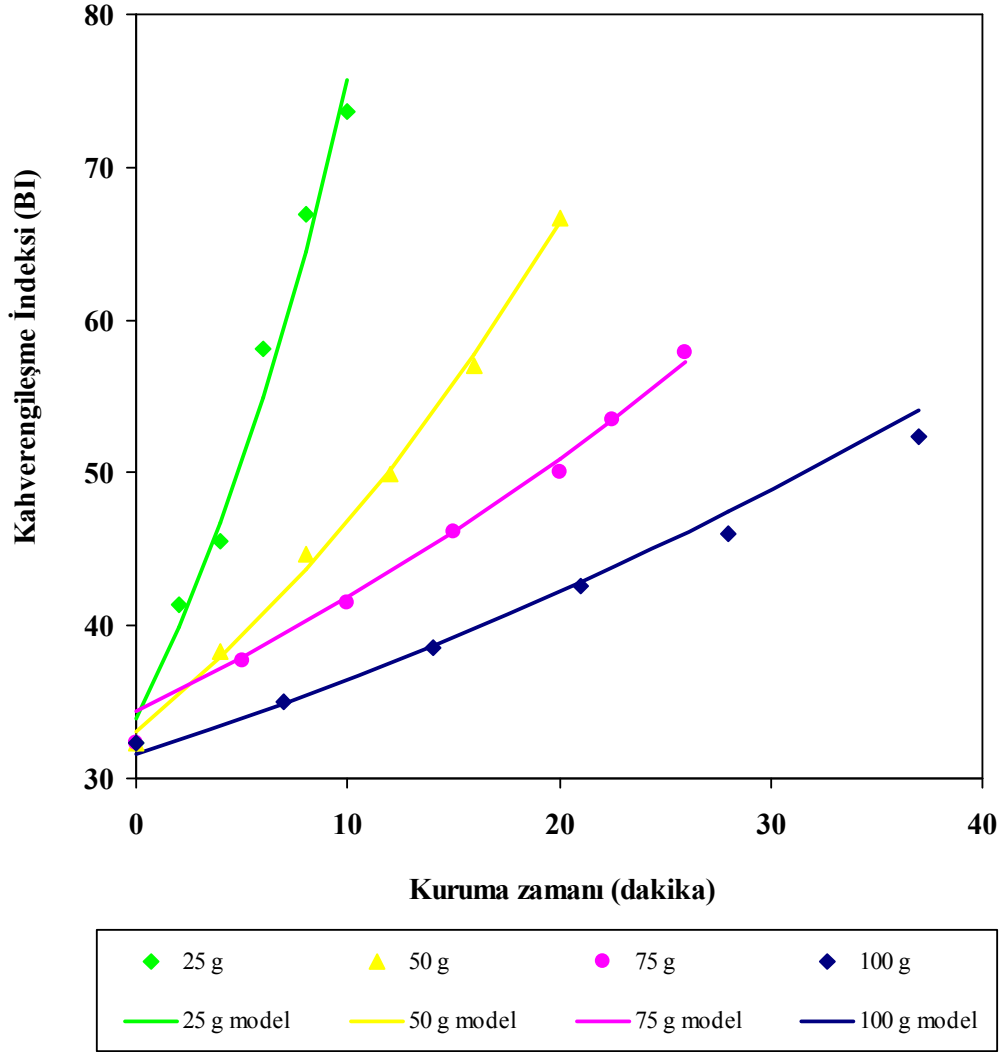
Çizelge 8.21 Farklı numune ağırlıklarında kurutulan bamya numunesine ait Renk Açısı (HA) değeri için sıfırıncı dereceden kinetik denklem kullanılarak elde edilen model sabitleri ve istatistik veriler (Mikrodalga çıkış gücü= 360 W)

Numune (g)	k (dak ⁻¹)	C ₀ (birimsiz)	R ²	δ
25	5.7414	95.6338	0.9986	1.2341
50	2.4744	95.3109	0.9930	2.4501
75	1.7680	94.9112	0.9972	1.3781
100	1.1114	95.7581	0.9862	2.8401

▪ Kahverengileşme İndeksi (BI) değişimi

Denklem 7.11 kullanılarak elde edilen Kahverengileşme İndeksi (BI) değerlerinin kuruma zamanı ile değişimleri Şekil 8.24'te, matematiksel model sabitleri ve istatistik veriler Çizelge 8.22'de verilmiştir. Şekil 8.24'te görüldüğü gibi; Kahverengileşme İndeksi (BI) değerlerinin kuruma zamanı boyunca arttığı gözlemlenmiştir. Kahverengileşme İndeksi (BI) numune ağırlığı 25 g iken; 32.28 değerinden 73.67 değerine; numune ağırlığı 100 g iken; 32.28 değerinden 52.34 değerine artmıştır. Bu sonuç, uygulanan düşük numune ağırlıklarında enzimatik olan ve enzimatik olmayan reaksiyonlar neticesinde gıdanın renginin oluşan kahverengi pigmentler yüzünden daha koyu bir renge sahip olduğunu göstermektedir (Weemaes, 1999).

Yapılan matematiksel modelleme sonucunda; birinci dereceden kinetik denkleme ait hız sabiti (k); numune ağırlığı 25 g değerinden 100 g değerine arttırıldığında, 0.0801 dak⁻¹ değerinden 0.0146 dak⁻¹ değerine azalmıştır.



Şekil 8.24 Farklı numune ağırlıklarında kurutulan bamyaya numunesine ait Kahverengileşme İndeksi (BI) değerlerinin kuruma zamanı ile değişimi (Mikrodalga çıkış gücü= 360 W)

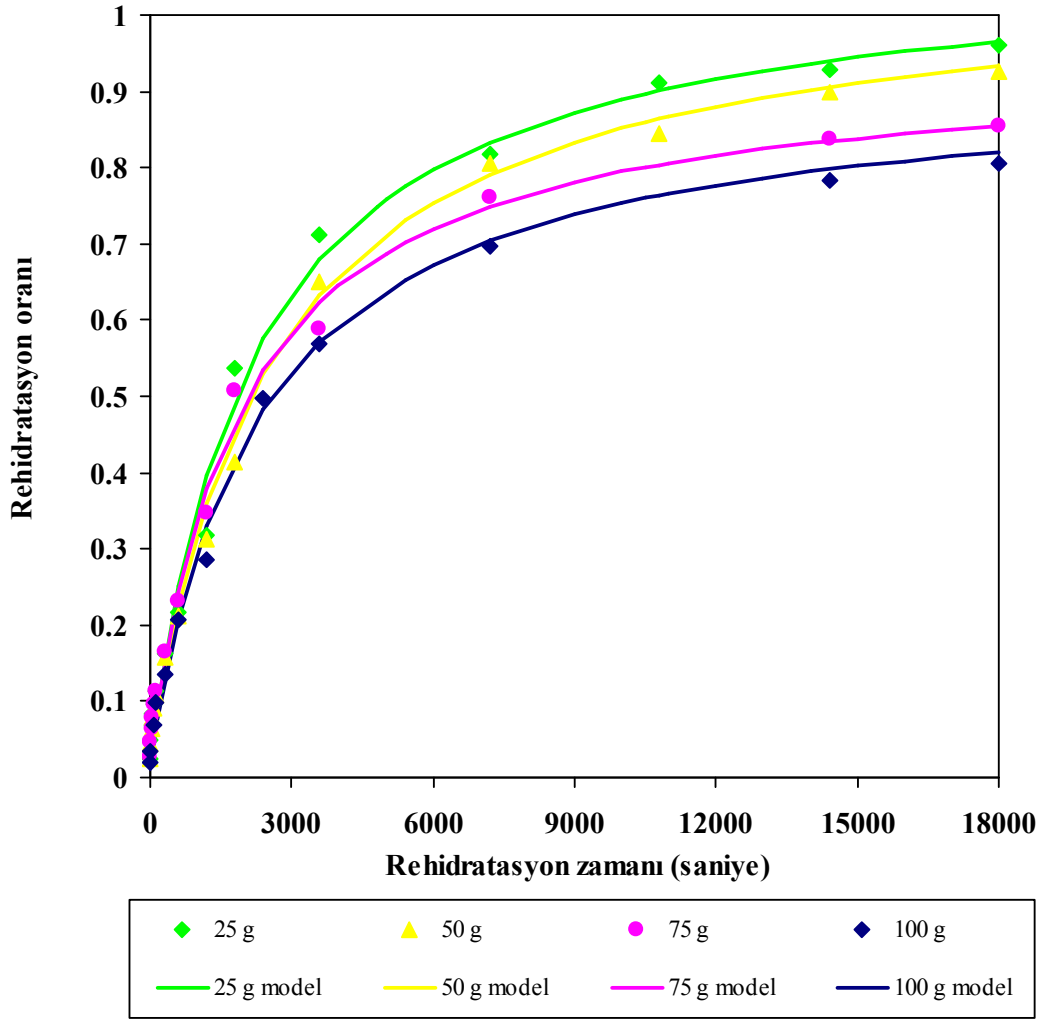
Çizelge 8.22 Farklı numune ağırlıklarında kurutulan bamyaya numunesine ait Kahverengileşme İndeksi (BI) değeri için birinci dereceden kinetik denklem kullanılarak elde edilen model sabitleri ve istatistik verileri (Mikrodalga çıkış gücü= 360 W)

Numune (g)	k (dak ⁻¹)	C ₀ (birimsiz)	R ²	δ
25	0.0801	33.9624	0.9953	0.7081
50	0.0350	32.4728	0.9950	0.3923
75	0.0195	34.4292	0.9975	0.6470
100	0.0146	32.8932	0.9840	0.6605

8.2.3 Bamya numunesinin ağırlığının rehidratasyon oranı üzerindeki etkisi

Mikrodalga ile kurutma tekniği kullanılarak bamya numunesinin 360 W sabit mikrodalga çıkış gücünde, dört farklı numune ağırlığında, 25, 50, 75 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 çıkarılmıştır. Numunelerin yüzeyinde bulunan su fazlası bir peçete yardımı ile uzaklaştırılarak tartım işlemleri yapılmıştır. Elde edilen tartım değerleri ile rehidratasyon oranı hesaplanmıştır. Elde edilen rehidratasyon oranı değerleri Ek 6, Çizelge 6.1-6.5'te sırası ile sunulmuştur. Yapılan modelleme çalışmaları sonucunda rehidratasyon oranı değerlerinin Peleg modele (Denklem 7.20) uygunluk gösterdiği saptanmıştır. Rehidratasyon oranlarının rehidratasyon zamanı ile değişimi için elde edilen deneysel değerler ile kullanılan teorik değerlerin karşılaştırılmasını içeren grafiksel gösterim Şekil 8.25'te, matematiksel model sabitleri ve istatistik veriler Çizelge 8.23'te verilmiştir.

Şekil 8.25 incelendiğinde; kurutulan numune miktarı arttırıldıkça geri absorplanan su miktarı azalmaktadır. Kurutma işlemi sonunda elde edilen kuru ürünün kurutulmadan evvel içermiş olduğu suyun ancak %96'sını geri absorplayabildiği saptanmıştır. Bu durum kurutulan numunelerin kurutma ve rehidratasyon aşamasında yapılarında bazı değişikliklerin ya da doku farklılıklarının oluştuğunun bir göstergesidir (Krokida ve Philippopoulos, 2005).



Şekil 8.25 Farklı numune ağırlıklarında kurutulmuş bamya numunesine ait rehidratasyon oranı değerlerinin rehidratasyon zamanı ile değişimi (Mikrodalga çıkış gücü= 360 W, rehidratasyon sıcaklığı= 30°C)

Çizelge 8.23 Farklı numune ağırlıklarında kurutulmuş bamya numunesine ait rehidratasyon oranı değeri için Peleg model kullanılarak elde edilen model sabitleri ve istatistik veriler (Mikrodalga çıkış gücü= 360 W, rehidratasyon sıcaklığı= 30°C)

Numune (g)	k_1^*	k_2^{**}	R^2	δ
25	2081.6621	0.9481	0.9949	0.0384
50	2127.5432	0.9659	0.9952	0.0358
75	2209.6245	1.0927	0.9967	0.0456
100	2531.5804	1.2146	0.9967	0.0231

* s.g kuru madde. g su⁻¹; ** g kuru madde. g su⁻¹

8.2.4 Bamya numunesinin ağırlığının Vitamin C kayıpları üzerindeki etkisi

Mikrodalga ile kurutma tekniği kullanılarak bamya numunesinin dört farklı numune ağırlığında, 25, 50, 75 ve 100 g, 360 W sabit mikrodalga çıkış gücünde belirli bir nem içeriğine kadar kurutulması sonucunda elde edilen kurutulmuş ürünler, bir gün süre ile desikatörde bekletilip soğutulduktan sonra, AOAC, (1990) tarafından belirlenen titrimetrik yöntem ile mg Vitamin C/100 g numune cinsinden hesaplanmıştır. Elde edilen değerler Çizelge 8.24'te sunulmuştur.

Çizelge 8.24'de görüldüğü gibi Vitamin C değerindeki düşüş numune ağırlığı azaldıkça artmıştır. Bunun nedeni; bamya numunesinin kurutma süresince maruz kaldığı yüksek sıcaklıklar neticesinde Vitamin C'nin bozunması olarak gösterilebilir. Aynı zamanda kurutma işlemi boyunca gıdanın hava ile teması sonucu Vitamin C oksitlenerek başka maddelere dönüşmektedir (Khraisheh vd., 2004; Goula ve Adamopoulos, 2006). Bu durum gıdanın minimum numune ağırlığı olan 25 g değerinde %43.37 değerinde Vitamin C kaybına neden olmaktadır.

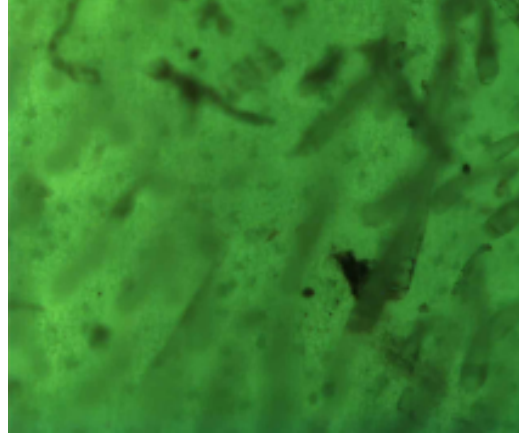
Çizelge 8.24 Farklı numune ağırlıklarında kurutulan bamya numunesine ait Vitamin C değerlerinin değişimi (Mikrodalga çıkış gücü= 360 W)

Numune (g)	mg Vitamin C/100 g	% Kayıp*
25	14.27	43.37
50	17.14	31.98
75	18.17	27.89
100	20.18	19.92

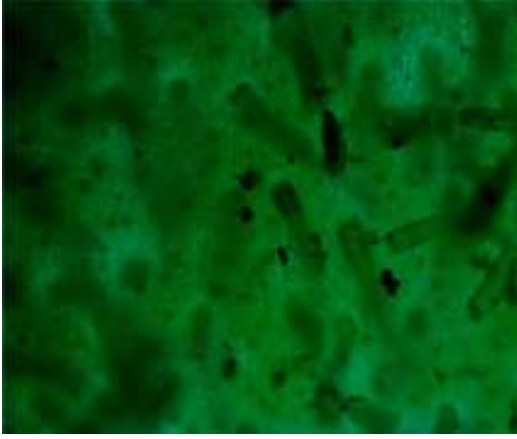
*100 g bamyadaki Vitamin C miktarı 25.20 mg'dır.

8.2.5 Bamya numunesinin ağırlığının doku değişimleri üzerindeki etkisi

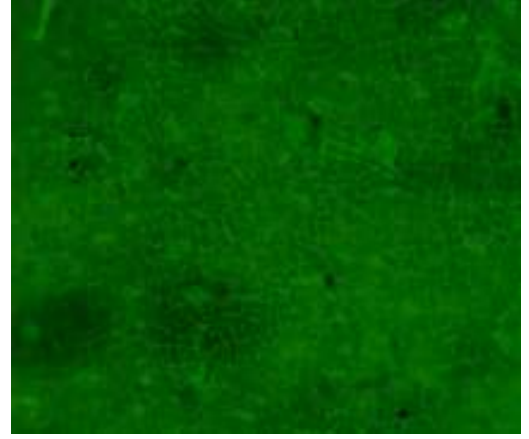
Mikrodalga ile kurutma tekniğinin bamya numunesinin dört farklı numune ağırlığında, 25, 50, 75 ve 100 g, 360 W sabit mikrodalga çıkış gücünde belirli bir nem içeriğine kadar kurutulması sonucunda elde edilen kurutulmuş ürünler, bir gün süre ile desikatörde bekletilip soğutulduktan sonra, Leica Trioküler Floresans ve Yansıma-Kontrast Mikroskobu ile 480 nm frekans boyunda ve 100 V ışık gücünde incelenerek doku değişimleri gözlemlenmiştir (Şekil 8.26). Bölüm 8.1.5'te de belirtildiği gibi bu analizlerde de suyun transferini sağlayan gözenekler gözlemlenememiştir.



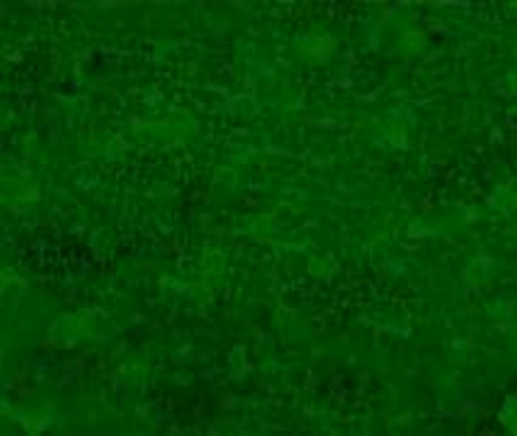
(a)



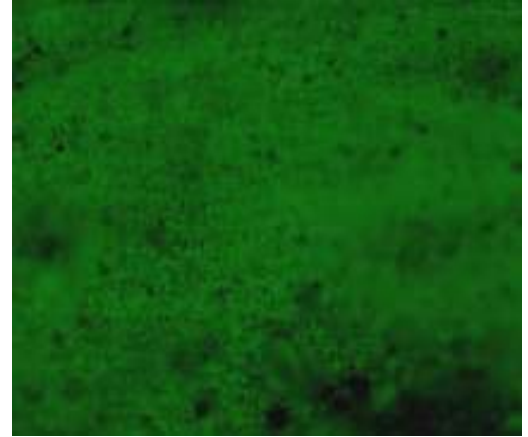
(b)



(c)



(d)



(e)

Şekil 8.26 Farklı numune ağırlıklarında kurutulan bamyaya numunesinin Trioküler Floresans ve Yansıma-Kontrast Mikroskobu ile elde edilen görüntüleri (a) taze bamyaya, (b) 25 g, (c) 50 g, (d) 75 g, (e) 100 g (100 büyütme, 480 nm frekans boyu ve 100 V ışık gücü)

8.3 Bamya Numunesine Ait Aktivasyon Enerjilerinin Hesaplanması

8.3.1 Kuruma kinetiğine ait aktivasyon enerjisinin hesaplanması

Kuruma kinetiğine ait aktivasyon enerjisinin hesaplanması için Arrhenius denklemi temel alınarak türetilen eksponansiyel denklem (Denklem 7.21) kullanılmıştır (Dadali vd., 2007b). $\ln(k)$ değerlerine karşılık m/P değerlerinin çizilmesi ile elde edilen eksponansiyel eğrinin eğiminden aktivasyon enerjisi değeri $5.54 \text{ (W.g}^{-1}\text{)}$, pre-eksponansiyel sabit ise 0.1224 dak^{-1} olarak bulunmuştur ($R^2= 0.9774$, standart sapma (δ)= 0.2221). Bu çalışmanın yararı ise, elde edilen aktivasyon enerjisi değeri kullanılarak herhangi bir mikrodalga çıkış gücü ve numune ağırlığı için kuruma kinetiği sabiti olan k değeri hesaplanabilir. Page modelinde bu değer ve n değeri (1.48) yerine konularak herhangi bir t anı için nem oranı değerleri hesaplanabilir.

8.3.2 Renk değişimi kinetiğine ait aktivasyon enerjisinin hesaplanması

Renk değişimi kinetiğine ait aktivasyon enerjisinin hesaplanması için Arrhenius denklemi temel alınarak türetilen eksponansiyel bir denklem (Denklem 7.21) kullanılmıştır (Dadali vd., 2007c). 7 farklı renk indisi için kullanılan sıfıncı ve birinci dereceden kinetik denklemlerin kinetik sabitleri olan k (dak^{-1}) kullanılarak, $\ln(k)$ değerlerine karşılık m/P değerlerinin çizilmesi ile elde edilen eksponansiyel eğrinin eğiminden aktivasyon enerji değerleri bulunmuştur (Çizelge 8.25). Çizelge 8.25'te görüldüğü gibi; Arrhenius denklemi temel 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 $7.45\text{-}11.59 \text{ W.g}^{-1}$ değerleri arasında değiştiği gözlemlenmiştir.

Çizelge 8.25 Bamya numunesinin her bir renk indisi değişimi için hesaplanan aktivasyon enerjisi değerleri

Renk İndisi	k_0 (dak^{-1})	E_a (W.g^{-1})	R^2	δ
L	0.0867	9.52	0.9831	0.0028
a	3.5955	8.25	0.9828	0.1714
B	0.2050	11.59	0.9721	0.0077
ΔE	4.3671	8.59	0.9771	0.1824
CV	0.1314	7.45	0.9868	0.0054
HA	10.3745	8.57	0.9754	0.5016
BI	0.1545	9.17	0.9825	0.0145

8.3.3 Rehidratasyon kinetiğine ait aktivasyon enerjisinin hesaplanması

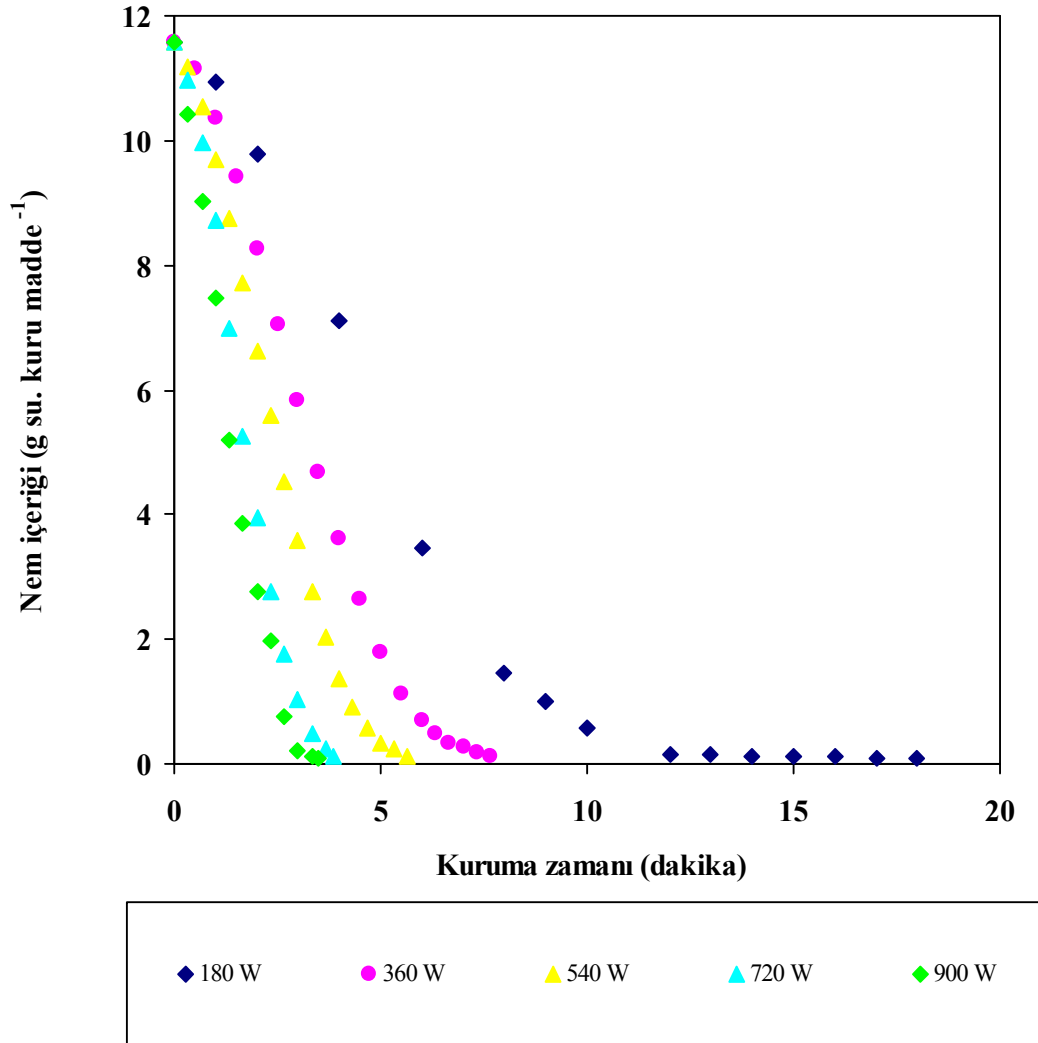
Rehidratasyon kinetiğine ait aktivasyon enerjisinin hesaplanması için Arrhenius denklemi temel alınarak türetilen eksponansiyel denklem (Denklem 7.21) kullanılmıştır (Dadali vd., 2007a). Rehidratasyon oranı değerleri için kullanılan Peleg modelin kinetik sabiti olan k (s. g kuru madde. g su⁻¹) kullanılarak $\ln(k)$ değerlerine karşılık m/P değerlerinin çizilmesi ile elde edilen eksponansiyel eğrinin eğiminden aktivasyon enerjisi değeri 0.63 W.g^{-1} , pre-eksponansiyel sabit ise $1995.45 \text{ s. g kuru madde. g su}^{-1}$ olarak bulunmuştur ($R^2= 0.9876$, standart sapma (δ)= 0.0876). Bu değer düşük olmasının sebebi uygulanan rehidratasyon sıcaklığının düşük olmasıdır (Sanjuan vd., 1999).

8.4 Mikrodalga Çıkış Gücünün Ispanak Numunesinin Kurutulması Üzerindeki Etkisi

8.4.1 Mikrodalga çıkış gücünün ıspanak numunesinin kuruma kinetiği üzerindeki etkisi

8.4.1.1 Nem içeriği değişimi

Bu çalışmada kullanılan ıspanak numunelerinin ortalama toplam nem içeriği $M_0=11.57$ g su. g kuru madde⁻¹ olarak hesaplanmıştır. Mikrodalga çıkış gücünün nem içeriği değişimi üzerindeki etkisini incelemek için; 180, 360, 540, 720 ve 900 W mikrodalga çıkış güçlerinde kurutulan 25 g ıspanak numunesinin nem içeriği değişimi Ek 7, Çizelge 7.1-7.5'te sırası ile verilmiş ve Şekil 8.27'de grafiksel olarak sunulmuştur.

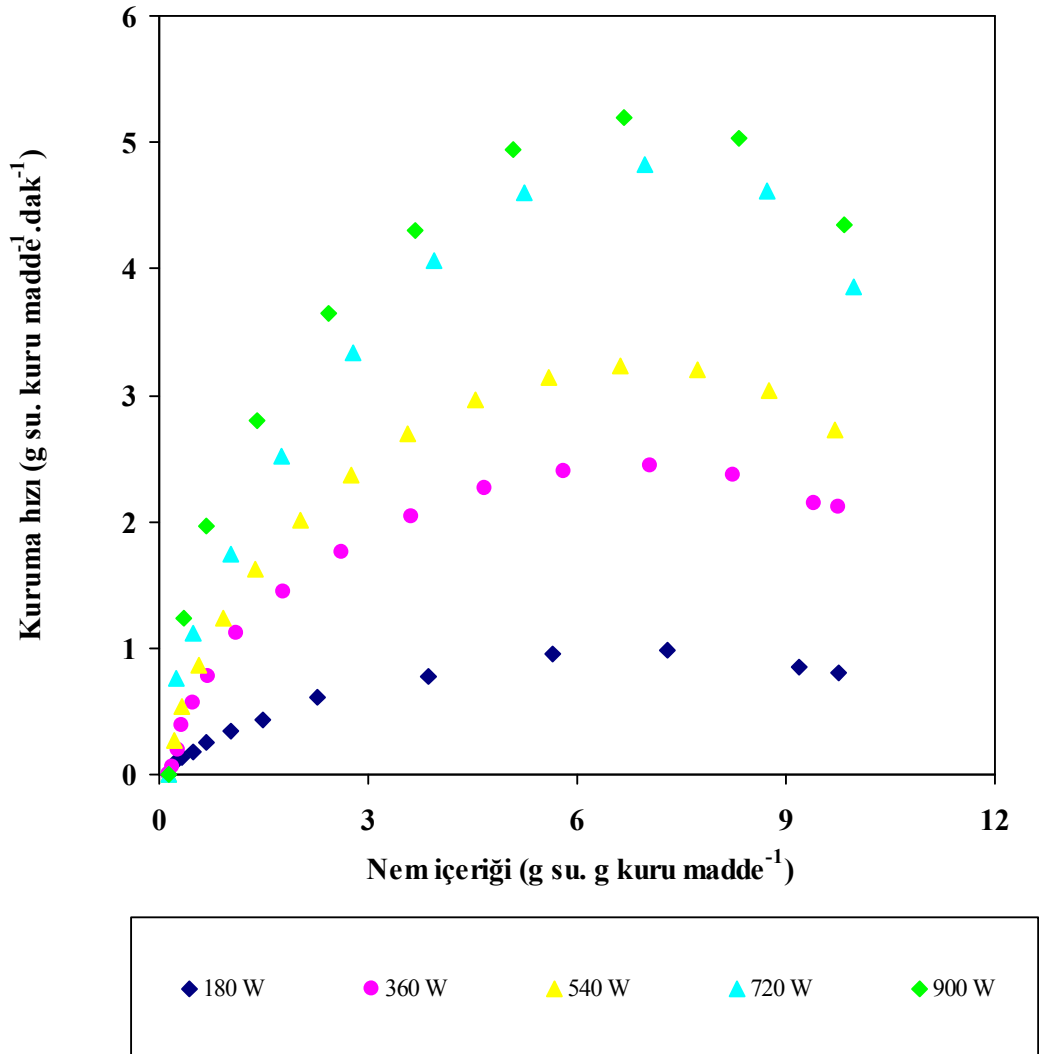


Şekil 8.27 Farklı mikrodalga çıkış güçlerinde ıspanak numunesinin nem içeriğinin kuruma zamanı ile değişimi (Numune ağırlığı= 25 g)

Yapılan incelemeler sonucunda; mikrodalga çıkış gücü arttırıldığında 25 g ıspanak numunesi için kuruma sürelerinin azaldığı gözlemlenmiştir. Şekil 8.27 incelendiğinde 180 W mikrodalga çıkış gücü için ıspanak numunesinin nem içeriğinin 11.57'den 0.1 g su. g kuru madde⁻¹ değerine düşmesi 18 dakika sürerken; 900 W mikrodalga çıkış gücü için aynı değişim 3.5 dakikada tamamlanmıştır. 180 W mikrodalga çıkış gücü yerine 900 W mikrodalga çıkış gücü kullanıldığında kuruma süresinin %80.55 azaldığı belirlenmiştir.

8.4.1.2 Kuruma hızı değişimi

Mikrodalga çıkış gücünün kuruma hızı üzerindeki etkisini incelemek için; 180, 360, 540, 720 ve 900 W mikrodalga çıkış güçlerinde kurutulan 25 g ıspanak numunesinin kuruma hızları Denklem 7.2'den hesaplanmış ve ıspanak numunelerine ait kuruma hız değerleri Şekil 8.28'de grafiksel olarak sunulmuştur.



Şekil 8.28 Farklı mikrodalga çıkış güçlerinde ıspanak numunesine ait kuruma hızlarının nem içeriği ile değişimi (Numune ağırlığı= 25 g)

Şekil 8.28 incelendiğinde, ıspanak numunesinin kurutulması sırasında bamya numunesinde görüldüğü gibi kısa bir ısınma süresinin ardından, sabit hızda kuruma periyodu ve azalan hızda kuruma periyodu olmak üzere 2 farklı kuruma periyodu gözlemlenmiştir. Kısa bir ısınma süresi sonrasında, ıspanak numunelerinin sabit hızda kuruma periyodunda ortalama kuruma hızları, mikrodalga çıkış gücü 180 W'tan 900 W mikrodalga çıkış gücüne çıkarıldığında, 0.93 değerinden 5.06 g su. g kuru madde⁻¹.dak⁻¹ değerine arttığı gözlemlenmiştir. Sabit hızda kuruma periyodunda; nem içeriği değerleri; 180 ve 360 W mikrodalga çıkış güçlerinde 9.75 g su. g kuru madde⁻¹ değerinden 5.0 g su. g kuru madde⁻¹ değerine, 540, 720 ve 900 W mikrodalga çıkış güçlerinde ise 8.5 g su. g kuru madde⁻¹ değerinden 5.0 g su. g kuru madde⁻¹ değerine düştüğü görülmüştür. Sabit hızda kuruma periyodunu azalan hızda kuruma periyodu takip etmiştir. Bu periyot süresince nem içeriği değerleri ortalama 5.0 değerinde 0.1 g su. g kuru madde⁻¹ değerine düşmüştür.

8.4.1.3 Kuruma kinetiğine ait model çalışmaları

Mikrodalga tekniği kullanılarak 25 g ıspanak 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 değerler dört ayrı ince tabaka kurutma modeli ile modellenmiştir. Matematiksel modellere ait istatistik veriler Çizelge 8.26'da sunulmuştur. Elde edilen verilerden; yüksek R² ve düşük standart sapma (δ) değerleri ile Page modelin ıspanak numunesinin kuruma kinetiğini açıklayan en iyi model olduğu belirlenmiştir.

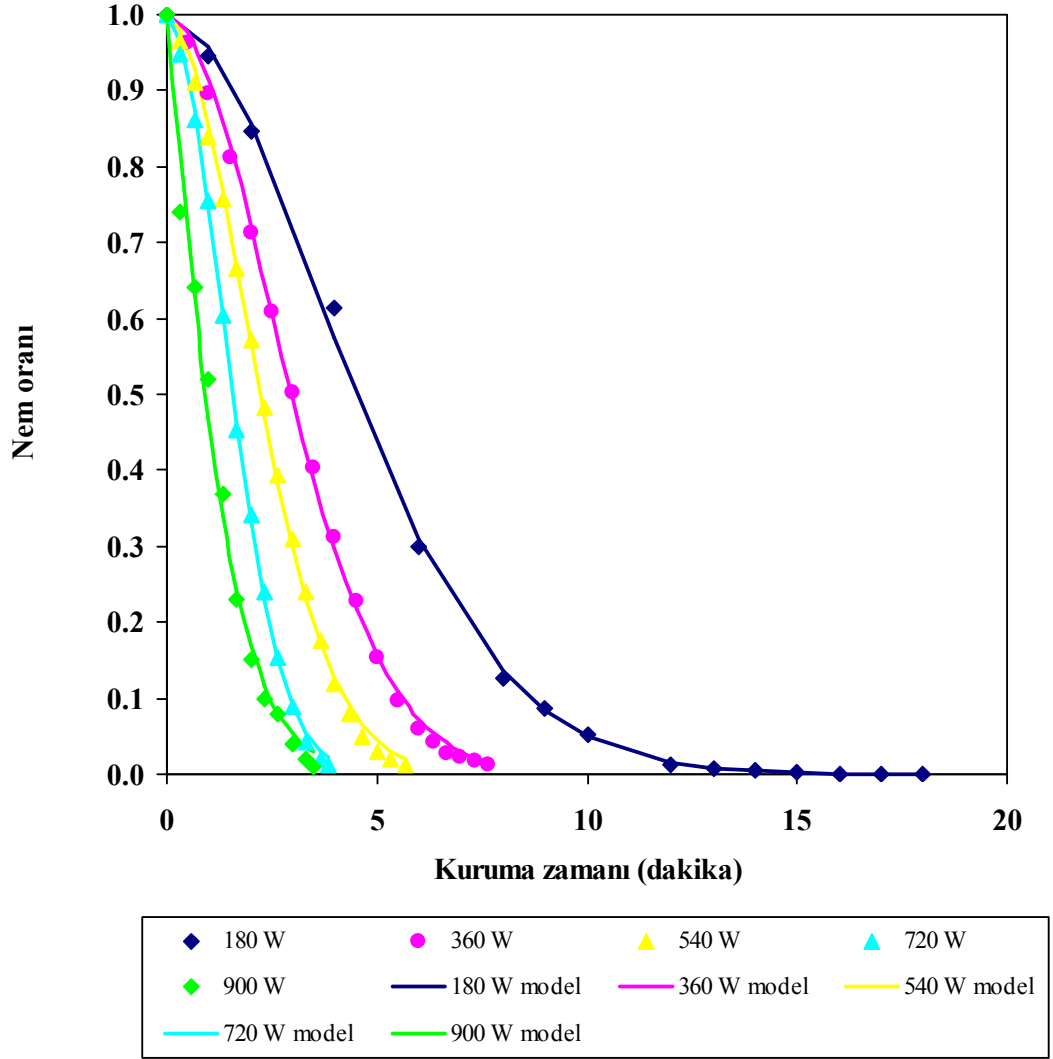
Kurumanın gerçekleştiği her bir mikrodalga çıkış gücünde nem oranı değerlerinin kuruma zamanı ile değişimi için elde edilen deneysel değerler ile deneysel verilere yüksek R² ve düşük standart sapma (δ) değerleri ile uyan Page modelin teorik değerlerinin karşılaştırılmasını içeren grafiksel gösterim Şekil 8.29'da, matematiksel model sabitleri ve istatistik veriler ise Çizelge 8.27'de sunulmuştur.

Çizelge 8.27 incelendiğinde; Page modele ait kinetik sabit değerlerinin mikrodalga çıkış gücü arttıkça 0.0436 dak⁻¹ değerinden 0.3455 dak⁻¹ değerine arttığı gözlemlenmiştir. Bu durum yüksek mikrodalga çıkış güçlerinde yüksek sıcaklıkların oluşmasından dolayı kurumanın daha kısa zamanda gerçekleştiğini göstermektedir. Diğer yandan; Page modelin diğer bir sabiti olan n, değerinin 1.83 ile 1.90 arasında değiştiği ve mikrodalga çıkış gücünden etkilenmediği saptanmıştır.

Elde edilen veriler neticesinde; Page modele ait n sabitinin ıspanak numunesinin mikrodalga tekniği ile kurutulması sırasında sabit kabul edilebileceği yargısına varılmış ve her bir mikrodalga çıkış gücünde elde edilen değerlerin aritmetik ortalaması alınarak n sabiti 1.86 olarak hesaplanmıştır.

Çizelge 8.26 Farklı mikrodalga çıkış güçlerinde kurutulan ıspanak numunesinin kuruma hızlarının belirlenmesi sırasında kurulan matematiksel modeller ve istatistik veriler

Modeller	Mikrodalga Çıkış Gücü (W)	R²	δ
Page Model	180	0.9975	0.0237
	360	0.9994	0.0119
	540	0.9994	0.0118
	720	0.9996	0.0098
	900	0.9968	0.0276
Henderson ve Pabis Model	180	0.9762	0.0862
	360	0.9690	0.0926
	540	0.9698	0.0900
	720	0.9672	0.0982
	900	0.9705	0.0474
Lewis Model	180	0.9666	0.0983
	360	0.9549	0.1081
	540	0.9553	0.1058
	720	0.9540	0.1109
	900	0.9797	0.0464
Logaritmik Model	180	0.9942	0.0466
	360	0.9923	0.0479
	540	0.9928	0.0455
	720	0.9920	0.0510
	900	0.9950	0.0324



Şekil 8.29 Farklı mikrodalga çıkış güçlerinde ıspanak numunesine ait nem oranı değerlerinin kuruma zamanı ile değişimi (Numune ağırlığı= 25 g)

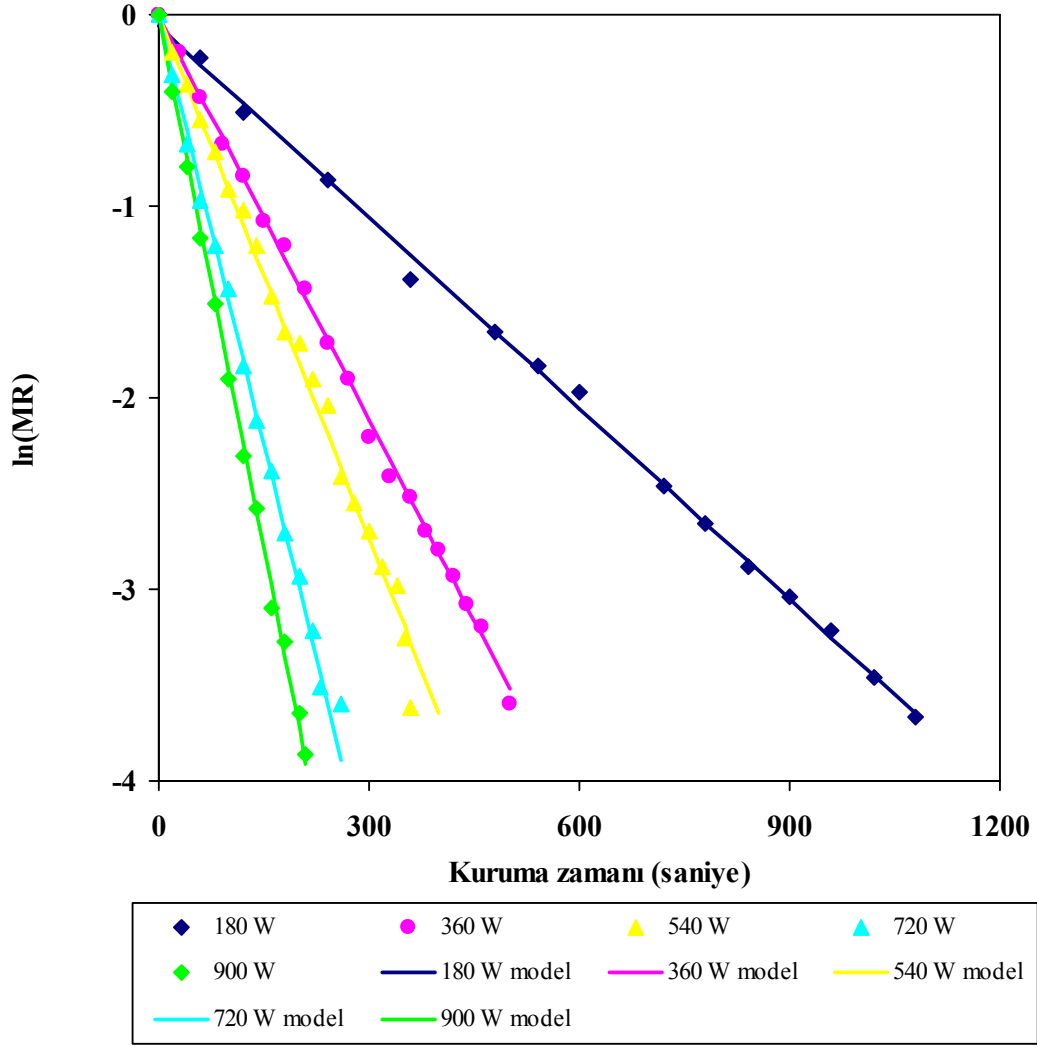
Çizelge 8.27 Farklı mikrodalga çıkış güçlerinde ıspanak numunesine ait kuruma zamanlarına karşılık elde edilen deneysel verilere uyan Page model sabitleri ve istatistik veriler (Numune ağırlığı= 25 g)

Mikrodalga Çıkış Gücü (W)	k (dak ⁻¹)	n (birimsiz)	R ²	δ
180	0.0436	1.83	0.9989	0.0126
360	0.0879	1.89	0.9991	0.0110
540	0.1565	1.85	0.9991	0.0108
720	0.2938	1.90	0.9994	0.0092
900	0.3455	1.86	0.9995	0.0335

8.4.1.4 Etkin difüzyon katsayılarının hesaplanması

Dilim kabulü yapılan ıspanak numunelerinin beş farklı mikrodalga çıkış gücünde, 180, 360, 540, 720 ve 900 W, kurutulması sırasında meydana gelen kütle transferinin en büyük ölçütü olan etkin difüzyon katsayılarının hesaplamaları Denklem 7.7’de verilen lineer denklemin eğimi yardımıyla yapılmıştır (Şekil 8.30). Matematiksel model sabitleri ve istatistik veriler Çizelge 8.28’de verilmiştir.

Şekil 8.30 ve Çizelge 8.28’de görüldüğü gibi mikrodalga çıkış gücü arttırıldıkça etkin difüzyon katsayısı değerleri de artmaktadır. Bunun sebebi; daha yüksek mikrodalga çıkış güçlerinde gıdanın içerisinde meydana gelen sıcaklıkların artması ile kütle transferinin de artış göstermesi ve kuruma sürelerinin azalmasıdır. Ispanak numunelerinde bamya numunesinde gözlemlenen lineer denklemden sapma gözlemlenmemiştir. Bunun en büyük nedeni; ıspanak numunesinin ince tabakalı bir yapıya ve geniş yüzey alanına sahip olmasıdır. Böylece, kuruma sırasında büzülme meydana gelmemekte ve buharlaşan su gıda yüzeyinde sıkışıp kalmamaktadır.



Şekil 8.30 Farklı mikrodalga çıkış güçlerinde ıspanak numunesine ait $\ln(MR)$ değerlerinin kuruma zamanı ile değişimi (Numune ağırlığı= 25 g)

Çizelge 8.28 Farklı mikrodalga çıkış güçlerinde ıspanak numunesine ait hesaplanan etkin difüzyivite katsayısının değişimi ve istatistik verileri (Numune ağırlığı= 25 g)

Mikrodalga Çıkış Gücü (W)	Eğim* 10^3	$D_{eff} * 10^{10}$ ($m^2.s^{-1}$)	R^2	δ
180	3.412	0.86	0.9982	0.0521
360	7.023	1.79	0.9983	0.0454
540	9.113	2.31	0.9916	0.1010
720	14.915	3.79	0.9983	0.0476
900	18.600	4.72	0.9981	0.0589

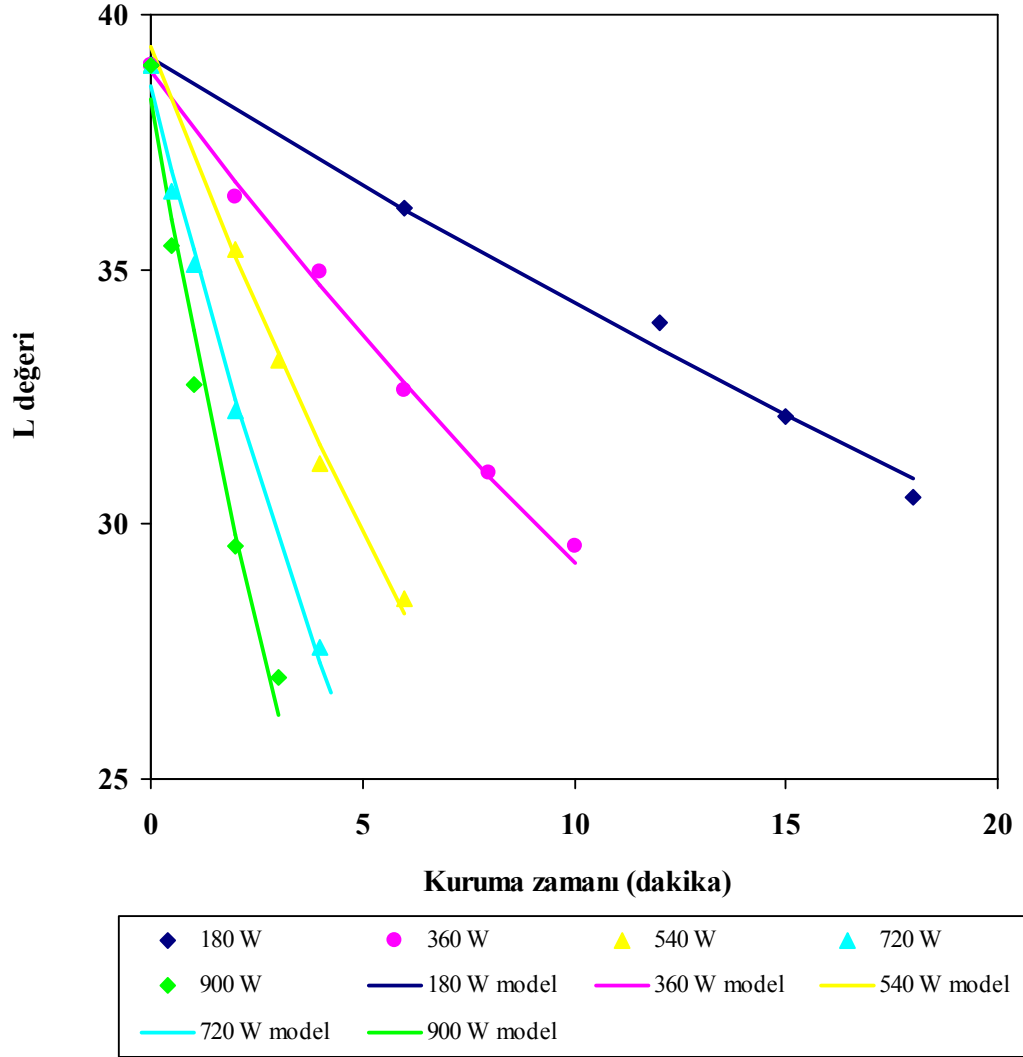
8.4.2 Mikrodalga çıkış gücünün ıspanak numunesinin renk değişimi üzerindeki etkisi

Mikrodalga ile kurutma tekniği kullanılarak 25 g ıspanak numunesinin zamana bağlı olarak renk değişimleri belirlenmiştir. Elde edilen L, a, b ve toplam renk değişimi (ΔE) değerlerine ait deneysel veriler Ek 8, Çizelge 8.1-8.5'te sırasıyla sunulmuştur. Yapılan modelleme çalışmaları sonucunda; L, b, Kroma (CV) ve Kahverengileşme İndeksi (BI) değerlerinin birinci dereceden kinetik modele (Denklem 7.19), diğer yandan a, toplam renk değişimi (ΔE) ve Renk Açısı (HA) değerlerinin ise sıfırıncı dereceden kinetik modele (Denklem 7.18) uygunluk gösterdiği görülmüştür. Farklı mikrodalga çıkış güçleri için elde edilen L, a, b, toplam renk değişimi (ΔE), Kroma (CV), Renk Açısı (HA) ve Kahverengileşme İndeksi (BI) değerlerinin grafiksel gösterimi Şekil 8.31-37'de, matematiksel model sabitleri ve istatistik veriler Çizelge 8.29 -35'te sırasıyla sunulmuştur.

▪ L değeri değişimi

Farklı mikrodalga çıkış güçlerinde L değerinin kuruma zamanı ile değişimi Şekil 8.31'de, matematiksel model ve istatistik veriler Çizelge 8.29'da verilmiştir. Şekil 8.31'den görüldüğü gibi, L değeri kuruma zamanı boyunca düşmüştür. Bu durum gıdanın renginin koyulaşmaya başladığının bir göstergesidir. L değeri mikrodalga çıkış gücü 180 W iken; 39.02 değerinden 30.53 değerine; mikrodalga çıkış gücü 900 W iken; 39.02 değerinden 27.05 değeri düşmüştür.

Yapılan matematiksel modelleme sonucunda; birinci dereceden kinetik denkleme ait hız sabiti (k); mikrodalga çıkış gücü 180 W değerinden 900 W değerine arttırıldığında, 0.0131 dak^{-1} değerinden 0.1262 dak^{-1} değerine artma göstermiştir. Bu sonuç, gıdanın içinde meydana gelen yüksek sıcaklık neticesinde termal bozunma reaksiyonlarının daha hızlı gerçekleştiğini göstermektedir (Maskan, 2001b; Dadalı vd., 2007b).



Şekil 8.31 Farklı mikrodalga çıkış güçlerinde ıspanak numunesine ait L değerlerinin kuruma zamanı ile değişimi (Numune ağırlığı= 25 g)

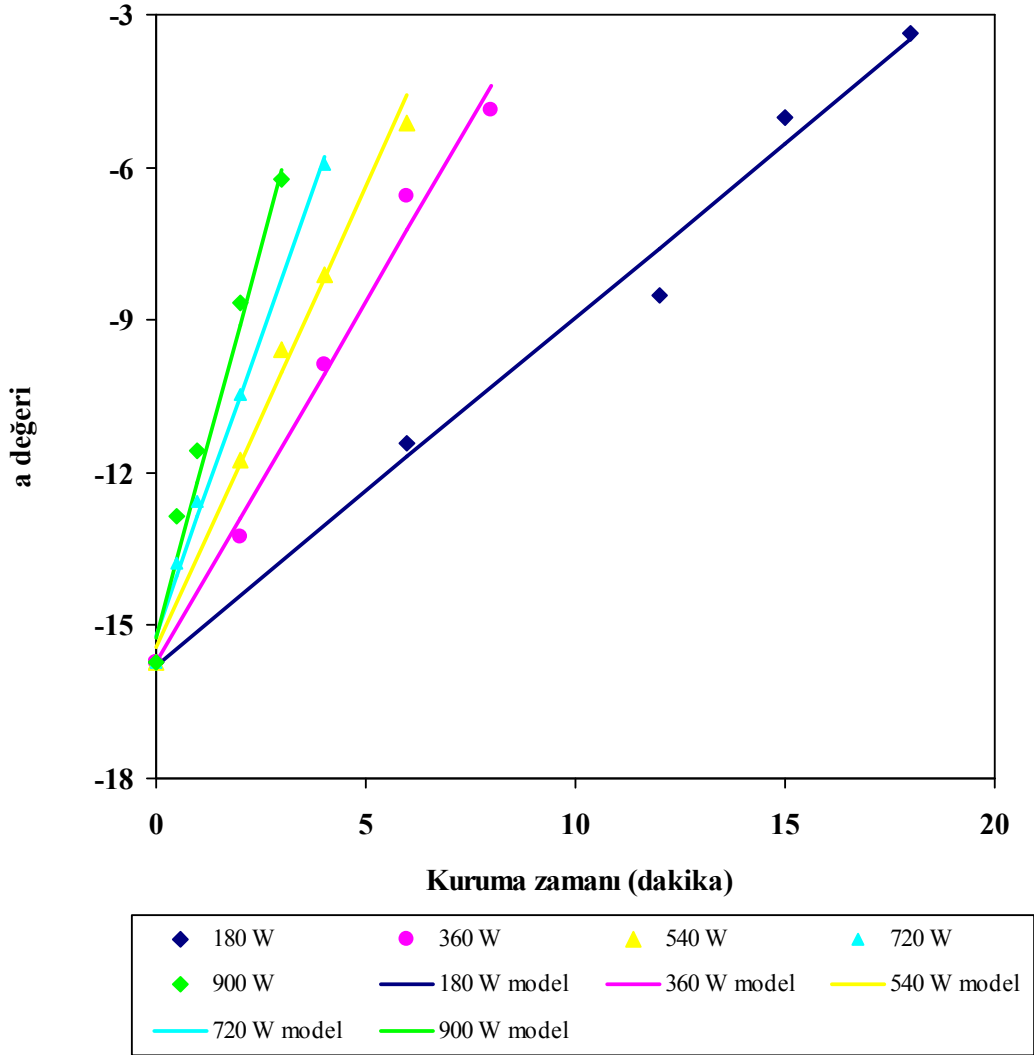
Çizelge 8.29 Farklı mikrodalga çıkış güçlerinde ıspanak numunesine ait L değeri için birinci dereceden kinetik denklem kullanılarak elde edilen model sabitleri ve istatistik veriler (Numune ağırlığı= 25 g)

Mikrodalga Çıkış Gücü (W)	k (dak ⁻¹)	C ₀ (birimsiz)	R ²	δ
180	0.0131	39.1562	0.9952	0.3761
360	0.0285	38.8771	0.9974	0.2611
540	0.0554	39.3894	0.9982	0.2850
720	0.0866	38.5870	0.9948	0.7821
900	0.1262	38.3436	0.9828	0.0990

▪ a değeri değışimi

Farklı mikrodalga çıkış güçlerinde elde edilen a değerinin kuruma zamanı ile değışimi Şekil 8.32’de ve matematiksel model sabitleri ve istatistik veriler Çizelge 8.30’da sunulmuştur. Şekil 8.32’de verildiğı üzere, a değeri kuruma zamanı boyunca yükselmiştir. Ancak, ıspanak numuneleri pozitif a değerlerine ulaşmamıştır. Bu durum ıspanak numunelerinin yeşil renklerini koruduklarını göstermektedir. Ispanak numunesine ait a değeri mikrodalga çıkış gücü 180 W iken; -15.72 değerinden -3.36 değerine; mikrodalga çıkış gücü 900 W iken; -15.72 değerinden -6.23 değerine yükselmiştir. Bunun sebebi; gıdaların yeşil renginin sarıya dönmesine neden olan klorofilaz enziminin yüksek sıcaklıklarda daha çabuk bozunması olarak gösterilebilir (Soysal, 2004). Böylece, yüksek sıcaklıklarda kurutma işleminin gerçekleştiğı yüksek mikrodalga çıkış güçlerinde ıspanak numunelerinin a değerleri daha az değışmektedir.

Yapılan matematiksel modelleme sonucunda; sıfırıncı dereceden kinetik denkleme ait hız sabiti (k); mikrodalga çıkış gücü 180 W değerinden 900 W değerine arttırıldığında, klorofilaz enziminin daha hızlı bozunması sonucu 0.6832 dak^{-1} değerinden 3.0710 dak^{-1} değerine artmıştır.



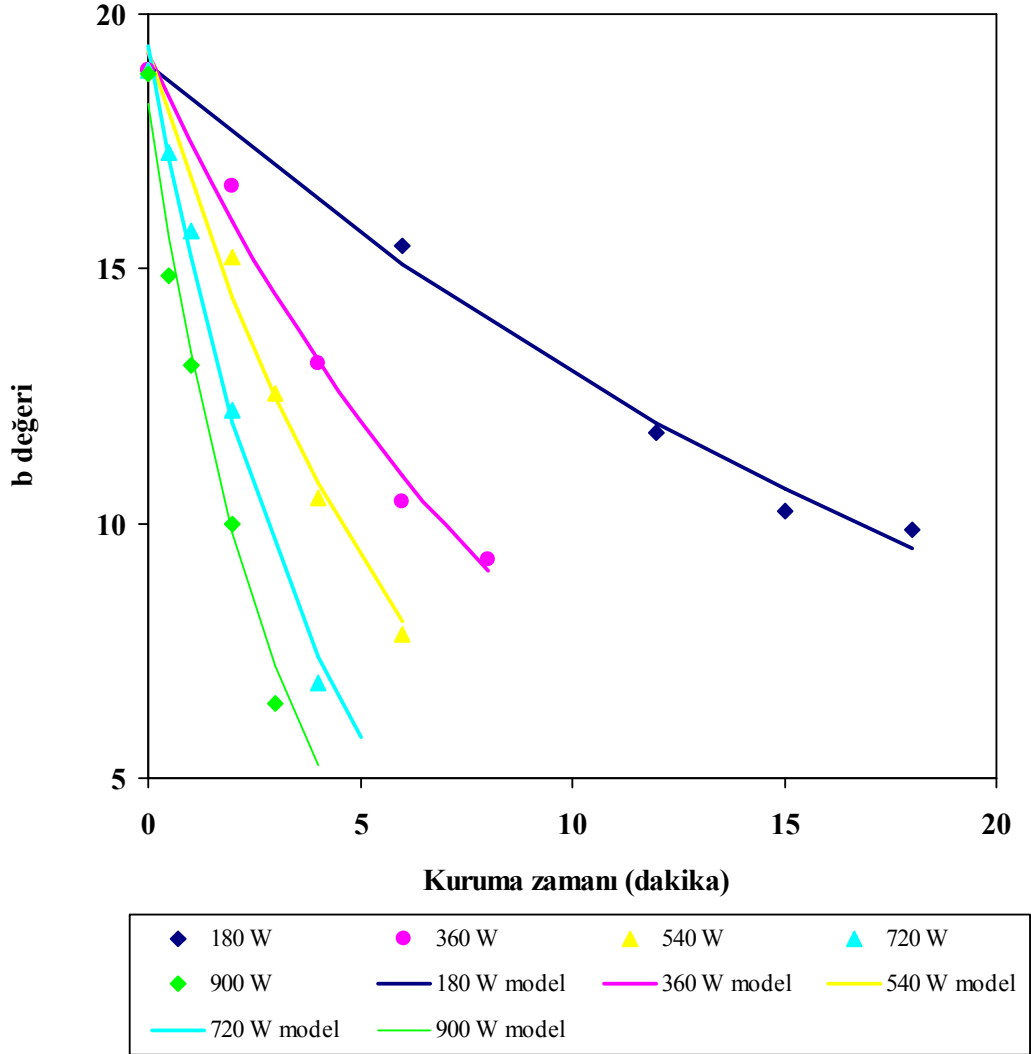
Şekil 8.32 Farklı mikrodalga çıkış güçlerinde ıspanak numunesine ait a değerlerinin kuruma zamanı ile değişimi (Numune ağırlığı= 25 g)

Çizelge 8.30 Farklı mikrodalga çıkış güçlerinde ıspanak numunesine ait a değeri için sıfırıncı dereceden kinetik denklem kullanılarak elde edilen model sabitleri ve istatistik veriler (Numune ağırlığı= 25 g)

Mikrodalga Çıkış Gücü (W)	k (dak^{-1})	C_0 (birimsiz)	R^2	δ
180	0.6832	-15.7774	0.9937	0.6401
360	1.4175	-15.7300	0.9949	0.5219
540	1.7720	-15.3680	0.9971	0.3537
720	2.3565	-15.2227	0.9960	0.3838
900	3.0710	-15.2503	0.9956	0.3827

▪ b değeri değışimi

Farklı mikrodalga çıkış güçlerinde elde edilen b değerinin kuruma zamanı ile değışimi Şekil 8.33'de ve matematiksel model sabitleri ve istatistik veriler Çizelge 8.31'de sunulmuştur. Şekil 8.33 incelendiğinde; b değerinin kuruma zamanı boyunca düştüğü gözlenmiştir. Ispanak numunesine ait b değeri mikrodalga çıkış gücü 180 W iken; 18.89 değerinden 9.89 değerine; mikrodalga çıkış gücü 900 W iken; 18.89 değerinden 6.45 değerine düşmüştür.



Şekil 8.33 Farklı mikrodalga çıkış güçlerinde ıspanak numunesine ait b değerlerinin kuruma zamanı ile değışimi (Numune ağırlığı= 25 g)

Yapılan matematiksel modelleme sonucunda; birinci dereceden kinetik denkleme ait hız sabiti (k); mikrodalga çıkış gücü 180 W değerinden 900 W değerine arttırıldığında, 0.0384 dak⁻¹ değerinden 0.3105 dak⁻¹ değerine artma göstermiştir. Bu sonuç gıdanın içinde meydana gelen yüksek sıcaklık neticesinde klorofil ve karoten pigmentlerinin bozunma reaksiyonlarının daha hızlı gerçekleştiğini göstermektedir (Palou, 1999; Weemaes, 1999).

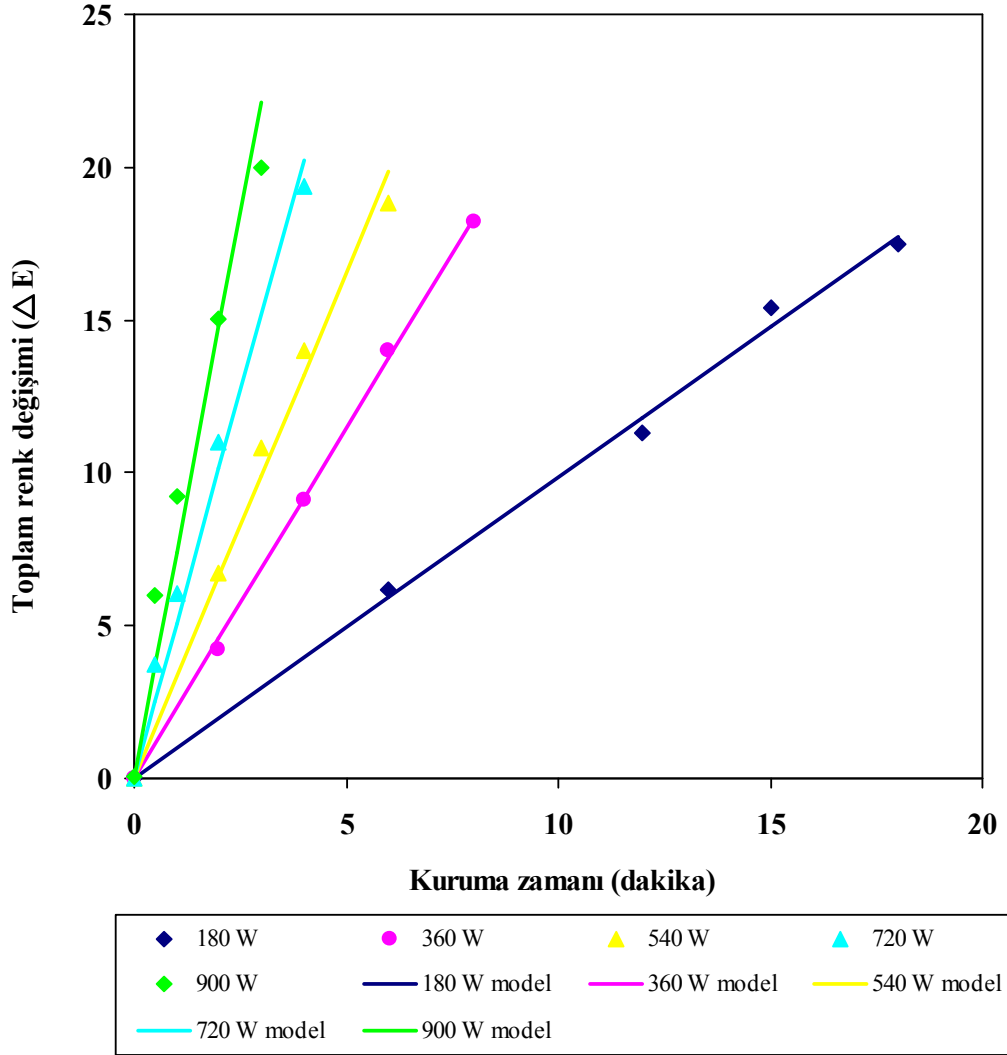
Çizelge 8.31 Farklı mikrodalga çıkış güçlerinde ıspanak numunesine ait b değeri için birinci dereceden kinetik denklem kullanılarak elde edilen model sabitleri ve istatistik veriler (Numune ağırlığı= 25 g)

Mikrodalga Çıkış Gücü (W)	k (dak⁻¹)	C₀ (birimsiz)	R²	δ
180	0.0384	19.0018	0.9956	0.4150
360	0.0939	19.2336	0.9928	0.5606
540	0.1445	19.2608	0.9935	0.5647
720	0.2412	19.6998	0.9953	0.5297
900	0.3105	18.2477	0.9923	0.6279

▪ **Toplam renk değişimi (ΔE) değeri**

Toplam renk değişimi (ΔE) değerleri Denklem 7.8 kullanılarak elde edilmiştir. Toplam renk değişimi (ΔE) değerlerinin kuruma zamanı ile değişimi Şekil 8.34'te, matematiksel model sabitleri ve istatistik veriler Çizelge 8.32'de verilmiştir. Toplam renk değişimi (ΔE) değerleri, mikrodalga çıkış gücü 180 W iken; 17.47 değerine ulaşmışken, mikrodalga çıkış gücü 900 W iken; 20.02 değerine yükselmiştir.

Yapılan matematiksel modelleme sonucunda; sıfırıncı dereceden kinetik denkleme ait hız sabiti (k); mikrodalga çıkış gücü 180 W değerinden 900 W değerine arttırıldığında, 0.9851 dak⁻¹ değerinden 7.3838 dak⁻¹ değerine artmıştır.



Şekil 8.34 Farklı mikrodalga çıkış güçlerinde ıspanak numunesine ait toplam renk değişimi (ΔE) değerlerinin kuruma zamanı ile değişimi (Numune ağırlığı= 25 g)

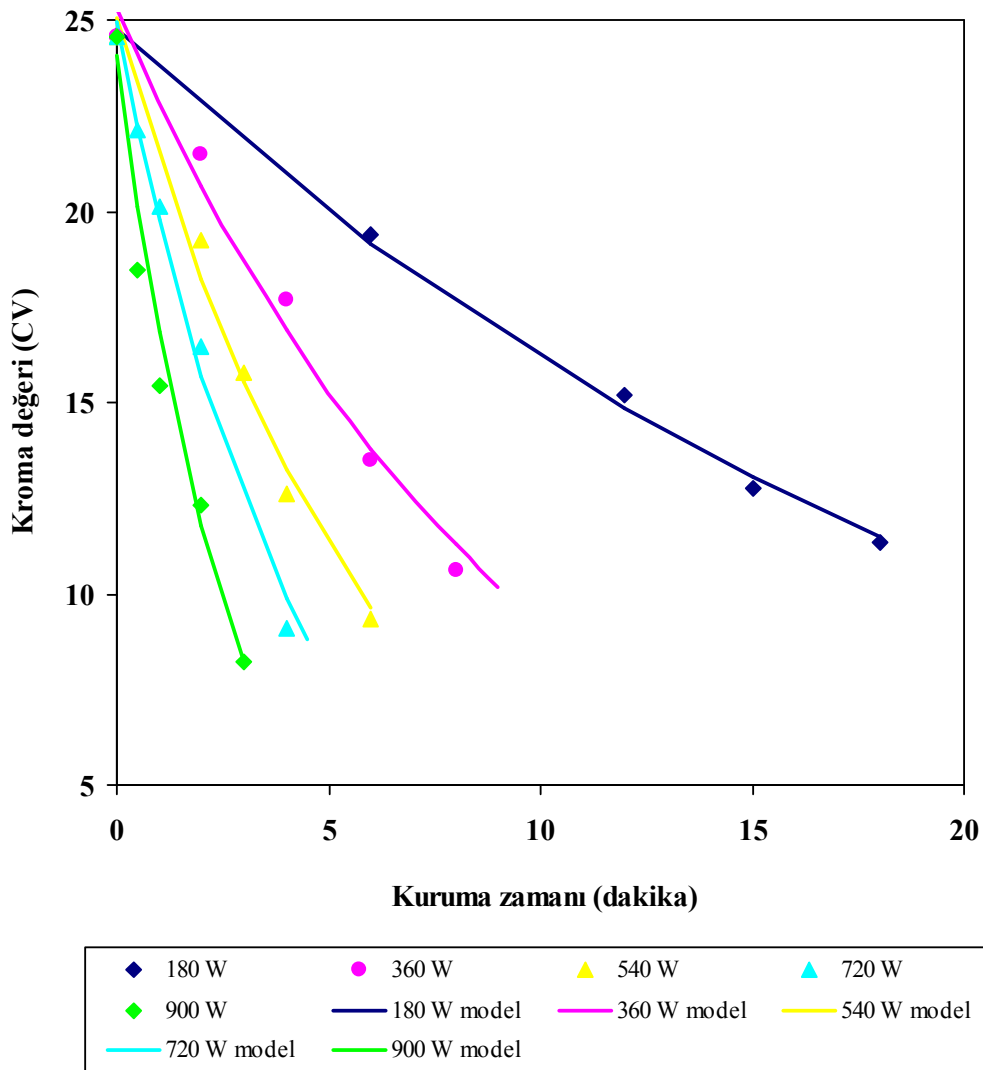
Çizelge 8.32 Farklı mikrodalga çıkış güçlerinde ıspanak numunesine ait toplam renk değişimi (ΔE) değeri için sıfırıncı dereceden kinetik denklem kullanılarak elde edilen model sabitleri ve istatistik veriler (Numune ağırlığı= 25 g)

Mikrodalga Çıkış Gücü (W)	k (dak ⁻¹)	R^2	δ
180	0.9851	0.9980	0.5110
360	2.2903	0.9995	0.2281
540	3.3062	0.9940	0.7821
720	5.0594	0.9912	0.0989
900	7.3838	0.9804	0.5920

▪ Kroma (CV) değeri değişimi

Denklem 7.9 kullanılarak elde edilen Kroma (CV) değerlerinin kuruma zamanı ile değişimlerini gösteren grafiksel gösterim Şekil 8.35’de, matematiksel model sabitleri ve istatistik veriler Çizelge 8.33’de verilmiştir. Şekil 8.35 incelendiğinde; Kroma (CV) değerinin kuruma zamanı boyunca düşme gösterdiği saptanmıştır. Kroma değeri mikrodalga çıkış gücü 180 W iken; 24.57 değerinden 11.32 değerine; mikrodalga çıkış gücü 900 W iken; 24.57 değerinden 8.23 değerine değişmiştir.

Yapılan matematiksel modelleme sonucunda; birinci dereceden kinetik denkleme ait hız sabiti (k); mikrodalga çıkış gücü 180 W değerinden 900 W değerine arttırıldığında, 0.0426 dak^{-1} değerinden 0.3288 dak^{-1} değerine artmıştır.



Şekil 8.35 Farklı mikrodalga çıkış güçlerinde ıspanak numunesine ait Kroma (CV) değerlerinin kuruma zamanı ile değişimi (Numune ağırlığı= 25 g)

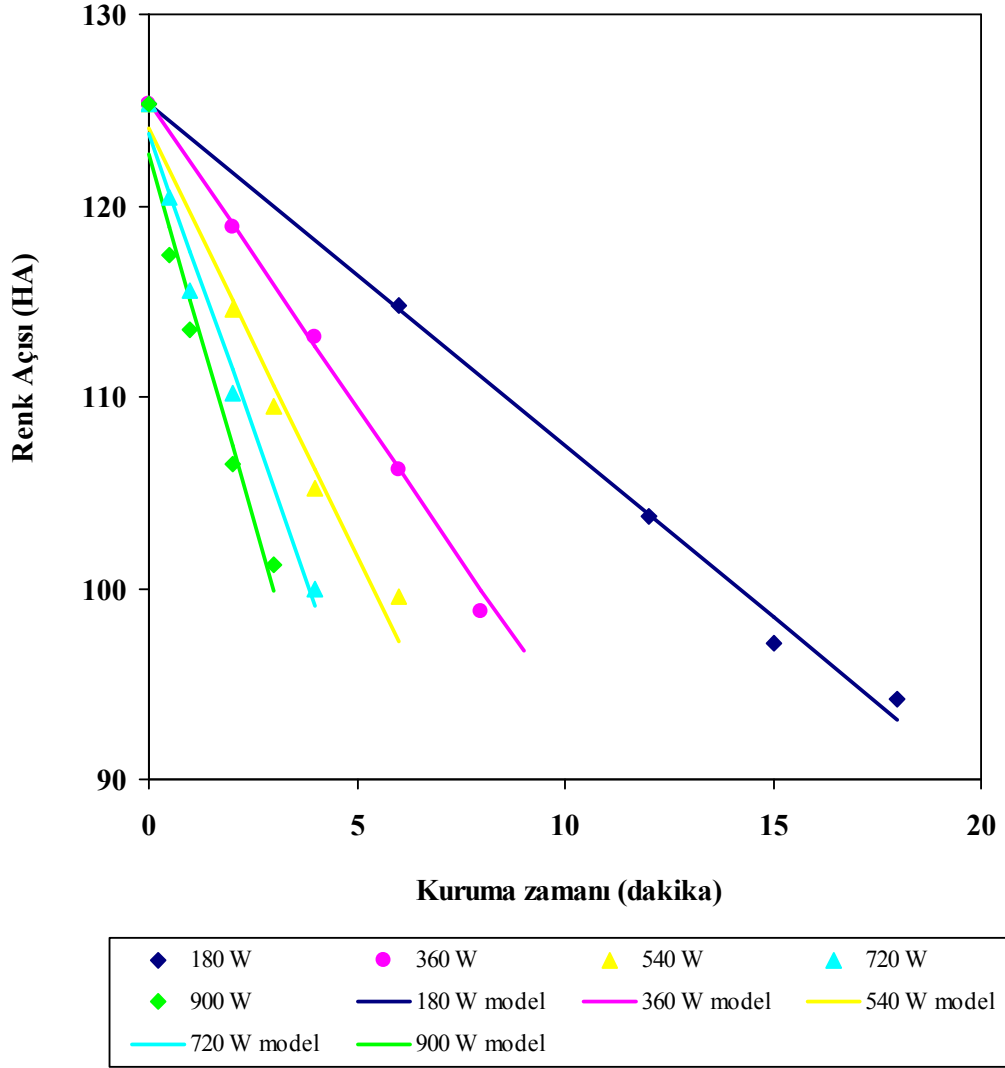
Çizelge 8.33 Farklı mikrodalga çıkış güçlerinde ıspanak numunesine ait Kroma (CV) değeri için birinci dereceden kinetik denklem kullanılarak elde edilen model sabitleri ve istatistik veriler (Numune ağırlığı= 25 g)

Mikrodalga Çıkış Gücü (W)	k (dak⁻¹)	C₀ (birimsiz)	R²	δ
180	0.0426	24.7407	0.9943	0.3315
360	0.1204	25.0330	0.9954	0.6812
540	0.1594	25.0391	0.9933	0.7831
720	0.2316	24.9341	0.9951	0.6849
900	0.3288	24.4822	0.9930	1.0653

▪ Renk Açısı (HA) değişimi

Denklem 7.10 kullanılarak elde edilen Renk Açısı (HA) değerlerinin kuruma zamanı ile değişimlerini gösteren grafiksel gösterim Şekil 8.36'da, matematiksel model sabitleri ve istatistik veriler Çizelge 8.34'te verilmiştir. Şekil 8.36 incelendiğinde; Renk Açısı (HA) değerlerinin kuruma zamanı boyunca düşme gösterdiği saptanmıştır. Renk Açısı (HA) değerleri; mikrodalga çıkış gücü 180 W iken; 125.28 değerinden 94.16 değerine; mikrodalga çıkış gücü 900 W iken; 125.28 değerinden 101.23 değerine düşmüştür. Bu değerlerin birbirlerine yakın olması ıspanak numunesinin mikrodalga tekniği ile kurutulması sırasında yeşil rengini muhafaza ettiğinin diğer bir göstergesidir. Ispanak numunelerinin renk tonu açısı değerleri 90°C değerinin altına düşmediğinden bamyaya numuneleri gibi kırmızı renge doğru bir eğilim göstermediği belirlenmiştir.

Yapılan matematiksel modelleme sonucunda; sıfırıncı dereceden kinetik denkleme ait hız sabiti (k); mikrodalga çıkış gücü 180 W değerinden 900 W değerine arttırıldığında, 1.7256 dak⁻¹ değerinden 7.6253 dak⁻¹ değerine artmıştır.



Şekil 8.36 Farklı mikrodalga çıkış güçlerinde ıspanak numunesine ait Renk Açısı (HA) değerlerinin kuruma zamanı ile değişimi (Numune ağırlığı= 25 g)

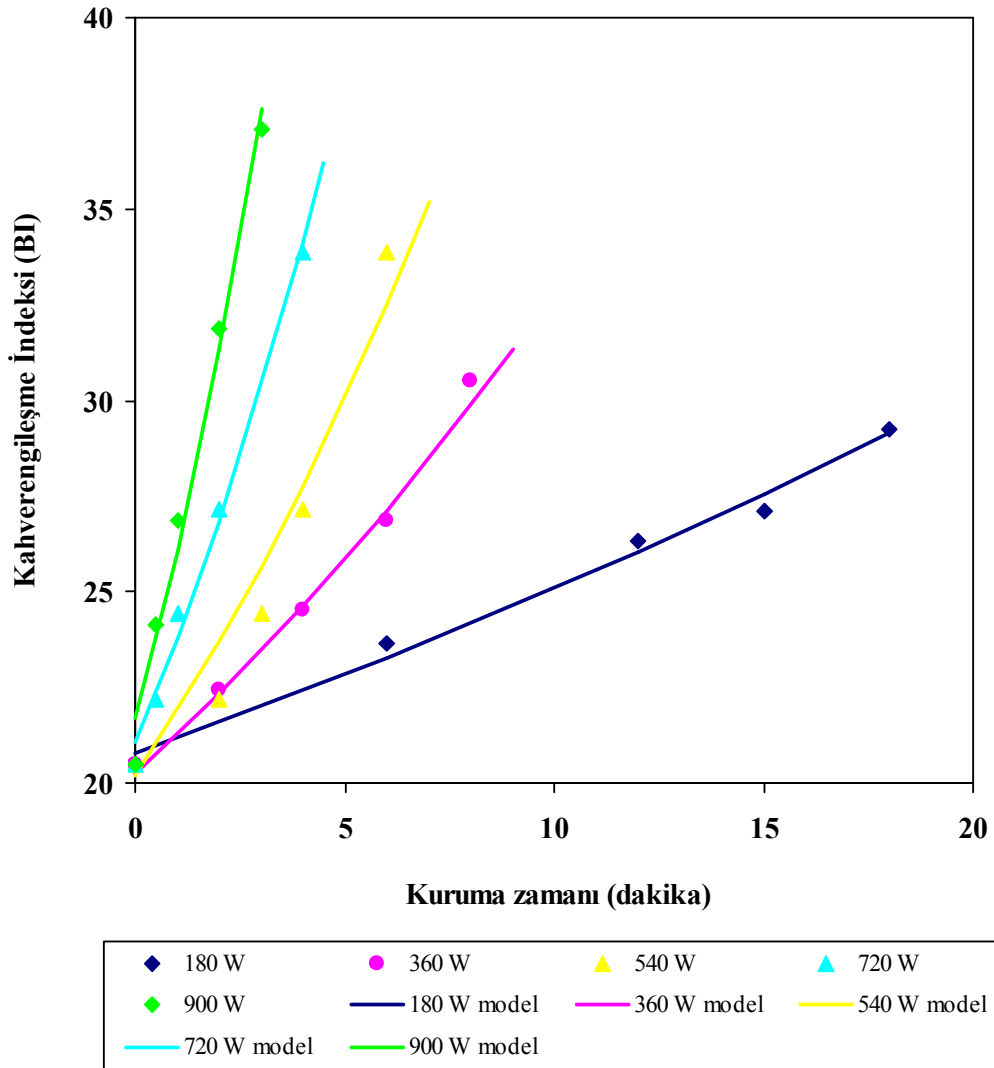
Çizelge 8.34 Farklı mikrodalga çıkış güçlerinde ıspanak numunesine ait Renk Açısı (HA) değeri için sıfırıncı dereceden kinetik denklem kullanılarak elde edilen model sabitleri ve istatistik veriler (Numune ağırlığı= 25 g)

Mikrodalga Çıkış Gücü (W)	k (dak ⁻¹)	C ₀ (birimsiz)	R ²	δ
180	1.7256	126.9597	0.9958	0.8543
360	3.1875	125.4020	0.9954	0.2747
540	4.4745	124.0555	0.9941	0.1904
720	6.1530	124.1195	0.9957	0.0416
900	7.6253	122.6809	0.9899	0.1899

▪ Kahverengileşme İndeksi (BI) değişimi

Denklem 7.11 kullanılarak elde edilen Kahverengileşme İndeksi (BI) değerlerinin kuruma zamanı ile değişimleri Şekil 8.37’de, matematiksel model sabitleri ve istatistik veriler Çizelge 8.35’te verilmiştir. Şekil 8.37 incelendiğinde; Kahverengileşme İndeksi (BI) değerlerinin kuruma zamanı boyunca arttığı görülmüştür. Kahverengileşme İndeksi (BI) değerleri mikrodalga çıkış gücü 180 W iken; 20.50 değerinden 29.24 değerine; mikrodalga çıkış gücü 900 W iken; 20.50 değerinden 33.87 değerine artmıştır.

Yapılan matematiksel modelleme sonucunda; birinci dereceden kinetik denkleme ait hız sabiti (k); mikrodalga çıkış gücü 180 W değerinden 900 W değerine arttırıldığında, 0.0187 dak^{-1} değerinden 0.1833 dak^{-1} değerine artmıştır.



Şekil 8.37 Farklı mikrodalga çıkış güçlerinde ıspanak numunesine ait Kahverengileşme İndeksi (BI) değerlerinin kuruma zamanı ile değişimi (Numune ağırlığı= 25 g)

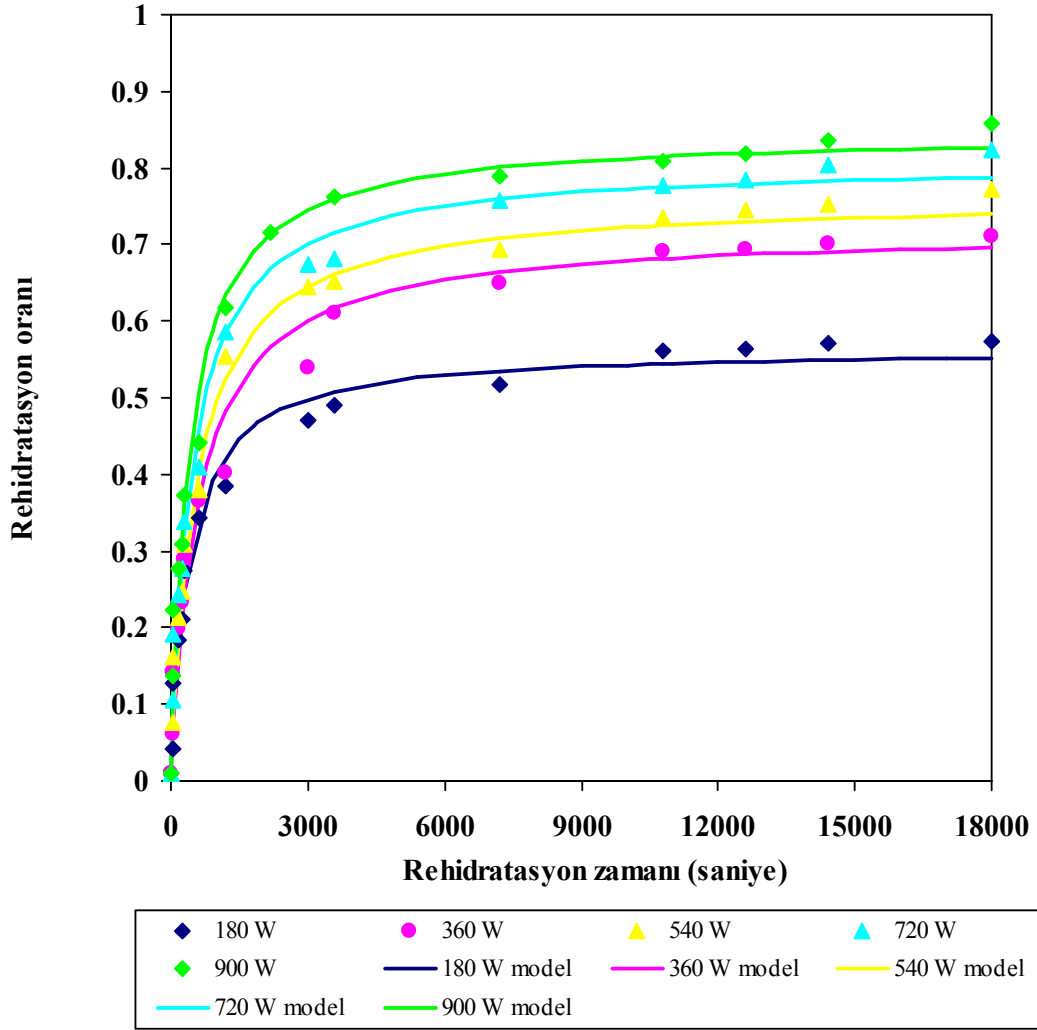
Çizelge 8.35 Farklı mikrodalga çıkış güçlerinde ıspanak numunesine ait Kahverengileşme İndeksi (BI) değeri için birinci dereceden kinetik denklem kullanılarak elde edilen model sabitleri ve istatistik veriler (Numune ağırlığı= 25 g)

Mikrodalga Çıkış Gücü (W)	k (dak⁻¹)	C₀ (birimsiz)	R²	δ
180	0.0187	20.7918	0.9943	0.4128
360	0.0485	20.2603	0.9988	0.2094
540	0.0791	20.2102	0.9970	0.4051
720	0.1200	20.0947	0.9954	0.5751
900	0.1833	21.7027	0.9918	0.9576

8.4.3 Mikrodalga çıkış gücünün ıspanak numunesinin rehidratasyon oranı üzerindeki etkisi

Mikrodalga ile kurutma tekniği kullanılarak 25 g ıspanak numunesinin beş farklı mikrodalga çıkış gücünde, 180, 360, 540, 720 ve 900 W, kurutulmasından sonra elde edilen kuru ürünler bir gün süre ile desikatörde bekletilmiş ve daha sonra 30°C sıcaklıktaki 250 ml distile suda rehidratasyon işlemine tabi tutulmuştur. Belirli zaman aralıklarında numuneler su banyosundan çıkarılmıştır. Numunelerin yüzeyinde bulunan su fazlası bir peçete yardımı ile uzaklaştırılarak tartım işlemleri yapılmıştır. Elde edilen tartım değerlerinden rehidratasyon oranı Denklem 7.12 kullanılarak hesaplanmış ve Ek 9, Çizelge 9.1-9.5'te sırasıyla sunulmuştur. Yapılan modelleme çalışmaları sonucunda; deneysel değerlerin Peleg modele (Denklem 7.20) uygunluk gösterdiği saptanmıştır.

Mikrodalga tekniği kullanılarak 25 g ıspanağın kurutulması işleminin gerçekleştirildiği her bir mikrodalga çıkış gücünde rehidratasyon oranlarının rehidratasyon zamanı ile değişiminin grafiksel gösterimi Şekil 8.38'de, matematiksel model sabitleri ve istatistik veriler Çizelge 8.36'da verilmiştir. 30°C'de uygulanan rehidratasyon işleminde belirli zaman aralıklarında yapılan ölçümlerden; mikrodalga çıkış gücü arttıkça kurutulmuş 25 g ıspanak numunesinin kurutulmadan evvel içermiş olduğu su miktarının en fazla %85'ini geri absorplayabildiği saptanmıştır. Bu durum, kurutulmuş numunelerin kurutma ve rehidratasyon aşamasında yapılarında bazı değişikliklerin ya da doku farklılıklarının oluştuğunun bir göstergesidir (Krokida ve Philippopoulos, 2005). Yapılan modelleme çalışmaları sonucunda; Peleg modelin yüksek R² ve düşük δ değerleri ile deneysel verilere uygunluk gösterdiği saptanmıştır. Kinetik sabit k₁ ve karakteristik sabit k₂ mikrodalga çıkış güçleri arttırıldıkça düşmektedir.



Şekil 8.38 Farklı mikrodalga çıkış güçlerinde ıspanak numunesine ait rehidratasyon oranı değerlerinin rehidratasyon zamanı ile değişimi (Numune ağırlığı= 25 g, rehidratasyon sıcaklığı= 30°C)

Çizelge 8.36 Farklı mikrodalga çıkış güçlerinde ıspanak numunesine ait rehidratasyon oranı değeri için Peleg model kullanılarak elde edilen model sabitleri ve istatistik veriler (Numune ağırlığı= 25 g, rehidratasyon sıcaklığı= 30°C)

Mikrodalga Çıkış Gücü (W)	k_1^*	k_2^{**}	R^2	δ
180	843.4175	1.8011	0.9933	0.0240
360	723.3138	1.4090	0.9879	0.0412
540	629.3154	1.3300	0.9926	0.0340
720	582.0095	1.2520	0.9924	0.0362
900	485.4185	1.1964	0.9903	0.0418

* s.g kuru madde. g su⁻¹; ** g kuru madde. g su⁻¹

8.4.4 Mikrodalga çıkış gücünün ıspanak numunesinin Vitamin C kayıpları üzerindeki etkisi

Mikrodalga ile kurutma tekniği kullanılarak 25 g ıspanak numunesinin beş farklı mikrodalga çıkış gücünde, 180, 360, 540, 720 ve 900 W, belirli bir nem içeriğine kadar kurutulması sonucunda elde edilen kurutulmuş ürünler, bir gün süre ile desikatörde bekletilip soğutulduktan sonra, AOAC, (1990) tarafından belirlenen titrimetrik yöntem ile mg Vitamin C/100 g numune cinsinden hesaplanmıştır. Elde edilen değerler Çizelge 8.37’de sunulmuştur.

Çizelge 8.37 Farklı mikrodalga çıkış güçlerinde ıspanak numunesine ait Vitamin C değerlerinin değişimi (Numune ağırlığı= 25 g)

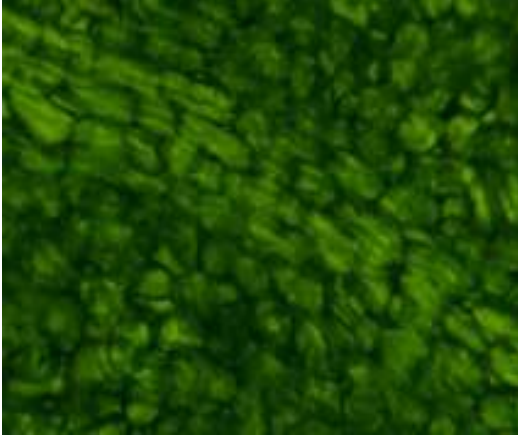
Mikrodalga çıkış gücü (W)	mg Vitamin C/100 g	% Kayıp*
180	45.67	8.93
360	42.23	15.80
540	40.90	25.00
720	35.78	28.65
900	30.45	39.10

*100 g ıspanaktaki Vitamin C miktarı 50.15 mg’dır.

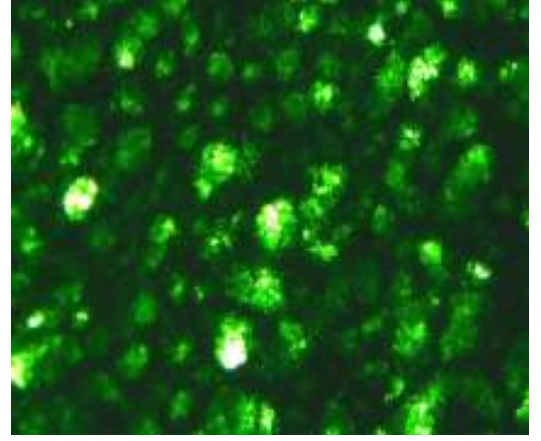
Bamya numunesinde de gözlemlendiği gibi, ıspanak numunesinin mikrodalga tekniği ile kurutulması sırasında, Vitamin C değerindeki düşüş mikrodalga çıkış gücü arttırıldıkça artmıştır. Bunun nedeni; ıspanak numunesinin kurutma süresince maruz kaldığı yüksek sıcaklıklar neticesinde Vitamin C’nin bozunması olarak gösterilebilir. Aynı zamanda kurutma işlemi boyunca gıdanın hava ile teması sonucu Vitamin C oksitlenerek başka maddelere dönüşmektedir (Khraisheh vd., 2004; Goula ve Adamopoulos, 2006). Bu da gıdanın maksimum mikrodalga çıkış gücü olan 900 W değerinde %39.10 değerinde Vitamin C kaybına neden olmaktadır.

8.4.5 Mikrodalga çıkış gücünün ıspanak numunesinin doku değişimleri üzerindeki etkisi

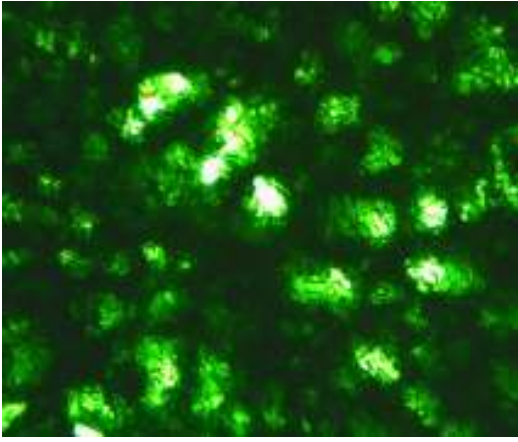
Mikrodalga ile kurutma tekniğinin 25 g ıspanak numunesinin beş farklı mikrodalga çıkış gücünde, 180, 360, 540, 720 ve 900 W, belirli bir nem içeriğine kadar kurutulması sonucunda elde edilen kurutulmuş ürünler, bir gün süre ile desikatörde bekletilip soğutulduktan sonra, Leica Trioküler Floresans ve Yansıma-Kontrast Mikroskobu ile 480 nm frekans boyunda ve 100 V ışık gücünde incelenerek doku değişimleri gözlemlenmiştir. Trioküler Floresans ve Yansıma-Kontrast Mikroskobu ile elde edilen görüntüler Şekil 8.39’da gösterilmiştir. Şekil 8.39 incelendiğinde; ıspanak numunelerinin yüzeylerinde oluşan gözeneklerin mikrodalga çıkış gücü arttıkça artmakta olduğu saptanmıştır. Bu durum; yüksek mikrodalga çıkış güçlerinde gıdanın içinde meydana gelen yüksek sıcaklıklar nedeniyle suyun buharlaşması ile oluşan su buharı basıncı artması ve bu basınç artışı ile gözeneklerin açılması ile açıklanabilir. Şekil 8.39’dan da anlaşılacağı gibi 180 W mikrodalga çıkış gücünde elde edilen gözenek sayısı 900 W mikrodalga çıkış gücünde elde edilen gözenek sayısından daha azdır.



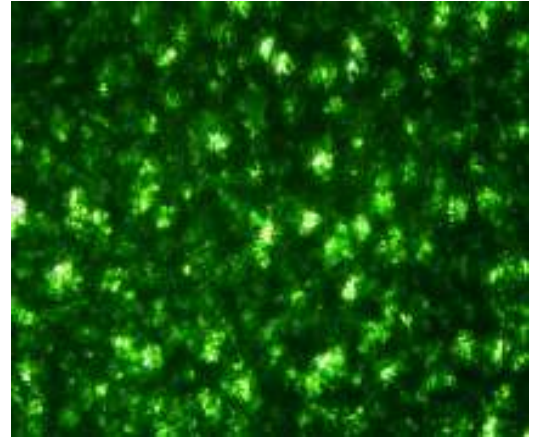
(a)



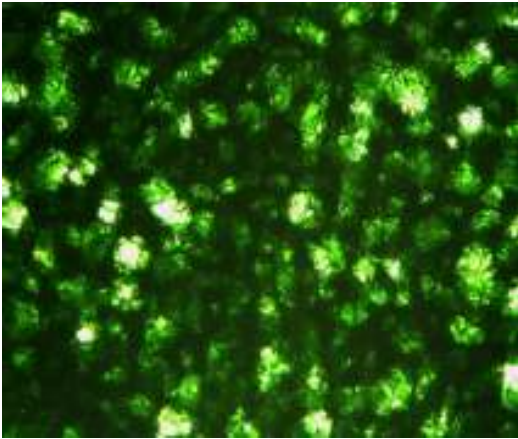
(b)



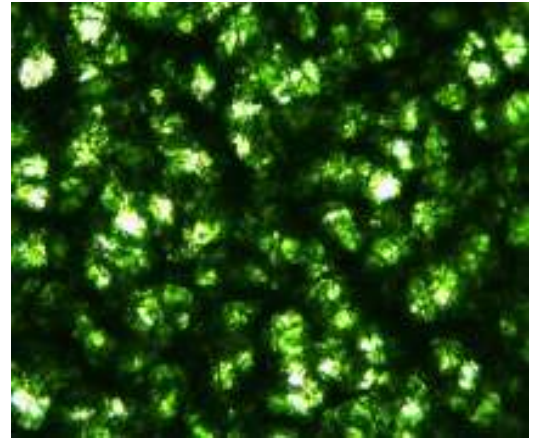
(c)



(d)



(e)



(f)

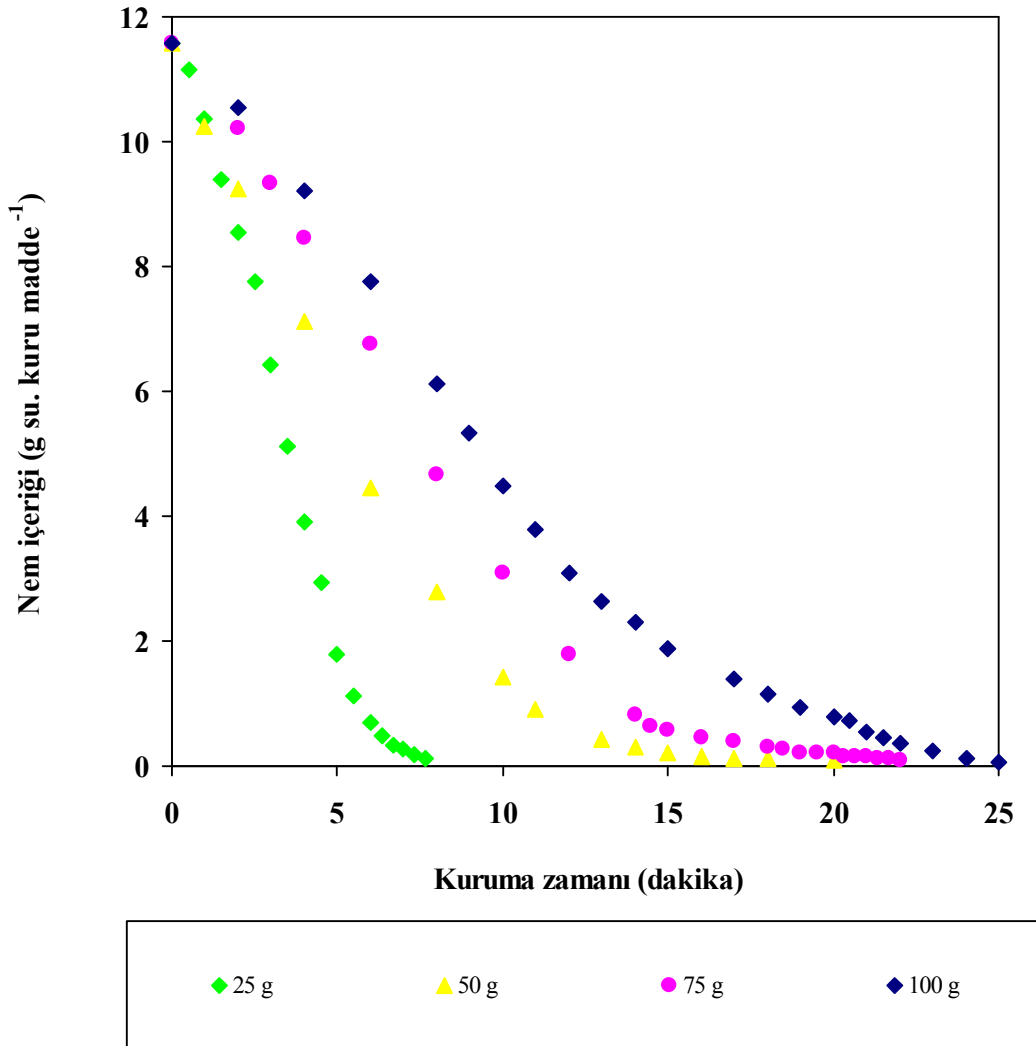
Şekil 8.39 Farklı mikrodalga çıkış güçlerinde ıspanak numunesinin Trioküler Floresans ve Yansıma-Kontrast Mikroskobu ile elde edilen görüntüleri (a) taze ıspanak, (b) 180 W, (c) 360 W, (d) 540 W, (e) 720 W, (f) 900 W (100 büyütme, 480 nm frekans boyu ve 100 V ışık gücü)

8.5 Sabit Mikrodalga Çıkış Gücünde Ispanak Numunesinin Ağırlığının Kuruma Üzerindeki Etkisi

8.5.1 Ispanak numunesinin ağırlığının kuruma kinetiği üzerindeki etkisi

8.5.1.1 Nem içeriği değişimi

Ispanak numunelerinin ortalama toplam nem içeriği $M_0=11.57$ g su. g kuru madde⁻¹ olarak hesaplanmıştır. Kurutulan numune ağırlığının nem içeriği değişimi üzerindeki etkisini incelemek için; 25, 50, 75 ve 100 g ağırlığındaki banya numuneleri 360 W sabit mikrodalga çıkış gücünde kurutularak nem içeriği değerleri Ek 10, Çizelge 10.1-10.5'te sırası ile verilmiş ve Şekil 8.40'da grafiksel olarak sunulmuştur.



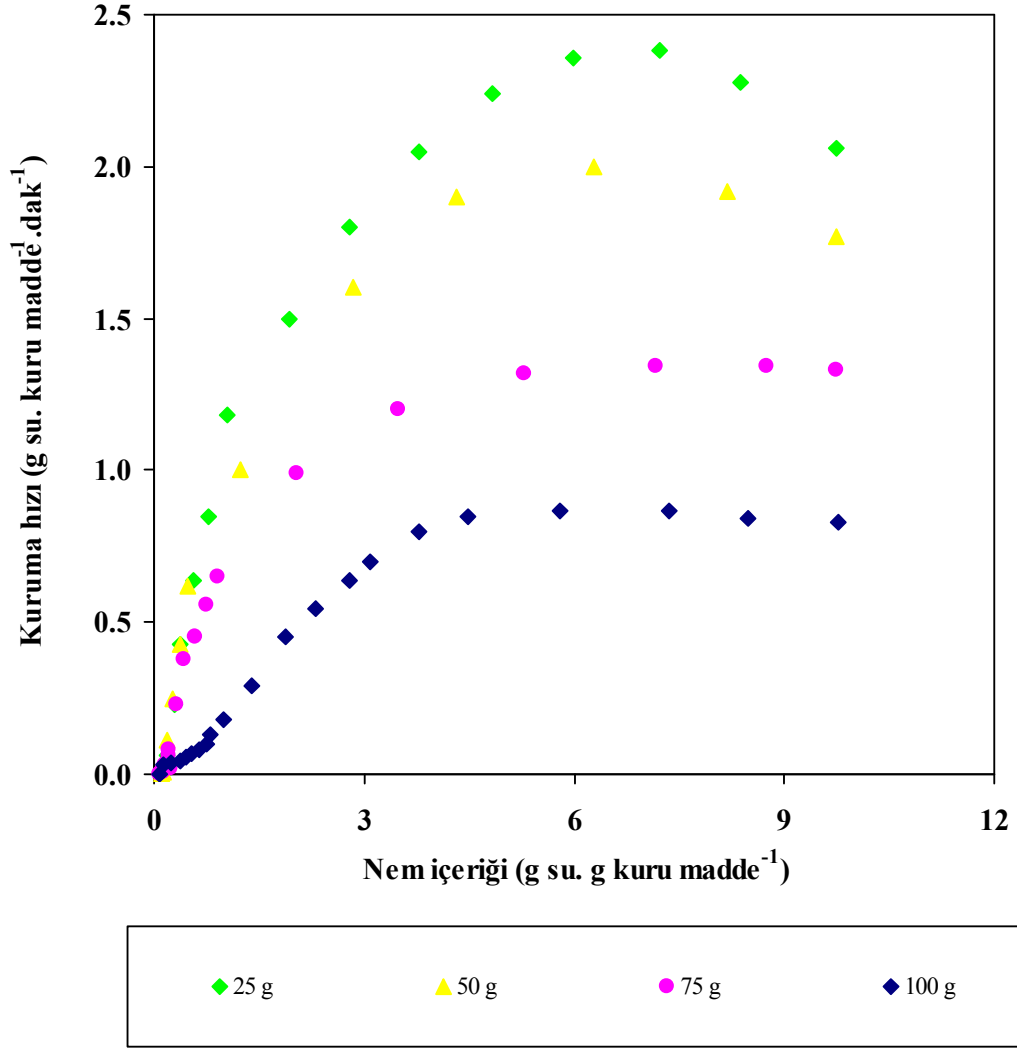
Şekil 8.40 Farklı numune ağırlıklarında kurutulan ıspanak numunesinin nem içeriğinin kuruma zamanı ile değişimi (Mikrodalga çıkış gücü= 360 W)

Yapılan çalışmalar neticesinde; kurutulan ıspanak numunesinin ağırlığı arttırıldığında kuruma sürelerinin de arttığı gözlemlenmiştir. Şekil 8.40 incelendiğinde; farklı ağırlıklardaki numunelerinin 360 W sabit mikrodalga çıkış gücünde kurutulması sırasında 100 g numunenin nem içeriği değerlerinin 11.57'den 0.1 g su. g kuru madde⁻¹ değerine düşmesi 25 dakika sürerken; 25 g numunenin 360 W sabit mikrodalga çıkış gücünde kurutulması sırasında 7.5 dakikada tamamlanmıştır. 100 g numune ağırlığı yerine 25 g numune ağırlığı kullanıldığında kuruma süresinin %70.01 azaldığı belirlenmiştir.

8.5.1.2 Kuruma hızı değişimi

Kurutulan numune ağırlığının kuruma hızı üzerindeki etkisini incelemek için; 25, 50, 75 ve 100 g ağırlığındaki ıspanak numuneleri 360 W sabit mikrodalga çıkış gücünde kurutulmuştur. Kurutulan ıspanak numunelerine ait kuruma hızları değerleri Şekil 8.41'de grafiksel olarak sunulmuştur.

Şekil 8.41 incelendiğinde, ıspanak numunesinin kurutulması sırasında kısa bir ısınma süresinin ardından, sabit hızda kuruma periyodu ve azalan hızda kuruma periyodu olmak üzere 2 farklı kuruma periyodu gözlemlenmiştir. Ispanak numunelerinin sabit hızda kuruma periyodunda ortalama kuruma hızları, kurutulan numune ağırlığı 100 gramdan 25 grama düşürüldüğünde, 0.86 değerinden 2.38 g su. g kuru madde⁻¹.dak⁻¹ değerine yükseldiği gözlemlenmiştir. Sabit hızda kuruma periyodunda; nem içeriği değerleri; 75 ve 100 g numune miktarlarında; 9.50 g su. g kuru madde⁻¹ değerinden 4.0 g su. g kuru madde⁻¹ değerine, 50 ve 25 g numune miktarlarında ise; 8.0 g su. g kuru madde⁻¹ değerinden 5.0 g su. g kuru madde⁻¹ değerine düştüğü görülmüştür. Sabit hızda kuruma periyodunu azalan hızda kuruma periyodu takip etmiştir.



Şekil 8.41 Farklı numune ağırlıklarında kurutulan ıspanak numunesine ait kuruma hızlarının nem içeriği ile değişimi (Mikrodalga çıkış gücü= 360 W)

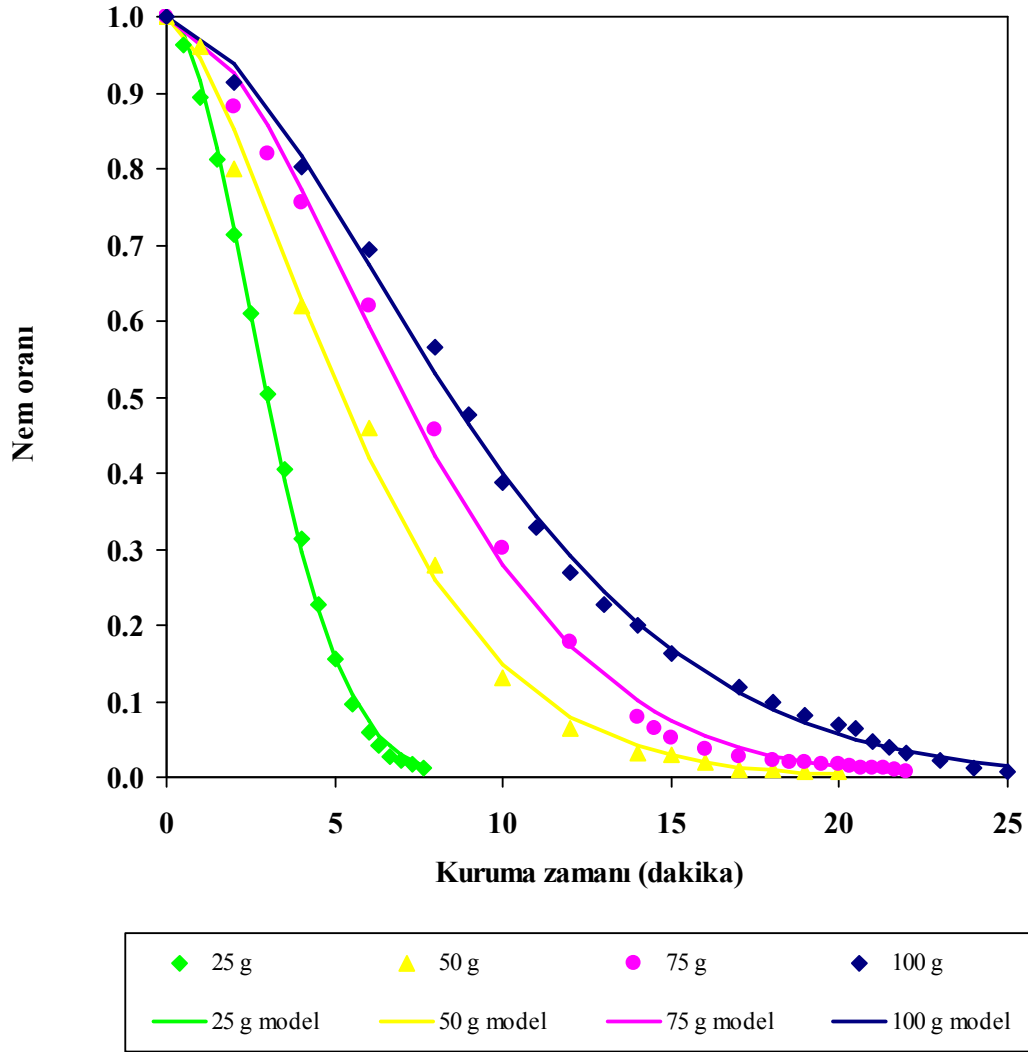
8.5.1.3 Kuruma kinetiğine ait model çalışmaları

Mikrodalga tekniği kullanılarak dört farklı ağırlıkta kurutulan, 25, 50, 75 ve 100 g, ıspanak numunesinin kurutulması sırasında elde edilen nem oranı değerlerinin kuruma zamanı ile değişimini içeren değerler dört ayrı ince tabaka kurutma modeli ile modellenmiştir. Matematiksel modeller ve istatistik veriler Çizelge 8.38'de sunulmuştur. Elde edilen verilerden, yüksek R^2 ve düşük standart sapma (δ) değerleri ile Page modelin ıspanak numunesinin kuruma kinetiğini açıklayan en iyi model olduğu saptanmıştır.

Çizelge 8.38 Farklı numune ağırlıklarında kurutulan ıspanak numunesinin kuruma hızlarının belirlenmesi sırasında kurulan matematiksel modeller ve istatistik veriler

Modeller	Numune (g)	R²	δ
Page Model	25	0.9995	0.0119
	50	0.9994	0.0119
	75	0.9983	0.0234
	100	0.9989	0.0148
Henderson ve Pabis Model	25	0.9690	0.0926
	50	0.9762	0.0862
	75	0.9749	0.0753
	100	0.9747	0.0666
Lewis Model	25	0.9549	0.1081
	50	0.9666	0.0983
	75	0.9651	0.0867
	100	0.9687	0.0765
Logaritmik Model	25	0.9923	0.0479
	50	0.9942	0.0466
	75	0.9897	0.0496
	100	0.9923	0.0400

Kurumanın gerçekleştiği her bir numune ağırlığında nem oranı değerlerinin kuruma zamanı ile değişimi için elde edilen deneysel değerler ile deneysel değerlere uyan Page modele ait teorik değerler ile karşılaştırılmasını içeren grafiksel gösterim Şekil 8.42’de, modele ait sabitler ve istatistik veriler ise Çizelge 8.39’da sunulmuştur. Çizelge 8.39 incelendiğinde; Page modele ait kinetik sabitin (k) değerinin kurutulan numune miktarı arttıkça 0.0880 dak⁻¹ değerinden 0.0202 dak⁻¹ değerine azaldığı gözlemlenmiştir. Bu durum; düşük numune ağırlıklarında, gıdanın içerisinde yüksek sıcaklıkların oluşmasından dolayı kurumanın daha kısa sürede gerçekleştiğini göstermektedir. Diğer yandan, Page modele ait bir katsayı olan n 1.83-1.89 değerleri arasında değişmiştir. Her bir numune ağırlığında elde edilen Page modele ait bir katsayı olan n değerleri birbirine oldukça yakın elde edildiğinden, bu değerlerin ortalamaları alınarak ortalama n değeri 1.85 olarak bulunmuştur. Bölüm 8.3.1.3’te elde edilen ortalama n değeri ile (1.86), bu bölümde elde edilen ortalama n değeri (1.85) karşılaştırıldığında; Bu iki değer hemen hemen aynı olduğu gözlemlenmiştir. Bu nedenle, bu iki değer ortalaması alınmıştır. Bundan sonraki çalışmalarda ıspanak numunesi için Page modele ait n değeri 1.855 olarak kullanılmıştır.



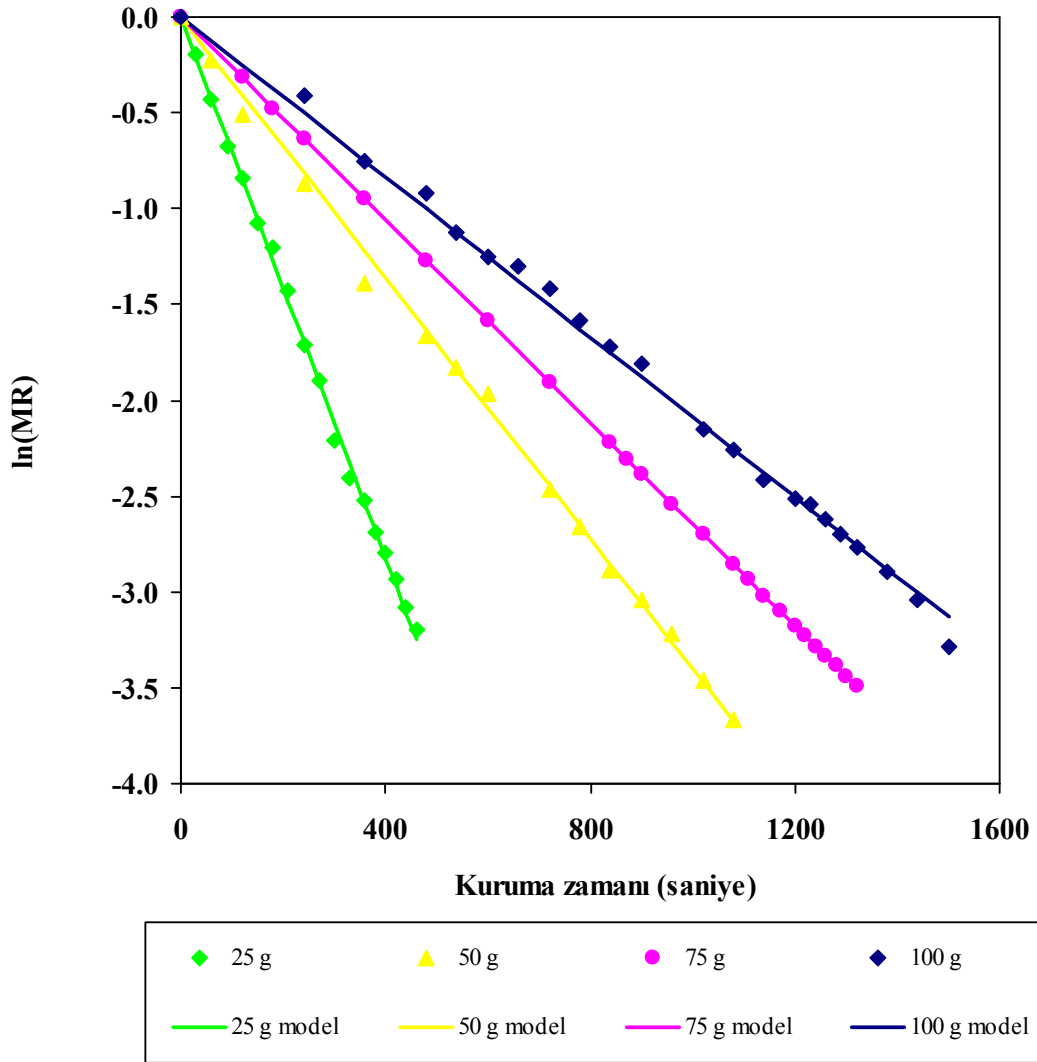
Şekil 8.42 Farklı numune ağırlıklarında kurutulan ıspanak numunesine ait nem oranı değerlerinin kuruma zamanı ile değişimi (Mikrodalga çıkış gücü= 360 W)

Çizelge 8.39 Farklı numune ağırlıklarında kurutulan ıspanak numunesine ait kuruma zamanlarına karşılık elde edilen deneysel verilere uyan Page model sabitleri ve istatistik veriler (Mikrodalga çıkış gücü= 360 W)

Numune (g)	k (dak ⁻¹)	n (birimsiz)	R ²	δ
25	0.0880	1.89	0.9995	0.0119
50	0.0436	1.83	0.9994	0.0119
75	0.0225	1.85	0.9983	0.0234
100	0.0202	1.86	0.9989	0.0148

8.5.1.4 Etkin difüzyon katsayılarının hesaplanması

Etkin difüzyon katsayısı, dilim kabulü yapılan ıspanak numunelerinin dört farklı, 25, 50, 75 ve 100 g, numune ağırlığında kurutulmaları sırasında meydana gelen kütle transferinin en büyük ölçütüdür ve Denklem 7.7'de verilen lineer denklemin eğimi yardımıyla hesaplanmıştır. Hesaplanan değerler ile kullanılan teorik değerlerin karşılaştırılmasını içeren grafiksel gösterim Şekil 8.43'te ve matematiksel model sabitleri ve istatistik değerler Çizelge 8.40'ta verilmiştir.



Şekil 8.43 Farklı numune ağırlıklarında kurutulmuş ıspanak numunesine ait $\ln(MR)$ değerlerinin kuruma zamanı ile değişimi (Mikrodalga çıkış gücü= 360 W)

Çizelge 8.40 Farklı numune ağırlıklarında kurutulan ıspanak numunesine ait hesaplanan etkin difüzyon katsayısının değişimi ve istatistik veriler (Mikrodalga çıkış gücü= 360 W)

Numune (g)	Eğim*10 ³	D _{eff} *10 ¹⁰ (m ² .s ⁻¹)	R ²	δ
25	10.105	2.57	0.9991	0.0441
50	7.921	1.98	0.9987	0.0596
75	3.806	0.97	0.9993	0.0410
100	3.012	0.76	0.9957	0.1265

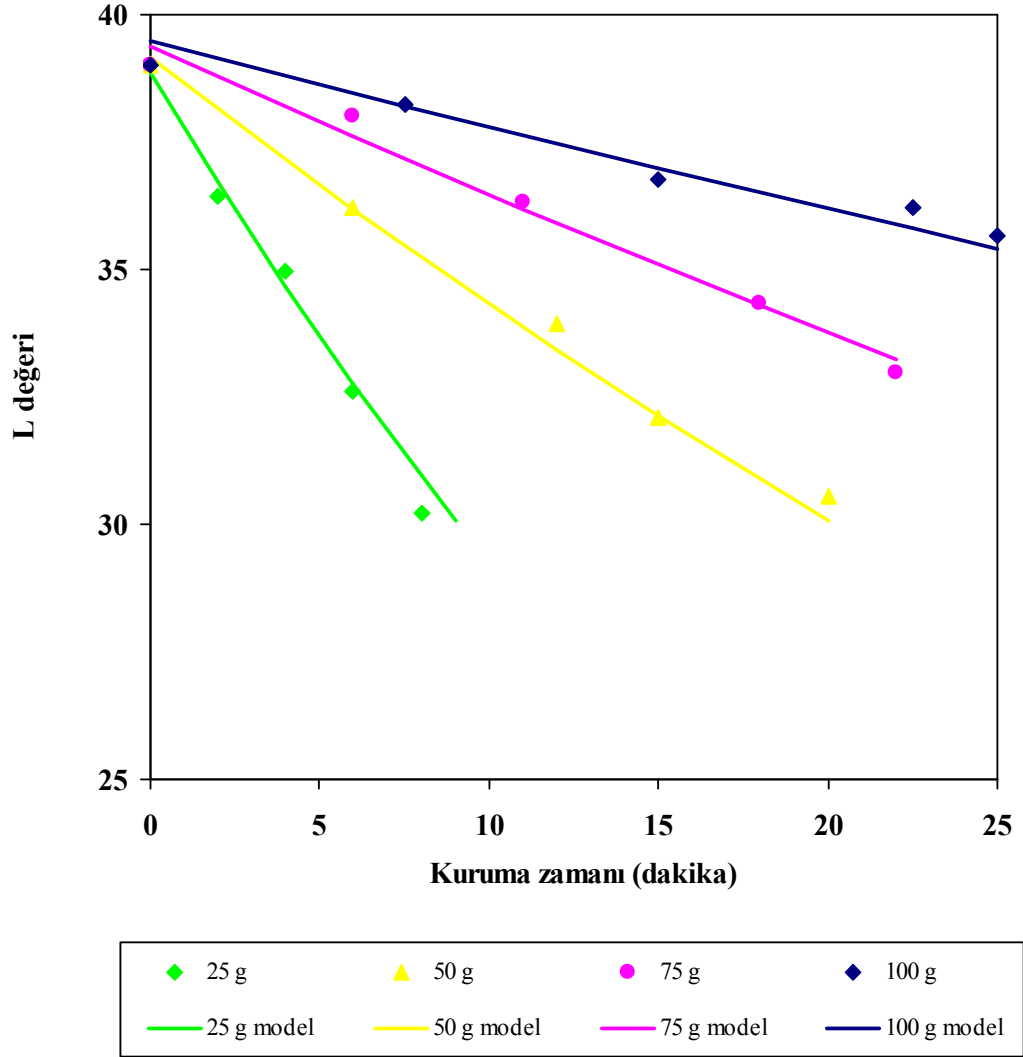
Çizelge 8.40'tan da görüldüğü gibi; numune ağırlığı arttırıldıkça etkin difüzyon katsayısı değerleri azalmaktadır. Bunun durum; daha düşük numune ağırlıklarında gıdanın içerisinde meydana gelen sıcaklıkların artması ile kütle transferinin de artış göstermesi olarak açıklanabilir.

8.5.2 Ispanak numunesinin ağırlığının renk değişimi üzerindeki etkisi

Mikrodalga ile kurutma tekniği kullanılarak ıspanak numunesinin zamana bağlı olarak renk değişimleri renk ölçüm cihazı belirlenmiştir. Elde edilen L, a, b ve toplam renk değişimi (ΔE) değerlerine ait deneysel veriler Ek 11, Çizelge 11.1-11.5'te sırası ile sunulmuştur. Yapılan modelleme çalışmaları sonucunda elde edilen L, b, Kroma (CV) ve Kahverengileşme İndeksi (BI) değerlerinin birinci dereceden kinetik modele (Denklem 7.19), diğer yandan a, toplam renk değişimi (ΔE) ve Renk Açısı (HA) değerlerinin ise sıfırıncı dereceden kinetik modele (Denklem 7.18) uygunluk gösterdiği görülmüştür. 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 8.44-50'de, matematiksel model sabitleri ve istatistik veriler Çizelge 8.41-47'de sırasıyla verilmiştir.

▪ L değeri değişimi

Kurutmanın gerçekleştirildiği her bir numune ağırlığında L değerinin kuruma zamanı ile Şekil 8.44'te, matematiksel model sabitleri ve istatistik veriler Çizelge 8.41'de verilmiştir. Şekil 8.44'te verildiği üzere, L değeri kuruma zamanı boyunca düşmüştür. Bu değişim gıdanın renginin koyulaşmaya başladığının bir göstergesidir. L değeri ıspanak numunesinin mikrodalga tekniği ile kurutulması sırasında numune ağırlığı 25 g iken; 39.02 değerinden 31.00 değerine; numune ağırlığı 100 g iken; 39.02 değerinden 35.67 değeri düşmüştür.



Şekil 8.44 Farklı numune ağırlıklarında kurutulan ıspanak numunesine ait L değerlerinin kuruma zamanı ile değişimi (Mikrodalga çıkış gücü= 360 W)

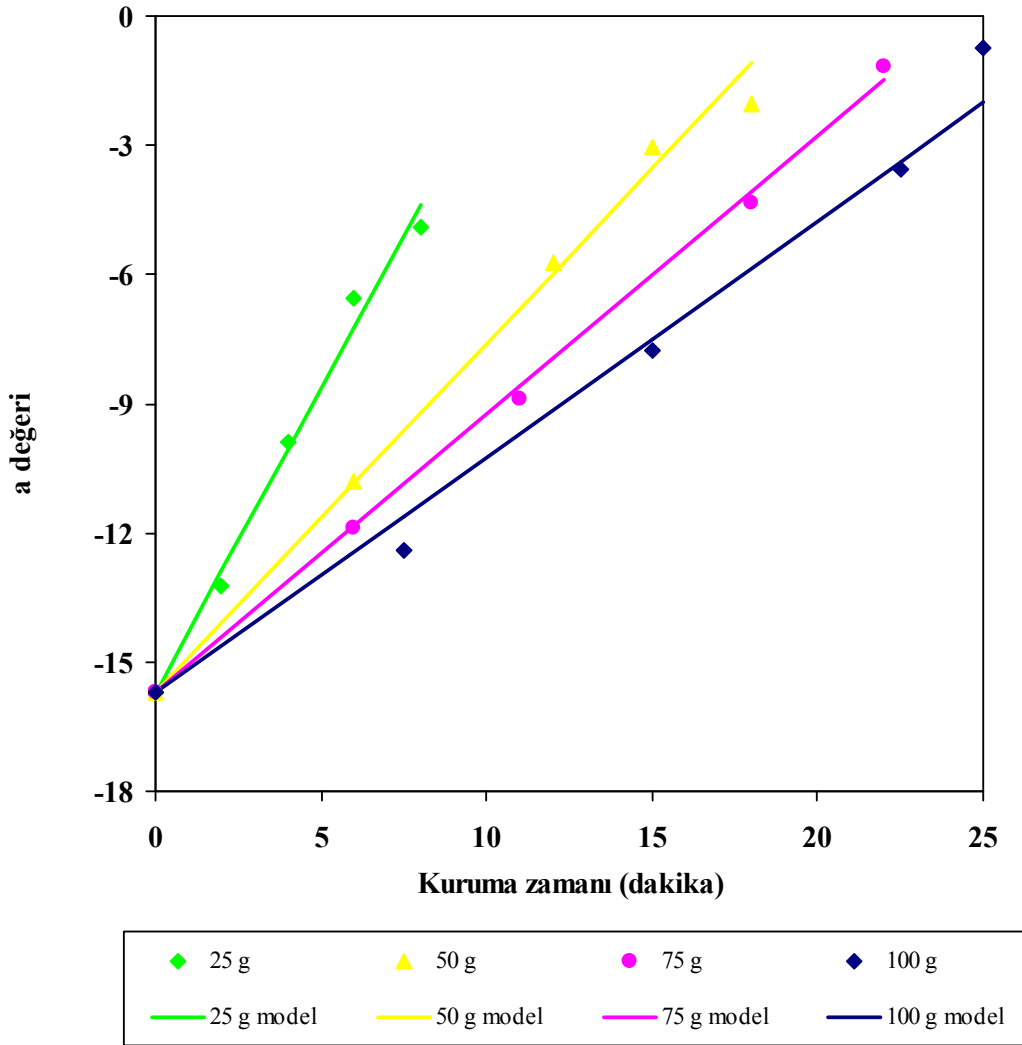
Çizelge 8.41 Farklı numune ağırlıklarında kurutulan ıspanak numunesine ait L değeri için birinci dereceden kinetik denklem kullanılarak elde edilen model sabitleri ve istatistik veriler (Mikrodalga çıkış gücü= 360 W)

Numune (g)	k (dak ⁻¹)	C ₀ (birimsiz)	R ²	δ
25	0.0285	38.8771	0.9974	0.2611
50	0.0131	39.1562	0.9952	0.3761
75	0.0076	39.3731	0.9915	0.3748
100	0.0043	39.4747	0.9899	0.2279

Yapılan matematiksel modelleme sonucunda; birinci dereceden kinetik denkleme ait hız sabiti (k); numune ağırlığı 25 g değerinden 100 g değerine arttırıldığında, 0.0285 dak^{-1} değerinden 0.0043 dak^{-1} değerine azalma göstermiştir. Bu sonuç; gıdanın daha düşük numune ağırlıklarında kurutulduğunda iç kısımlarında daha yüksek sıcaklıkların oluşması sonucunda bozunma reaksiyonlarının daha hızlı gerçekleştiğini göstermektedir (Maskan, 2001b).

▪ a değeri değişimi

Kurutmanın gerçekleştirildiği her bir numune ağırlığında a değerinin kuruma zamanı ile Şekil 8.45'te, matematiksel model sabitleri ve istatistik veriler Çizelge 8.42'de verilmiştir. Şekil 8.45'de verildiği üzere, a değeri kuruma zamanı boyunca yükselmiştir. a değeri numune ağırlığı 25 g iken; -15.72 değerinden -4.88 değerine; numune ağırlığı 100 g iken; -15.72 değerinden -0.75 değerine yükselmiştir.



Şekil 8.45 Farklı numune ağırlıklarında kurutululan ıspanak numunesine ait a değerlerinin kuruma zamanı ile değişimi (Mikrodalga çıkış gücü= 360 W)

Çizelge 8.42 Farklı numune ağırlıklarında kurutulan ıspanak numunesine ait a değeri için sıfırıncı dereceden kinetik denklem kullanılarak elde edilen model sabitleri ve istatistik veriler (Mikrodalga çıkış gücü= 360 W)

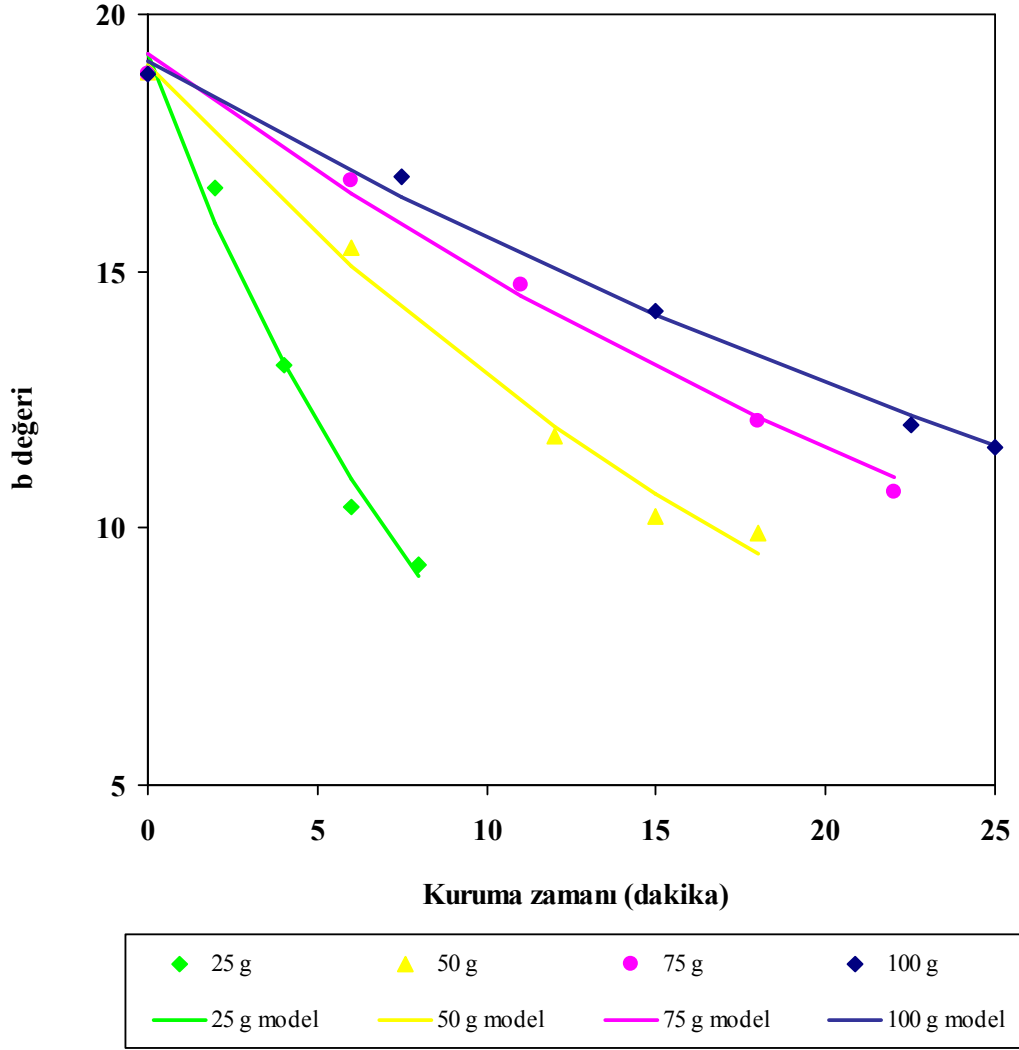
Numune (g)	k (dak ⁻¹)	C ₀ (birimsiz)	R ²	δ
25	1.4175	-15.7300	0.9849	0.5220
50	0.6832	-15.7774	0.9937	0.6401
75	0.6469	-15.7221	0.9978	0.3748
100	0.5484	-15.7211	0.9955	0.5484

Yapılan matematiksel modelleme sonucunda; sıfırıncı dereceden kinetik denkleme ait hız sabiti (k); kurutulan numune ağırlığı 25 g değerinden 100 g değerine arttırıldığında; gıdanın içinde meydana gelen ve yüksek sıcaklıkta oluşan kahverengi pigmentlerin oluşmasının azalması neticesinde 1.4175 dak⁻¹ değerinden 0.5484 dak⁻¹ değerine düşmüştür.

▪ b değeri değişimi

Kurutmanın gerçekleştirildiği her bir numune ağırlığında b değerinin kuruma zamanı ile Şekil 8.46'da, matematiksel model sabitleri ve istatistik veriler Çizelge 8.43'de verilmiştir. Şekil 8.46 incelendiğinde; b değerinin kuruma zamanı boyunca düştüğü gözlenmiştir. b değeri kurutulan numune ağırlığı 25 g iken; 18.89 değerinden 9.28 değerine; kurutulan numune ağırlığı 100 g iken; 18.89 değerinden 11.56 değerine düşmüştür.

Yapılan matematiksel modelleme sonucunda; birinci dereceden kinetik denkleme ait hız sabiti (k); kurutulan numune ağırlığı 25 g değerinden 100 g değerine arttırıldığında, 0.0939 dak⁻¹ değerinden 0.0199 dak⁻¹ değerine düşme göstermiştir. Bu sonuç kurutulan numune miktarı azaltıldığında; gıdanın içinde meydana gelen yüksek sıcaklık neticesinde klorofil ve karoten pigmentlerinin bozunma reaksiyonlarının daha hızlı gerçekleştiğini göstermektedir (Palou, 1999; Weemaes, 1999).



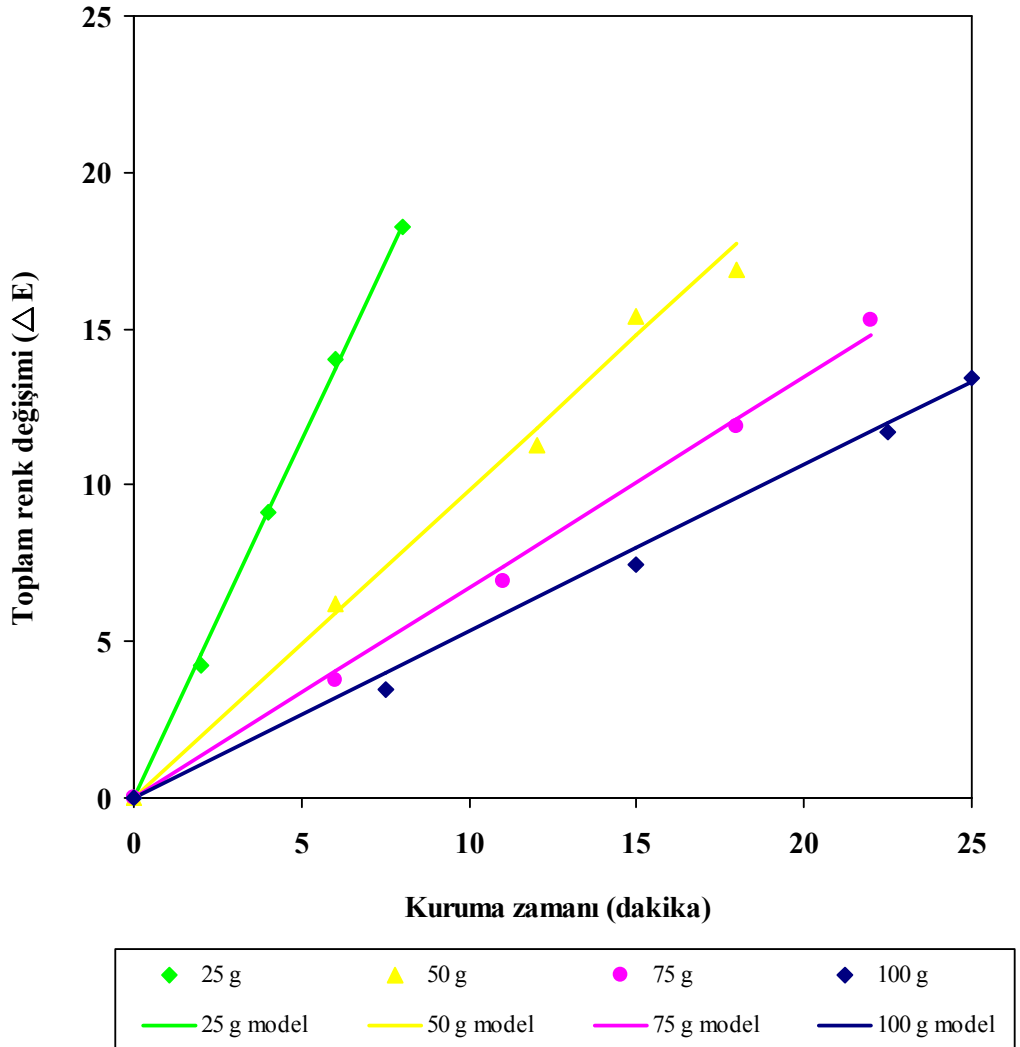
Şekil 8.46 Farklı numune ağırlıklarında kurutulan ıspanak numunesine ait b değerlerinin kuruma zamanı ile değişimi (Mikrodalga çıkış gücü= 360 W)

Çizelge 8.43 Farklı numune ağırlıklarında kurutulan ıspanak numunesine ait b değeri için birinci dereceden kinetik denklem kullanılarak elde edilen model sabitleri ve istatistik veriler (Mikrodalga çıkış gücü= 360 W)

Numune (g)	k (dak ⁻¹)	C ₀ (birimsiz)	R ²	δ
25	0.0939	19.2336	0.9928	0.5606
50	0.0384	19.0018	0.9956	0.4150
75	0.0254	19.2257	0.9934	0.5647
100	0.0199	19.0916	0.9953	0.5297

▪ **Toplam renk değişimi (ΔE)**

Toplam renk değişimi (ΔE) Denklem 7.8 kullanılarak elde edilmiştir. Toplam renk değişimi (ΔE) değerinin kuruma zamanı ile değişimi Şekil 8.47’de, matematiksel model sabitleri ve istatistik veriler Çizelge 8.44’te sunulmuştur. Toplam renk değişimi (ΔE) değerleri ıspanak numunesi için kurutulan numune ağırlığı 25 g iken; 18.23 değerine ulaşmışken, kurutulan numune ağırlığı 100 g iken; 13.45 değerine ulaşmıştır. Bu sonuçlardan da anlaşılabileceği üzere; kurutulan numune ağırlığı azaltıldığında ıspanak numunelerinin renklerinin daha çok değişmektedir. Yapılan matematiksel modelleme sonucunda; sıfırncı dereceden kinetik denkleme ait hız sabiti (k); kurutulan numune ağırlığı 25 g değerinden 100 g değerine arttırıldığında, 2.2903 dak⁻¹ değerinden 0.5326 dak⁻¹ değerine azalmıştır.



Şekil 8.47 Farklı numune ağırlıklarında kurutulan ıspanak numunesine ait toplam renk değişimi (ΔE) değerlerinin kuruma zamanı ile değişimi (Mikrodalga ıkış gc= 360 W)

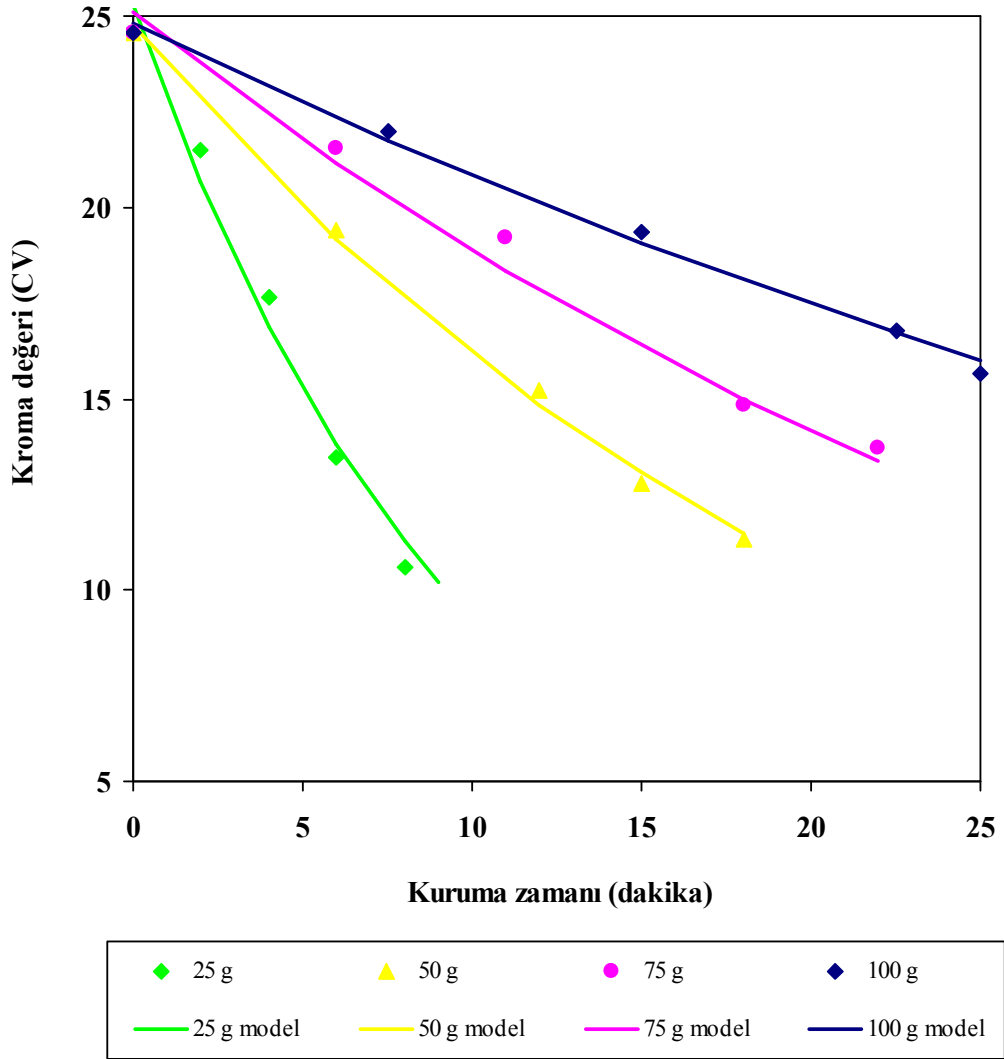
Çizelge 8.44 Farklı numune ağırlıklarında kurutulan ıspanak numunesine ait toplam renk değişimi (ΔE) değeri için sıfırıncı dereceden kinetik denklem kullanılarak elde edilen model sabitleri ve istatistik veriler (Mikrodalga çıkış gücü= 360 W)

Numune (g)	k (dak ⁻¹)	R ²	δ
25	2.2903	0.9995	0.2281
50	0.9851	0.9980	0.5110
75	0.6717	0.9970	0.3829
100	0.5326	0.9971	0.3439

▪ Kroma (CV) değeri değişimi

Denklem 7.9 kullanılarak elde edilen Kroma (CV) değerlerinin kuruma zamanı ile değişimleri Şekil 8.48’de, matematiksel model sabitleri ve istatistik veriler Çizelge 8.45’te verilmiştir. Şekil 8.48 incelendiğinde; Kroma (CV) değerinin kuruma zamanı boyunca düşme gösterdiği saptanmıştır. Kroma (CV) değeri numune ağırlığı 25 g iken; 24.57 değerinden 10.61 değerine; numune ağırlığı 100 g iken; 24.57 değerinden 15.67 değerine düşmüştür.

Yapılan matematiksel modelleme sonucunda; birinci dereceden kinetik denkleme ait hız sabiti (k); numune ağırlığı 25 g değerinden 100 g değerine arttırıldığında, 0.1204 dak⁻¹ değerinden 0.0175 dak⁻¹ değerine azalmıştır.



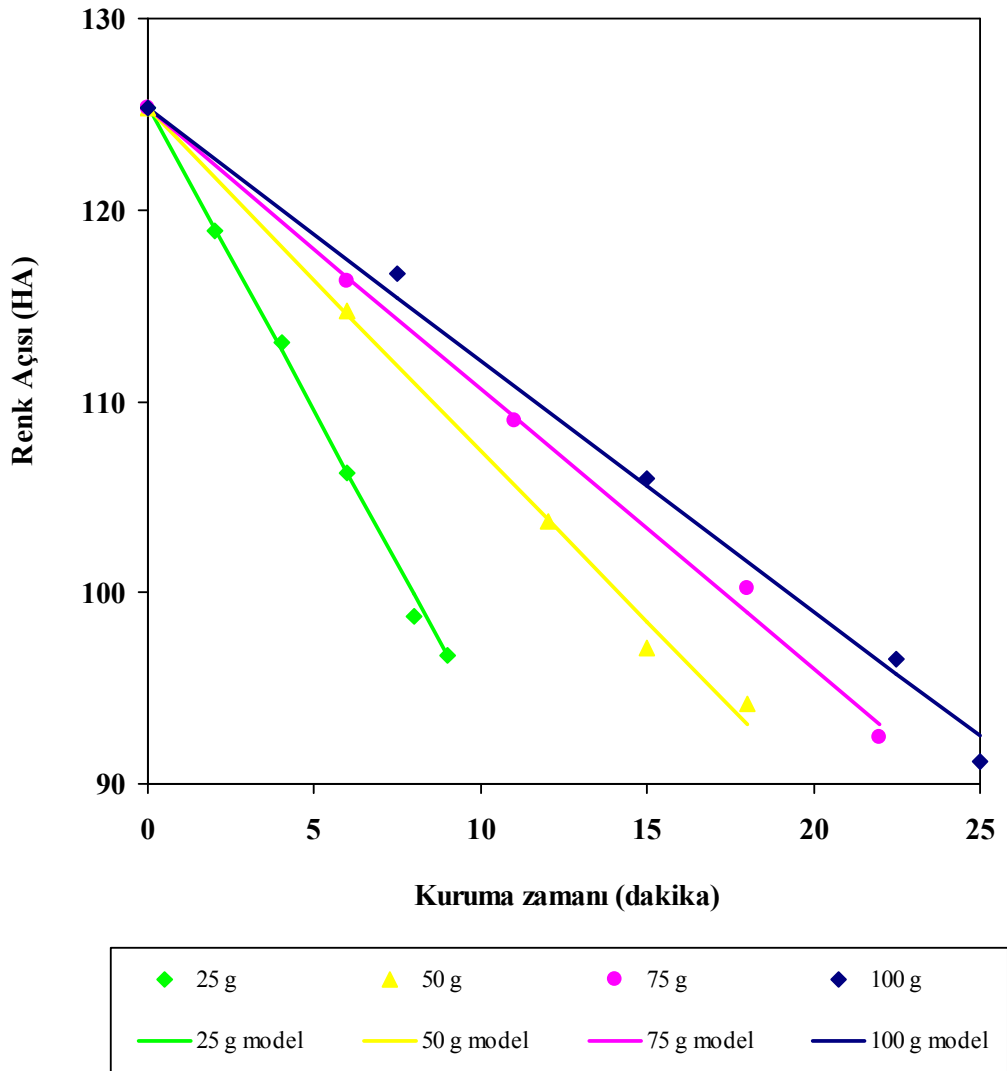
Şekil 8.48 Farklı numune ağırlıklarında kurutulan ıspanak numunesine ait Kroma (CV) değerlerinin kuruma zamanı ile değişimi (Mikrodalga çıkış gücü= 360 W)

Çizelge 8.45 Farklı numune ağırlıklarında kurutulan ıspanak numunesine ait Kroma (CV) değeri için birinci dereceden kinetik denklem kullanılarak elde edilen model sabitleri ve istatistik veriler (Mikrodalga çıkış gücü= 360 W)

Numune (g)	k (dak ⁻¹)	C ₀ (birimsiz)	R ²	δ
25	0.1204	25.0330	0.9954	0.6812
50	0.0426	24.7407	0.9985	0.3315
75	0.0286	25.1200	0.9909	0.7468
100	0.0175	24.8085	0.9971	0.3183

▪ Renk Açısı (HA) değişimi

Denklem 7.10 kullanılarak elde edilen Renk Açısı (HA) değerlerinin kuruma zamanı ile değişimleri Şekil 8.49'da, matematiksel model sabitleri ve istatistik veriler Çizelge 8.46'da verilmiştir. Şekil 8.49 incelendiğinde; Renk Açısı değerlerinin (HA) kuruma zamanı boyunca düşme gösterdiği saptanmıştır. Ispanak numunesinin Renk Açısı (HA) değerleri kurutulması sırasında numune ağırlığı 25 g iken; 125.28 değerinden 96.71 değerine; numune ağırlığı 100 g iken; 125.28 değerinden 91.19 değerine düşmüştür. Bu da ıspanak numunesinin mikrodalga tekniği ile kurutulması sırasında rengini koruduğunun (Renk Açısı > 90°C) ifadesidir.



Şekil 8.49 Farklı numune ağırlıklarında kurutulan ıspanak numunesine ait Renk Açısı (HA) değerlerinin kuruma zamanı ile değişimi (Mikrodalga çıkış gücü= 360 W)

Çizelge 8.46 Farklı numune ağırlıklarında kurutulmuş ıspanak numunesine ait Renk Açısı (HA) değeri için sıfırıncı dereceden kinetik denklem kullanılarak elde edilen model sabitleri ve istatistik veriler (Mikrodalga çıkış gücü= 360 W)

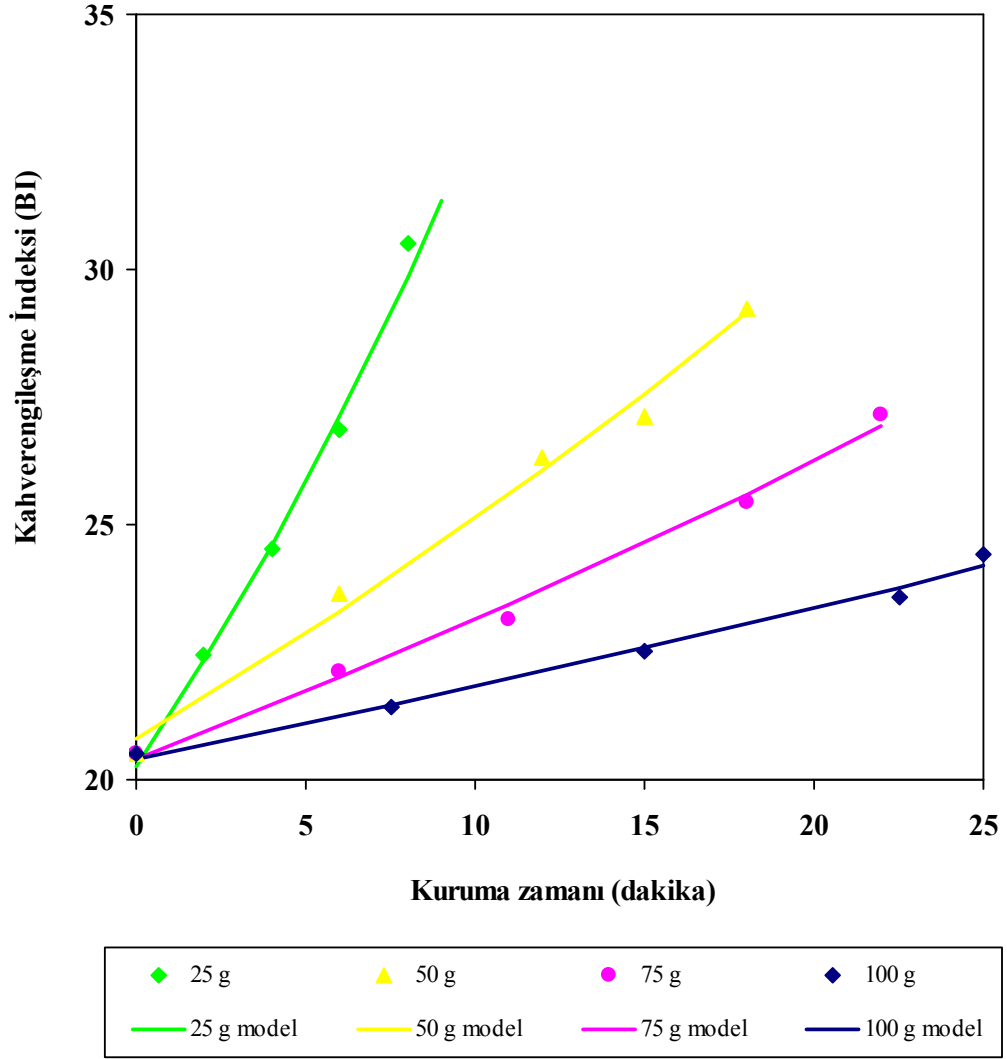
Numune (g)	k (dak ⁻¹)	C ₀ (birimsiz)	R ²	δ
25	3.1875	125.4020	0.9997	0.2747
50	1.7256	126.9597	0.9958	0.3315
75	1.4625	125.2811	0.9976	0.7468
100	1.3111	125.2800	0.9974	0.3183

Yapılan matematiksel modelleme sonucunda; sıfırıncı dereceden kinetik denkleme ait hız sabiti (k); numune ağırlığı 25 g değerinden 100 g arttırıldığında, 3.1875 dak⁻¹ değerinden 1.3111 dak⁻¹ değerine düşmektedir. Bunun nedeni; uygulanan düşük numune ağırlıklarında gıdanın içerisinde oluşan yüksek sıcaklıklar renk değişimine neden olan bozunma reaksiyonlarını hızlandırmakta ve rengin daha hızlı ve daha fazla değişmesine neden olmaktadır.

▪ Kahverengileşme İndeksi (BI) değişimi

Denklem 7.11 kullanılarak elde edilen Kahverengileşme İndeksi (BI) değerlerinin kuruma zamanı ile değişimleri Şekil 8.50'de, matematiksel model sabitleri ve istatistik veriler Çizelge 8.47'de verilmiştir. Şekil 8.50 incelendiğinde; Kahverengileşme İndeksi (BI) değerlerinin kuruma zamanı boyunca arttığı görülmüştür. Kahverengileşme İndeksi (BI) numune ağırlığı 25 g iken; 20.50 değerinden 29.86 değerine; numune ağırlığı 100 g iken; 20.50 değerinden 52.34 değerine artmıştır.

Yapılan matematiksel modelleme sonucunda; birinci dereceden kinetik denkleme ait hız sabiti (k); numune ağırlığı 25 g değerinden 100 g değerine arttırıldığında, 0.0485 dak⁻¹ değerinden 0.0067 dak⁻¹ değerine azalmıştır.



Şekil 8.50 Farklı numune ağırlıklarında kurutulan ıspanak numunesine ait Kahverengileşme İndeksi (BI) değerlerinin kuruma zamanı ile değişimi (Mikrodalga çıkış gücü= 360 W)

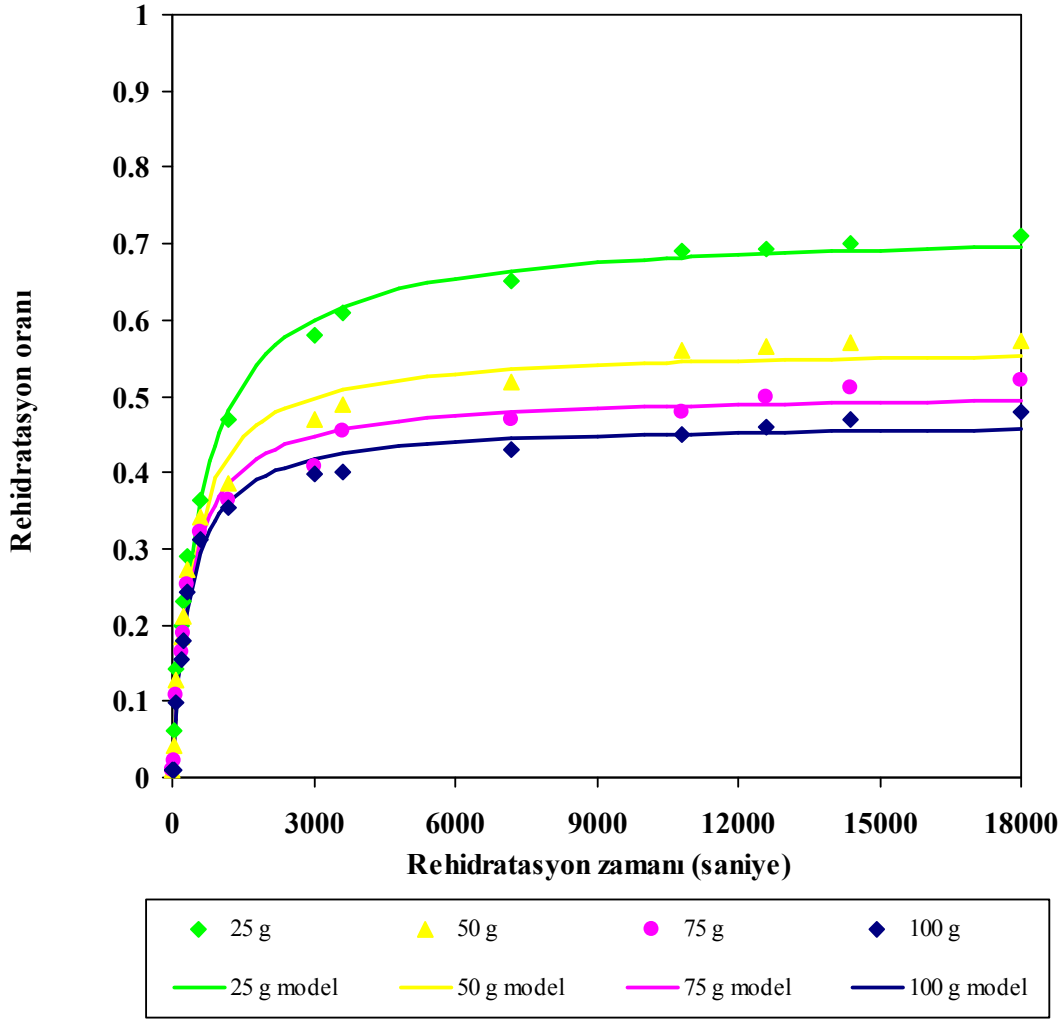
Çizelge 8.47 Farklı numune ağırlıklarında kurutulan ıspanak numunesine ait Kahverengileşme İndeksi (BI) değeri için birinci dereceden kinetik denklem kullanılarak elde edilen model sabitleri ve istatistik veriler (Mikrodalga çıkış gücü= 360 W)

Numune (g)	k (dak ⁻¹)	C ₀ (birimsiz)	R ²	δ
25	0.0485	20.2603	0.9988	0.2094
50	0.0187	20.7918	0.9943	0.4128
75	0.0126	20.3957	0.9968	0.2410
100	0.0067	20.4034	0.9940	0.1997

8.5.3 Ispanak numunesinin ağırlığının rehidratasyon oranı üzerindeki etkisi

Mikrodalga ile kurutma tekniği kullanılarak ıspanak numunesinin 360 W sabit mikrodalga çıkış gücünde, dört farklı numune ağırlığında, 25, 50, 75 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 çıkarılmıştır. Numunelerin yüzeyinde bulunan su fazlası bir peçete yardımı ile uzaklaştırılarak tartım işlemleri yapılmıştır. Elde edilen tartım değerleri ile rehidratasyon oranı hesaplanmış ve Ek 12, Çizelge 12.1-12.5'te sırası ile sunulmuştur. Yapılan modelleme çalışmaları sonucunda; Peleg modelin (Denklem 7.20) yüksek R^2 ve düşük δ değerleri ile deneysel verilere uygunluk gösterdiği saptanmıştır.

Rehidratasyon oranlarının rehidratasyon zamanı ile değişiminin grafiksel gösterimi Şekil 8.51'de, matematiksel model sabitleri ve istatistik veriler Çizelge 8.48'de verilmiştir. Şekil 8.51 incelendiğinde, 30°C sıcaklıkta uygulanan rehidratasyon işleminde belirli zaman aralıklarında yapılan ölçümlerden anlaşılabilirdiği gibi; kurutulan numune miktarı azaltıldıkça elde edilen kuru ürünün kurutulmadan evvel içermiş olduğu su miktarın ancak en fazla %71'ini geri absorplayabildiği saptanmıştır. Bu da kurutulan numunelerin kurutma ve rehidratasyon aşamasında yapılarında bazı değişikliklerin ya da doku farklılıklarının oluştuğunun bir göstergesidir (Krokida ve Philippopoulos, 2005).



Şekil 8.51 Farklı numune ağırlıklarında kurutulmuş ıspanak numunesine ait rehidratasyon oranı değerlerinin rehidratasyon zamanı ile değişimi (Mikrodalga çıkış gücü= 360 W, rehidratasyon sıcaklığı= 30°C)

Çizelge 8.48 Farklı numune ağırlıklarında kurutulmuş ıspanak numunesine ait rehidratasyon oranı değeri için Peleg model kullanılarak elde edilen model sabitleri ve istatistik veriler (Mikrodalga çıkış gücü= 360 W, rehidratasyon sıcaklığı= 30°C)

Numune (g)	k_1^*	k_2^{**}	R^2	δ
25	723.3138	1.4090	0.9879	0.0412
50	843.4174	1.8011	0.9933	0.0240
75	869.0123	2.0207	0.9935	0.0213
100	894.6505	2.1933	0.9938	0.020

* s.g kuru madde. g su⁻¹; ** g kuru madde. g su⁻¹

8.5.4 Ispanak numunesinin ağırlığının Vitamin C kayıpları üzerindeki etkisi

Mikrodalga ile kurutma tekniği kullanılarak ıspanak numunesinin dört farklı numune ağırlığında 360 W sabit mikrodalga çıkış gücünde belirli bir nem içeriğine kadar kurutulması sonucunda elde edilen kurutulmuş ürünler, bir gün süre ile desikatörde bekletilip soğutulduktan sonra, AOAC, (1990) tarafından belirlenen titrimetrik yöntem ile mg Vitamin C/100 g numune cinsinden hesaplanmıştır. Elde edilen değerler Çizelge 8.49’da sunulmuştur.

Çizelge 8.49’da görüldüğü gibi Vitamin C değerindeki düşüş numune ağırlığı azaldıkça artmıştır. Bunun nedeni; ıspanak numunesinin kurutma süresince maruz kaldığı yüksek sıcaklıklar neticesinde Vitamin C’nin bozunması olarak gösterilebilir. Aynı zamanda kurutma işlemi boyunca gıdanın hava ile teması sonucu Vitamin C oksitlenerek başka maddelere dönüşmektedir (Khraisheh vd., 2004; Goula ve Adamopoulos, 2006). Bu da gıdanın minimum numune ağırlığı olan 25 g değerinde %15.80 değerinde Vitamin C kaybına neden olmaktadır.

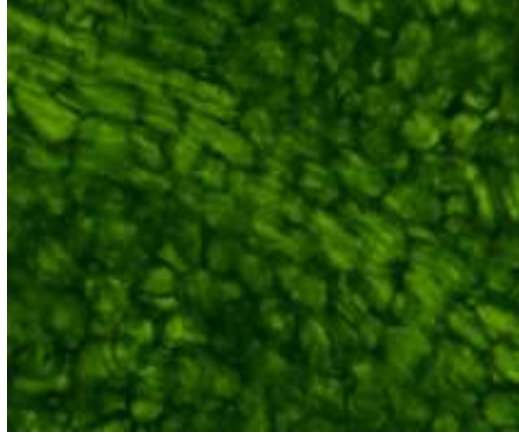
Çizelge 8.49 Farklı numune ağırlıklarında kurutulan ıspanak numunesine ait Vitamin C değerlerinin değişimi (Mikrodalga çıkış gücü= 360 W)

Numune (g)	mg Vitamin C/100 g	% Kayıp*
25	42.23	15.80
50	45.67	8.93
75	46.05	8.17
100	47.13	6.02

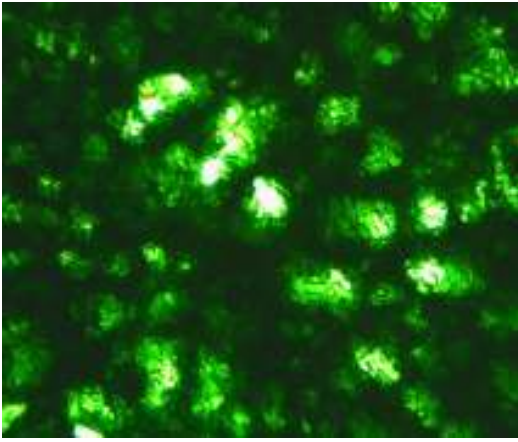
*100 g ıspanaktaki Vitamin C miktarı 50.15 mg’dır.

8.5.5 Ispanak numunesinin ağırlığının doku değişimleri üzerindeki etkisi

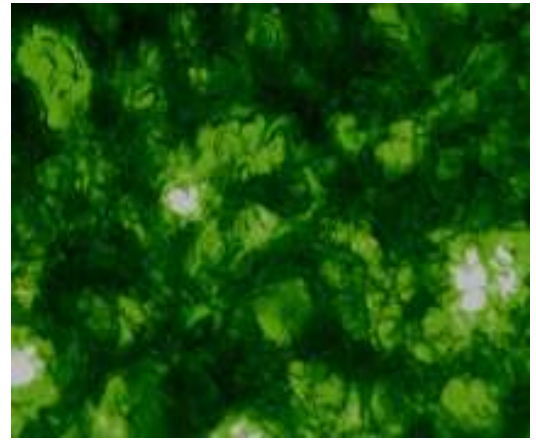
Mikrodalga ile kurutma tekniğinin ıspanak numunesinin 360 W sabit mikrodalga çıkış gücünde ve dört farklı numune ağırlığında, 25, 50, 75 ve 100 g, belirli bir nem içeriğine kadar kurutulması sonucunda elde edilen kurutulmuş ürünler, bir gün süre ile desikatörde bekletilip soğutulduktan sonra, Leica Trioküler Floresans ve Yansıma-Kontrast Mikroskobu ile 480 nm frekans boyunda ve 100 V ışık gücünde incelenerek doku değişimleri gözlemlenmiştir (Şekil 8.52). Şekil 8.52 incelendiğinde; ıspanak numunelerinin yüzeylerinde oluşan gözeneklerin kurutulan numune ağırlığı arttıkça azaldığı saptanmıştır. Bunun nedeni düşük numune ağırlıklarında gıdanın içinde meydana gelen yüksek sıcaklıklar nedeniyle suyun buharlaşması ile oluşan su buharı basıncı artmakta ve bu basınç artışı gözeneklerin daha çok açılmasını sağlamaktadır.



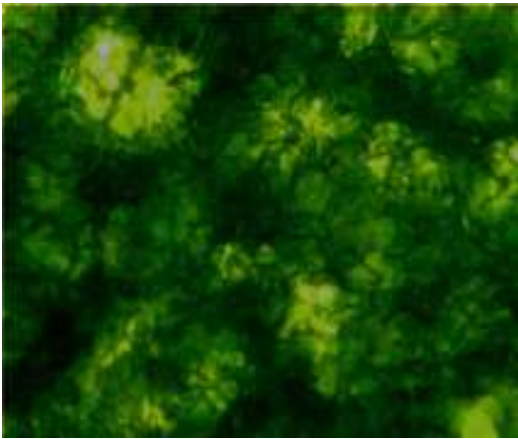
(a)



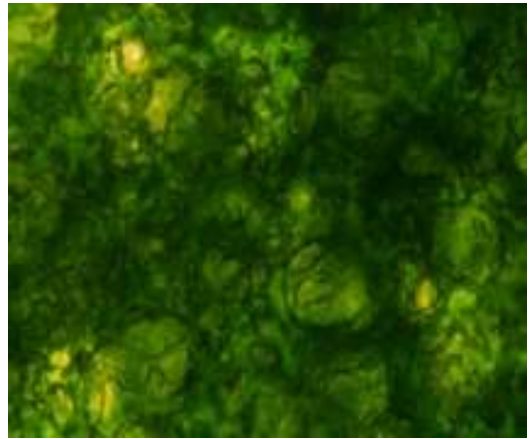
(b)



(c)



(d)



(e)

Şekil 8.52 Farklı numune ağırlıklarında kurutulan ıspanak numunesinin Trioküler Floresans ve Yansıma-Kontrast Mikroskobu ile elde edilen görüntüleri (a) taze ıspanak, (b) 25 g, (c) 50 g, (d) 75 g, (e) 100 g (100 büyütme, 480 nm frekans boyu ve 100 V ışık gücü)

8.6 Ispanak Numunesine Ait Aktivasyon Enerjilerinin Hesaplanması

8.6.1 Kuruma kinetiğine ait aktivasyon enerjisinin hesaplanması

Ispanak numunesinin kuruma kinetiğine ait aktivasyon enerjisinin hesaplanması için (Denklemler 7.21) kullanılmıştır (Dadali vd., 2007b). Page model kinetik sabiti k (dak^{-1}) değerleri kullanılarak, $\ln(k)$ değerlerine karşılık m/P değerlerinin çizilmesi ile elde edilen eksponansiyel eğrinin eğiminden aktivasyon enerjisi değeri 10.84 (W.g^{-1}), pre-eksponansiyel sabit ise 0.4609 dak^{-1} olarak bulunmuştur ($R^2 = 0.9891$, standart sapma (δ) = 0.0205).

Bu çalışmanın yararı ise, elde edilen aktivasyon enerjisi değeri kullanılarak herhangi bir mikrodalga çıkış gücü ve numune ağırlığı için kuruma kinetiği sabiti olan k değeri hesaplanabilir. Page modelinde bu değer ve n değeri (1.855) yerine konularak herhangi bir t anı için nem oranı değerleri hesaplanabilir.

8.6.2 Renk değişimi kinetiğine ait aktivasyon enerjisinin hesaplanması

Ispanak numunesinin renk değişimi kinetiğine ait aktivasyon enerjisi Denklem 7.21 kullanılarak hesaplanmıştır (Dadali vd., 2007c). 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 elde edilen eksponansiyel eğrinin eğiminden aktivasyon enerji değerleri bulunmuştur (Çizelge 8.50).

Çizelge 8.50 Ispanak numunesinin her bir renk indisi değişimi için hesaplanan aktivasyon enerjisi değerleri

Renk İndisi	k_0 (dak^{-1})	E_a (W.g^{-1})	R^2	δ
L	0.3632	39.42	0.9880	0.0077
a	4.0567	13.80	0.9816	0.2218
B	0.7141	31.15	0.9827	0.0230
ΔE	16.9475	32.34	0.9818	0.5536
CV	0.6381	36.72	0.9827	0.0242
HA	11.5540	17.62	0.9855	0.5224
BI	0.4850	37.24	0.9836	0.0130

Çizelge 8.50'de görüldüğü gibi; Arrhenius denklemi temel alınarak türetilen eksponansiyel denklem ile kinetik hız sabitleri için aktivasyon enerjisi değerleri yüksek R^2 ve düşük standart sapma (δ) istatistik verileri ile hesaplanmıştır. Aktivasyon enerjisi değerlerinin 13.80-39.42 $W.g^{-1}$.değerleri arasında değiştiği gözlemlenmiştir. Yalnız, a ve Renk Açısı (HA) için elde edilen değerler $E_a= 13.81 W.g^{-1}$ (a değeri için) ve $E_a= 17.63 W.g^{-1}$ (Renk Açısı (HA) değeri için) diğer değerlere oranla daha düşüktür. Bunun nedeni, yeşil rengin kuruma boyunca korunması olarak gösterilebilir.

8.6.3 Rehidratasyon kinetiğine ait aktivasyon enerjisinin hesaplanması

Rehidratasyon kinetiğine ait aktivasyon enerjisinin hesaplanması için Arrhenius denklemi temel alınarak türetilen eksponansiyel denklem (Denklem 7.21) kullanılmıştır (Dadali vd., 2007a). Rehidratasyon oranı değerleri için kullanılan Peleg modelin kinetik sabiti olan k (s. g kuru madde. $g su^{-1}$) kullanılarak $\ln(k)$ değerlerine karşılık m/P değerlerinin çizilmesi ile elde edilen eksponansiyel eğrinin eğiminden aktivasyon enerjisi değeri $1.80 W.g^{-1}$, pre-eksponansiyel sabit ise $582.0183 s. g kuru madde. g su^{-1}$ olarak bulunmuştur ($R^2= 0.9880$, standart sapma (δ)= 0.0765). Bu değer düşük olmasının sebebi uygulanan rehidratasyon sıcaklığının düşük olmasıdır (Sanjuan vd., 1999).

9. SONUÇLAR ve ÖNERİLER

Bu çalışmada, bamya ve ıspanak numunelerinin mikrodalga tekniği ile kurutulmasına, uygulanan mikrodalga çıkış gücünün ve sabit mikrodalga çıkış gücünde kurutulan numune ağırlığının kuruma kinetiği, renk değişimi, rehidratasyon kapasitesi, Vitamin C değeri ve doku özellikleri (gözeneklilik) üzerindeki etkileri incelenmiştir. Elde edilen sonuçlar aşağıda verilmiştir.

A) Bamya numunesi için;

1. **Kuruma hızları incelendiğinde;** Farklı mikrodalga çıkış güçlerinde ve farklı numune ağırlıklarında kurutulan bamya numunesinin mikrodalga çıkış gücü arttıkça ve kurutulan numune ağırlığı azaldıkça kuruma süreleri azalmıştır. Bulunan kuruma süreleri literatürde bamya numunesinin kurutulması sırasında elde edilen kuruma sürelerine oranla çok düşüktür. Adom vd., (1996) 15 mm dilim kalınlığına sahip bamya numunesinin açık havada kurutulması için gerekli sürenin 48 saat olduğunu bulmuşlardır. Mikrodalga tekniği ile 100 g bamya numunesi için kurutma yapıldığında, açık havada kurutmak yerine 900 W mikrodalga çıkış gücü uygulandığında kuruma süresi 205 kat azaltılabilir. Bunun yanı sıra, Doymaz (2005) tarafından yapılan çalışmada bamya numunesi 50, 60 ve 70°C sıcaklıkta kurutulmuştur. Bu çalışmada; 900 W mikrodalga çıkış gücü uygulandığında bamya numunesine ait kuruma süresi, Doymaz (2005) tarafından elde edilen kuruma sürelerinden sırası ile 65 (50°C'de), 44 (60°C'de) ve 33 (70°C'de) kat daha az olduğu tespit edilmiştir. Bamya numunesinin kurutulması azalan hızda kuruma periyodunda ve sabit hızda kuruma periyodunda gerçekleşmiş olup sabit hızda kuruma periyodunda kaybedilen su miktarı %13 ile %40 arasında değişmiştir.
2. **Kuruma kinetiği incelendiğinde;** 4 farklı ince tabaka kurutma modeli, Page model, Henderson ve Pabis model, Lewis model ve Logaritmik model kullanılmış ve uygulanan tüm koşullarda yüksek R^2 ve düşük standart sapma (δ) değerlerine sahip Page modelin kuruma kinetiğini açıklayan en iyi model olduğu görülmüştür. Page model kinetik sabiti k (dak^{-1}) mikrodalga çıkış gücü arttıkça ve kurutulan numune miktarı azaldığında artmış, bunun yanı sıra n değeri değişmemiş, sabit kalmıştır. Bu değer, 1.48 olarak hesaplanmıştır.
3. **Etkin difüzyon katsayısı incelendiğinde;** Uygulanan tüm kurutma koşullarında etkin difüzyon katsayısının (D_{eff}); $20.52 \times 10^{-10} \text{ m}^2 \cdot \text{s}^{-1}$ değeri ile $11.91 \times 10^{-9} \text{ m}^2 \cdot \text{s}^{-1}$, değeri arasında değiştiği bulunmuştur.

- 4. Renk değişimleri incelendiğinde;** yüksek mikrodalga çıkış güçlerinde ve düşük numune ağırlıklarında kurutulan bamyaya numunelerinin rengi değişmiştir. Bunun nedeni olarak yüksek sıcaklıklarda karoten, klorofil pigmentlerinin bozunması sonucu kahverengi bileşimlerin oluşması ve karamelizasyon reaksiyonları gösterilebilir. Hunter Lab skalası yardımıyla da bu değişim sayısal olarak ta hesaplanmış ve kuruma zamanı boyunca değişimi modellenmiştir. Yapılan modelleme çalışmaları sonucunda; L, b, Kroma (CV) ve Kahverengileşme İndeksi (BI) değerlerinin birinci dereceden kinetik modele; a, toplam renk değişimi (ΔE) ve Renk Açısı (HA) değeri değişimlerinin ise sıfırıncı dereceden kinetik denkleme uyduğu saptanmıştır. Literatürde; şeftali püresi ve kivi meyvesinin kurutulmaları sırasında L ve b değerlerinin birinci dereceden kinetik denkleme uyduğu saptanmıştır (Avila vd., 1999; Maskan, 2001b). Bamyaya numunesinde de görüldüğü gibi a değeri, muz ve kivi meyvesi numunelerinin kurutulmaları sırasında da sıfırıncı dereceden kinetik denkleme uygunluk göstermiştir (Maskan, 2000; Maskan, 2001a).
- 5. Rehidratasyon oranlarının değişimi incelendiğinde;** kurutulmuş bamyaya numuneleri 30°C sıcaklıkta su banyolarında rehidratasyon işlemine tabii tutulmuş ve geri absorplanan su miktarları belirlenmiştir. Kuru bamyaya numunesinin taze iken sahip olduğu nem içeriği değerine kadar geri su absorplayamadığı belirlenmiştir. Bunun nedeni; kurutma ve rehidratasyon işlemleri sırasında bamyaya numunesinin yapısında meydana gelen bozunmalar olarak gösterilebilir. Geri absorplanan su miktarının rehidratasyon zamanı ile değişiminin açıklanabilmesi için Peleg model kullanılmış ve bu modelin bamyaya numunesi rehidratasyon oranı değerleri ile uyumlu olduğu saptanmıştır. Modele ait sabitlerin (k_1 ve k_2) değerlerinde mikrodalga çıkış gücü arttırıldığında veya numune ağırlığı azaltıldığında bir düşüş gözlemlenmiştir.
- 6. Biyokimyasal değişimler incelendiğinde;** Mikrodalga çıkış gücü arttıkça ve kurutulan numune ağırlığı azaldıkça Vitamin C kayıplarının arttığı tespit edilmiştir.
- 7. Doku değişimleri (gözeneklilik) incelendiğinde;** Suyun transferini sağlayan gözenekler kullanılan cihaz tarafından görüntülenememiştir. Bunun olası nedeni; bamyaya numunesinin kuruması sırasında büzüşmesi ve bu sebeple gözeneklerin sıkışması olarak gösterilebilir.
- 8. Aktivasyon enerjisi değerleri incelendiğinde;** Bamyaya numunesinin mikrodalga ile kurutulması sırasında kuruma kinetiği için aktivasyon enerjisi değerinin 5.54 W.g^{-1} olduğu bulunmuştur. Renk değişim kinetiği için aktivasyon enerjileri hesaplanmış ve her bir renk değişim indisi için elde edilen aktivasyon enerjisi değerleri $7.45\text{-}11.59 \text{ W.g}^{-1}$ değerleri

arasında bulunmuştur. Ayrıca, 30°C sıcaklıkta gerçekleştirilen rehidratasyon işlemi için aktivasyon enerjisi 0.63 W. g⁻¹ olarak hesaplanmıştır.

B) Ispanak numunesi için;

1. **Kuruma hızları incelendiğinde;** Farklı mikrodalga çıkış güçlerinde ve farklı numune ağırlıklarında kurutulan ıspanak numunesinin mikrodalga çıkış gücü arttıkça ve kurutulan numune ağırlığı azaltıldıkça kuruma süreleri azalmıştır. Elde edilen değerlerin karşılaştırılabilmesi için literatürde herhangi bir bilgiye rastlanamamıştır.
2. **Kuruma kinetiği incelendiğinde;** 4 farklı ince tabaka kurutma modeli, Page model, Henderson ve Pabis model, Lewis model ve Logaritmik model, kullanılmış ve uygulanan tüm koşullarda yüksek R² ve düşük standart sapma (δ) değerlerine sahip Page modelin kuruma kinetiğini en iyi açıklayan model olduğu görülmüştür. Page model kinetik sabiti k (dak⁻¹) mikrodalga çıkış gücü arttıkça yada kurutulan numune miktarı azaltıldığında artmış, bunun yanı sıra, n değeri değişmemiş, sabit kalmıştır. Bu değer, 1.855, olarak hesaplanmıştır.
3. **Etkin difüzyon katsayısı incelendiğinde;** uygulanan tüm kurutma koşullarında etkin difüzyon katsayısının (D_{eff}); 8.62x10⁻¹¹ m².s⁻¹ değeri ile 2.57x10⁻¹⁰ m².s⁻¹, değeri arasında değiştiği bulunmuştur.
4. **Renk değişimleri incelendiğinde;** yüksek mikrodalga çıkış güçlerinde ve düşük numune ağırlıklarında ıspanak numunesinde gözle görülür bir renk değişimi belirlenememiştir. Bunun nedeni olarak; yaprağın yeşil renginden sarıya dönmesine neden olan klorofilaz enziminin yüksek sıcaklıklarda bozunması sonucunda yaprağın rengini yeşil olarak stabil kalması gösterilebilir (Soysal, 2004). Yapılan modelleme çalışmaları sonucunda, bamya numunesinde olduğu gibi L, b, Kroma (CV) ve Kahverengileşme İndeksi (BI) değerlerinin birinci dereceden kinetik modele, diğer yandan, a, toplam renk değişimi (ΔE) ve Renk Açısı (HA) değeri değişiminin ise sıfırıncı dereceden kinetik denkleme uyduğu saptanmıştır. Şeftali püresi ve kivi meyvesinin kurutulmaları işlemleri sırasında da L ve b değerlerinin birinci dereceden kinetik denkleme uyduğu saptanmıştır (Avila vd., 1999; Maskan, 2001b). a değeri muz ve kivi meyvesi numunelerinin kurutulmaları sırasında da sıfırıncı dereceden kinetik denkleme uygunluk göstermiştir (Maskan, 2000; Maskan, 2001b).

- 5. Rehidratasyon oranlarının değişimi incelendiğinde;** kurutulmuş ıspanak numuneleri 30°C sıcaklıkta su banyolarında rehidratasyon işlemine tabii tutulmuş ve geri absorplanan su miktarları belirlenmiştir. Kuru bamya numunesinin taze iken sahip olduğu nem içeriği değerine kadar geri su absorplayamadığı belirlenmiştir. Bunun nedeni; kurutma ve rehidratasyon işlemleri sırasında bamya numunesinin yapısında meydana gelen bozunmalar olarak gösterilebilir. Geri absorplanan su miktarının rehidratasyon zamanı ile değişiminin açıklanabilmesi için Peleg model kullanılmış ve Peleg modelin deneysel değerler ile çok iyi bir uygunluk gösterdiği saptanmıştır. Modele ait sabitlerin (k_1 ve k_2) değerlerinde mikrodalga çıkış gücü arttırıldığında veya numune ağırlığı azaltıldığında bir düşüş gözlemlenmiştir.
- 6. Biyokimyasal değişimler incelendiğinde;** Mikrodalga çıkış gücü arttıkça ve kurutulan numune ağırlığı azaldıkça Vitamin C kayıplarının arttığı tespit edilmiştir.
- 7. Doku değişimleri (gözeneklilik) incelendiğinde;** Mikrodalga çıkış gücü arttıkça veya kurutulan numune ağırlığı azaldıkça ıspanak numunesinin yüzeyinde oluşan gözeneklerin arttığı gözlemlenmiştir.
- 8. Aktivasyon enerji değerleri incelendiğinde;** ıspanak numunesinin mikrodalga ile kurutulması sırasında aktivasyon enerjisi değerinin 10.84 W.g⁻¹ olduğu hesaplanmıştır. Bu değerin bamya numunesinde elde edilen 5.54 W.g⁻¹ değerinden daha yüksek olmasının sebebi; ıspanak numunesinin daha fazla su içermesi ve suyun transferini sağlayan yüzey alanın daha geniş olması gösterilebilir. 7 farklı renk indisi için hesaplanan aktivasyon enerjisi değerleri 31.0-39.5 W.g⁻¹ değerleri arasında değişmiştir. Yalnız, a ve Renk Açısı (HA) için elde edilen değerler $E_a = 13.81$ W.g⁻¹ ve $E_a = 17.63$ W.g⁻¹ diğer değerlere oranla daha düşüktür. Bunun nedeni yeşil rengin kuruma boyunca korunması olarak gösterilebilir. Rehidratasyon kinetiğinin belirlenmesi için Peleg model kullanılmış ve modele ait kinetik sabit kullanılarak 30°C sıcaklıkta gerçekleştirilen rehidratasyon işlemi için aktivasyon enerjisi 1.80 W. g⁻¹ olarak hesaplanmıştır.

Bundan sonraki çalışmalarda numunelerin mikrodalga tekniği ile kurutulması sırasında;

- Vitamin A ve B kayıpları incelenebilir,
- Renk değişimlerinin nedeni olan karamelizasyon reaksiyonlarının daha iyi anlaşılabilmesi için kuruma öncesi ve sonrasında toplam şeker tayinleri yapılabilir,
- Farklı rehidratasyon sıcaklıkları uygulanarak, sıcaklığın geri absorplanan su miktarına etkisi incelenebilir.

KAYNAKLAR

- Abe, T. ve Afzal, T., M. (1997), "Thin-layer infrared radiation drying of rough rice", *Journal of Agricultural Engineering Research*, 67:289-297.
- Adom, K.K., Dzogbefia, V.P. ve Ellis, W.O. (1997), "Combined effect of drying time and slice thickness on the solar drying of okra", *Journal of The Science of Food and Agriculture*, 73:315-320.
- 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 Biochemistry And Biophysics*, 358:(1),171-181.
- Ames, J., M. (1998), "Applications of the maillard reaction in the food industry", *Food Chemistry*, 62:(4), 431-439.
- Ancos, B., Cano, M.P., Hernandez, A. ve Monreal, M. (1999), "Effects of microwave heating on pigment composition and colour of fruit pureest", *Journal of The Science of Food and Agriculture*, 79: 663-670.
- AOAC. (1990), *Official methods of analysis*, Washington DC, Association of official analytical Chemists.
- Avila, I.M.L.B. and C.L.M. Silva. (1999), "Modelling kinetics of Thermal Degradation of Colour of Peach Puree", *Journal of Food Engineering*, 39:(2), 161-166.
- Baker, G.J.C. (1997), *Industrial Drying of Foods*, 1st Edition, Chapman & Hall Publication, New York, Amerika.
- Barbosa- Canovas, G. V. ve Vega-Mercado, H. (1996), *Dehydration of Foods*, Chapman & Hall Publication., First Edition, New York, Amerika.
- Brennan J. G. (1969), *Food Engineering Operations*, Elsevier Pub. Co, Amsterdam.
- Bostan, A. (1997), *Mısır Şuruplarında Enzimatik Olmayan Esmerleşme Reaksiyonları ve Şurupların Raf Ömrü Tespiti*, Yüksek Lisans Tezi, İTÜ Fen Bilimleri Enstitüsü.
- Crank, J. (1975), *The mathematics of diffusion*, 2nd Ed. Oxford, UK: Clarendon Press.
- Çalışkan, M.K. (2002), *Mikrodalga enerjisi ile kurutma*, Yüksek Lisans Tezi, İTÜ Fen Bilimleri Enstitüsü.
- Dadali, G., Apar, D.K. ve Özbek, B. (2007a), "Estimation of Effective Moisture Diffusivity of Okra for Microwave Drying", *Drying Technology*, (Baskıda).
- Dadali, G., Apar, D.K. ve Özbek, B. (2007b), "Microwave Drying Kinetics of Okra", *Drying Technology*, (Baskıda).
- Dadali, G., Apar, D.K. ve Özbek, B. (2007c), "Colour Change Kinetics of Okra Undergoing Microwave Drying", *Drying Technology*, (Baskıda).
- Decareau, V.R. (1985), *Microwaves in The Food Processing Industry*, Academic Press, Inc., London.
- Decareau, V.R. (1992), "Encyclopaedia of Food Science and Technology", 3:1772-1778.

- DeMan, J., M. (1990), Principles of Food Chemistry, Apsen Publication, 2nd Edition, New York, Amerika.
- Doymaz, İ. (2005), "Drying kinetics and characteristics of okra", Journal of Food Engineering, 69:(3), 275-279.
- Devlet Planlama Teşkilatı (2003), "8. Beş Yıllık Kalkınma Planı-Bitkisel Üretim" Özel İhtisas Komisyonu Raporları, Yüce-tepe, Ankara.
- Eskin, N.A.M., Henderson, H.M. ve Townsend, R.J. (1971), Biochemistry of Foods, Academic Press, New York.
- Fellows, P.J. (2000), Food Processing Technology, 2nd Edition, Woodhead Publishing, Cambridge, İngiltere.
- Fenemma, O.R. (1975), Principles of Food Science, Marcel Dekker Inc, New York, Amerika.
- Galiboğlu, O. (1990), Gıda Kimyası, İstanbul Teknik Üniversitesi Fen-Edebiyat Fakültesi Yayını, İstanbul.
- Garza, S., Ibarz, A., Pagan, J. ve Giner, J. (1999), "Non-enzymatic browning in peach puree during heating", Food Research International, 32:335-343.
- Giese, J. (2003), "Color measurement in foods", Food Technology, 57:(12), 48-50.
- Goula, A.M. ve Adamopoulos, K.G.(2006), "Retention of Ascorbic Acid during Drying of Tomato Halves and Tomato Pulp", Drying Technology, 24:57-64.
- Göğüş, F. ve Maskan, M. (1999), "Water adsorption and drying characteristics of okra", Drying Technology, 17:(4&5), 883-894.
- Heldman, D., R. ve Hartel, R., W. (1997), Principles of Food Processing, 1st Edition, Chapman & Hall Publication, New York.
- Hernandez, Y. Lobo, M.G. ve Gonzalez, M. (2006)," Determination of vitamin C in tropical fruits: A comparative evaluation of methods", Food Chemistry, 96:654-664.
- Kanat, A. (2001), İ.T.Ü. KOSGEB'de Geliştirilmekte Olan Mikroalga Fırında Elma Meyvesinin Kurutulmasına Yönelik Bir Çalışma, Yüksek Lisans Tezi, İTÜ Fen Bilimleri Enstitüsü.
- Keey, R.B. (1978), Introduction to Industrial Drying Operations, Pergamon Press, Londra.
- Khraisheh, M.A.M. McMinn, W.A.M. ve Magee, T.R.A. (2004), "Quality and structural changes in starchy foods, during microwave and convective drying", Food Research International 37:497-503.
- Krokida, M.K., Karathanos, V.T., Maroulis, Z.B. ve Marinos-Kouris, D. (2002), "Drying Kinetics of Some Vegetables", Journal of Food Engineering, 59:391-403.
- Krokida, M. K. ve Philippopoulos, C. (2005), "Rehydration of Dehydrated Foods", Drying Technology, 23:799-830.
- Lee, C. (1994), "Enzymatic Browning and Its Prevention", 208. Amerika Kimya Birliği Toplantısı, Washington D.C.
- Lewicki, P. (1998), "Some remarks on rehydration of dried foods", Journal of Food Engineering, 36:(1), 81-87.

- Lee, K.T., Farid, M. ve Nguang, S.K. (2004), "The mathematical modelling of the rehydration characteristics of fruits", *Journal of Food Engineering*, 72:(1), 16-23.
- Lopez. A., M.T. Pique., J. Boatella., A. Romero., A. Ferran. ve J. Garcia. (1997), "Influence of drying conditions on the hazelnut quality: III. Browning", *Drying Technology* 15:989-1002.
- Maskan, M. (2000), "Microwave/air and microwave finish drying of banana", *Journal of Food Engineering*, 44:(2), 71-78.
- Maskan, M. (2001a), "Drying, shrinkage and rehydration characteristics of kiwifruits during hot air and microwave drying", *Journal of Food Engineering*, 48:(2), 177-182.
- Maskan, M. (2001b), "Kinetics of colour change of kiwifruits during hot air and microwave drying", *Journal of Food Engineering*, 48:169-175.
- Nuh, D.N., ve Brinkworth, B.J. (1997), "A novel thin-layer model for crop drying", *Transactions of the American Society of Agricultural Engineers*, 40:659-669.
- Okos, M.R., Narsimhan, G., Singh, R.K. ve Weitnauer, A.C. (1992), "Food Dehydration", *Handbook of Food Engineering*, 1:437-544.
- Pala, M., Mahmutoglu, T. ve Saygi, B. (1996)," Effects of pretreatments on quality of open-air and solar dried apricots", *Nahrung/Food*, 40:137-141.
- Palou. E., A. Lopez-Malo., G.V Barbosa-Canovas., J. Welti-Chanes. ve B.G. Swanson. (1999), "Polyphenoloxidase activity and colour of blanched and high hydrostatic pressure treated banana puree", *Journal of Food Science*, 64:42-45.
- 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.
- Platts, J. (1991), *Microwave Ovens*, M.C Print, Londra, İngiltere.
- Potter, N., N. ve Hotchkiss, J.H. (1995), *Food Science*, 5th Edition. Chapman & Hall Publication, New York.
- Pratt, G.H. (1974), *Timber Drying Manual*, Building Research Establishment Report, Her Majesty's Stationary Office, Londra.
- Riva, M. ve Peri, C. (1986), "Kinetics of sun and air drying of different varieties of seedless grapes", *Journal of Food Technology*, 21:199-208.
- Rubatzky, V.E. ve Yamaguchi, M. (1999), *World Vegetables; Principles, Production and Nutritive Values*, Aspen Publishers Inc. Gaithersburg, Maryland.
- Salunkhe, D.K. ve Kadam, S.S. (1998), *Handbook of Science and Technology; Production, Composition, Storage and Processing*, Marcel Dekker Inc., New York.
- Sanjuan, N., Simal, S., Bon, J. ve Mulet, A. (1999), "Modelling of broccoli stems rehydration process", *Journal of Food Engineering*, 42, 27-31.
- Schubert, H. ve Reiger, M. (2005), *The Microwave Processing of Foods*, Woodhead Publishing Limited, Abington Hall, Abington.

- Sharma, G.P. ve Prasad, S. (2006), "Specific energy consumption in microwave drying of garlic cloves", *Energy (Baskıda)*.
- Singh R.P. ve Holdman D.R. (2001), *Introduction to Food Engineering 2nd Edition* Academic Press, London.
- Soysal, Y. ve Öztekin, S. (2001), "Comparison of seven equilibrium moisture content equations for some medicinal and aromatic plants", *Journal of Agricultural Engineering Research*, 78:(1), 57-63.
- Soysal, Y. (2004), "Microwave drying characteristics of parsley", *Biosystems Engineering*, 89:(2), 167-173.
- Teymur, N. (1999), *Maydanoz ve dereotunun kurutulması ve kuruma karakteristiklerinin incelenmesi*, Yüksek Lisans Tezi, Yıldız Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü.
- Toledo, R.T. (1991), *Fundamentals of Food Proces Engineering, 2nd Edition*. Von Nostrand Reinhold, New York.
- Toledo, M.E.A., Ueda, Y., Imahori, Y. ve Ayaki, M. (2003), "L-ascorbic acid metabolism in spinach (*Spinacia oleracea* L.) during postharvest storage in light and dark", *Postharvest Biology and Technology*, 28, 47-57.
- United Nations Industrial Development Organization (2004a), "Preservation of Fruits and Vegetables by Drying", III UNISWORK, UNIDO Uluslararası Gıda Güvenliği ve Saklama Yöntemleri Çalışma Programı Raporu, Gebze-Kocaeli.
- United Nations Industrial Development Organization (2004b), "Quality of Dried Foods and Deteriorative Reactions During Drying", III UNISWORK, UNIDO Uluslararası Gıda Güvenliği ve Saklama Yöntemleri Çalışma Programı Raporu, Gebze-Kocaeli.
- United Nations Industrial Development Organization (2004c), "Deteriorative Reactions in Dried Fruits and Vegetables", III UNISWORK, UNIDO Uluslararası Gıda Güvenliği ve Saklama Yöntemleri Çalışma Programı Raporu, Gebze-Kocaeli.
- United Nations Industrial Development Organization (2004d), "Classification of Dryers", III UNISWORK, UNIDO Uluslararası Gıda Güvenliği ve Saklama Yöntemleri Çalışma Programı Raporu, Gebze-Kocaeli.
- Wang, J. ve Sheng, K. (2006), "Far-infrared and microwave drying of peach", *LWT*, 39:247-255.
- Weemaes, C., V. Ooms., L. Indrawati., I. Ludikhuyze., V. Broeck., A. Van. Loey. ve M. Hendrickx. (1999), "Pressure-Temperature Degradation of Green Colour in Broccoli Juice", *Journal of Food Science* 64:(3), 504-508.
- Yurdagel, Ü., Baysal, T. ve Hepçimen, A.Z. (1994), *Gıda İşlemede Mikrodalga Enerji*, II. Gıda Mühendisliği Kongresi, Gaziantep, 21-23 Eylül, s.294, TMMOB, Kimya Mühendisliği Odası.

İNTERNET KAYNAKLARI

- [1] <http://www.excaliburdehydrator.com/gen2.htm>
- [2] <http://www.dryer.com/primer.htm>
- [3] <http://sres.anu.edu.au/associated/fpt/drying/air.circ.html>
- [4] http://www.landfood.ubc.ca/courses/fnh/410/colour/3_81.htm
- [5] http://www.ubffoodsolutions.com.tr/Akademi/ggh_elkitabi_1-2.asp
- [6] <http://www.nzifst.org.nz/unitoperations/drying7.htm# pneu>
- [7] <http://www.ideafinder.com/history/inventions/story068.htm>
- [8] <http://web.mit.edu/invent/iow/spencer.html>
- [9] <http://praxis.pha.jhu.edu/science/emspec.html>
- [10] <http://www.upv.es/gcm/docente/magnetron.html>
- [11] <http://www.lessemf.com/mw-stnds.html>
- [12] www.dpt.gov.tr
- [13] http://www.bilgilik.com/makale/saglik/besinler_ve_ozellikleri/bamya_odev.html
- [14] http://www.bilgilik.com/makale/saglik/besinler_ve_ozellikleri/ispanak_odev.html
- [15] www.hunterlab.com

EKLER

- Ek 1** Bamya numunesinin kurutulması sırasında mikrodalga çıkış gücünün kuruma hızına ve kinetiğine olan etkisine ait deneysel veriler
- Ek 2** Bamya numunesinin kurutulması sırasında mikrodalga çıkış gücünün renk değişimi üzerindeki etkisine ait deneysel veriler
- Ek 3** Bamya numunesinin kurutulması sırasında mikrodalga çıkış gücünün rehidratasyon oranı üzerindeki etkisine ait deneysel veriler
- Ek 4** Sabit mikrodalga çıkış gücünde kurutulan bamya numunesinin ağırlığının kuruma hızına ve kinetiğine olan etkisine ait deneysel veriler
- Ek 5** Sabit mikrodalga çıkış gücünde kurutulan bamya numunesinin ağırlığının renk değişimi üzerindeki etkisine ait deneysel veriler
- Ek 6** Sabit mikrodalga çıkış gücünde kurutulan bamya numunesinin ağırlığının rehidratasyon oranı üzerindeki etkisine ait deneysel veriler
- Ek 7** Ispanak numunesinin kurutulması sırasında mikrodalga çıkış gücünün kuruma hızına ve kinetiğine olan etkisine ait deneysel veriler
- Ek 8** Ispanak numunesinin kurutulması sırasında mikrodalga çıkış gücünün renk değişimi üzerindeki etkisine ait deneysel veriler
- Ek 9** Ispanak numunesinin kurutulması sırasında mikrodalga çıkış gücünün rehidratasyon oranı üzerindeki etkisine ait deneysel veriler
- Ek 10** Sabit mikrodalga çıkış gücünde kurutulan bamya numunesinin ağırlığının kuruma hızına ve kinetiğine olan etkisine ait deneysel veriler
- Ek 11** Sabit mikrodalga çıkış gücünde kurutulan ıspanak numunesinin ağırlığının renk değişimi üzerindeki etkisine ait deneysel veriler
- Ek 12** Sabit mikrodalga çıkış gücünde kurutulan ıspanak numunesinin ağırlığının rehidratasyon oranı üzerindeki etkisine ait deneysel veriler

Ek 1. Bamya numunesinin kurutulması sırasında mikrodalga çıkış gücünün kuruma hızına ve kinetiğine olan etkisine ait deneysel veriler

Çizelge E1.1 180 W mikrodalga çıkış gücünde 100 g bamyanın kurutulmasına ait deneysel veriler

Kuruma Zamanı (dakika)	Numune (g)	Nem İçeriği (g su. g kuru madde⁻¹)	Nem Oranı (MR)
0	100.00	3.72	1.00
1	97.42	3.57	0.96
2	95.91	3.50	0.94
3	93.39	3.38	0.90
5	91.42	3.29	0.88
7	88.28	3.14	0.84
10	82.94	2.89	0.77
15	73.58	2.45	0.65
20	64.46	2.02	0.54
25	55.73	1.61	0.43
30	46.96	1.20	0.32
35	39.13	0.83	0.22
40	32.64	0.53	0.14
45	27.4	0.28	0.07
47	25.55	0.19	0.05
49	24.19	0.13	0.03
50	23.53	0.10	0.02

Çizelge E1.2 360 W mikrodalga çıkış gücünde 100 g bamyanın kurutulmasına ait deneysel veriler

Kuruma Zamanı (dakika)	Numune (g)	Nem İçeriği (g su. g kuru madde⁻¹)	Nem Oranı (MR)
0	100.00	3.72	1.00
0.5	99.68	3.70	0.99
1	97.93	3.66	0.98
2	96.89	3.52	0.94
3	93.19	3.35	0.90
5	85.66	3.00	0.80
10	66.42	2.10	0.56
12	59.38	1.77	0.47
15	50.92	1.38	0.37
20	37.26	0.74	0.20
22	33.52	0.56	0.15
23	31.9	0.49	0.13
25	29.34	0.37	0.09
27	27.35	0.27	0.07
29	26.02	0.21	0.05
32	24.59	0.14	0.04
33	24.47	0.14	0.03
35	23.93	0.11	0.03
37	23.6	0.10	0.02

Çizelge E1.3 540 W mikrodalga çıkış gücünde 100 g bamyanın kurutulmasına ait deneysel veriler

Kuruma Zamani (dakika)	Numune (g)	Nem İçeriği (g su. g kuru madde⁻¹)	Nem Oranı (MR)
0	100.00	3.72	1.00
0.5	98.82	3.64	0.98
1	96.95	3.56	0.95
2	91.42	3.28	0.88
3	84.91	2.99	0.80
5	73.67	2.46	0.66
7	61.31	1.88	0.50
9	51.37	1.41	0.38
10	46.93	1.20	0.32
12	39.33	0.84	0.22
14	34.03	0.60	0.16
16	29.59	0.39	0.10
17	28.03	0.31	0.08
18	26.74	0.25	0.07
19	25.62	0.20	0.05
20	24.64	0.15	0.04
21	23.98	0.12	0.03
22	23.65	0.11	0.03
23	23.5	0.10	0.02

Çizelge E1.4 720 W mikrodalga çıkış gücünde 100 g bamyanın kurutulmasına ait deneysel veriler

Kuruma Zamanı (dakika)	Numune (g)	Nem İçeriği (g su. g kuru madde⁻¹)	Nem Oranı (MR)
0	100.00	3.72	1.00
0.5	98.53	3.62	0.97
1	97.95	3.59	0.96
2	90.24	3.23	0.86
3	80.02	2.75	0.74
4	71.38	2.35	0.63
5	63.18	1.96	0.52
6	55.42	1.59	0.43
7	48.55	1.27	0.34
8	42.47	0.99	0.26
10	34.99	0.64	0.17
12	29.55	0.38	0.10
14	26.69	0.25	0.06
14.5	26.29	0.23	0.06
15	25.91	0.21	0.05
16	25.20	0.18	0.05
17	24.63	0.15	0.04
18	24.25	0.13	0.04
18.5	24.22	0.13	0.03
19.5	23.99	0.12	0.03
20	23.62	0.10	0.02

Çizelge E1.5 900 W mikrodalga çıkış gücünde 100 g bamyanın kurutulmasına ait deneysel veriler

Kuruma Zamanı (dakika)	Numune (g)	Nem İçeriği (g su. g kuru madde⁻¹)	Nem Oranı (MR)
0	100.00	3.72	1.00
0.5	99.08	3.66	0.86
1	95.44	3.49	0.82
2	85.53	3.02	0.69
2.5	80.86	2.80	0.63
3	76.08	2.58	0.57
3.5	71.78	2.38	0.52
4	67.52	2.18	0.46
5	59.71	1.81	0.36
6	49.98	1.35	0.24
7	42.54	1.00	0.14
8	37.13	0.74	0.11
8.5	35.37	0.66	0.08
9	33.95	0.59	0.06
10	30.87	0.45	0.05
11	28.51	0.34	0.04
13	25.27	0.19	0.03
13.5	23.65	0.11	0.02
14	23.48	0.10	0.02

Ek. 2 Bamya numunesinin kurutulması sırasında mikrodalga çıkış gücünün renk değişimi üzerindeki etkisine ait deneysel veriler

Çizelge E2.1 180 W mikrodalga çıkış gücünde kurutulan 100 g bamyanın renk değişimine ait deneysel veriler

Kuruma Zamanı (dakika)	L	a	b	ΔE
0	40.93	-9.75	17.13	0.00
10	38.56	-7.46	16.65	4.6
20	37.11	-5.2	15.56	7.7
30	35.4	-3.35	14.48	10.42
40	33.56	-0.42	13.53	12.85
50	32.18	1.06	12.85	14.89

Çizelge E2.2 360 W mikrodalga çıkış gücünde kurutulan 100 g bamyanın renk değişimine ait deneysel veriler

Kuruma Zamanı (dakika)	L	A	b	ΔE
0	40.93	-9.75	17.13	0.00
7	37.94	-6.19	15.27	7.3
14	36.02	-3.23	13.11	9.04
21	34.45	-0.25	11.83	11.24
28	32.52	2.89	10.43	13.56
37	31.00	5.45	9.35	15.17

Çizelge E2.3 540 W mikrodalga çıkış gücünde kurutulan 100 g bamyanın renk değişimine ait deneysel veriler

Kuruma Zamanı (dakika)	L	A	b	ΔE
0	40.93	-9.75	17.13	0.00
4	38.14	-5.42	13.44	4.51
8	36.2	-1.23	12.69	11.29
12	33.98	2.16	11.73	14.62
19	32.12	4.48	10.56	15.99
23	29.25	8.56	9.56	17.89

Çizelge E2.4 720 W mikrodalga çıkış gücünde kurutulan 100 g bamyanın renk değişimine ait deneysel veriler

Kuruma Zamanı (dakika)	L	A	b	ΔE
0	40.93	-9.75	17.13	0.00
4	38.36	-5.63	17.07	5.9
8	35.45	-1.13	14.35	14.57
12	32.89	2.22	11.23	16.54
16	30.55	5.73	9.62	17.85
20	28.56	7.57	7.23	19.59

Çizelge E2.5 900 W mikrodalga çıkış gücünde kurutulan 100 g bamyanın renk değişimine ait deneysel veriler

Kuruma Zamanı (dakika)	L	A	b	ΔE
0	40.93	-9.75	17.13	0.00
3	37.56	-4.6	14.56	7.6
6	34.56	0.12	10.5	15.48
9	31.33	5.03	9.28	18.96
14	27.85	10.23	7.25	20.05

Ek. 3 Bamya numunesinin kurutulması sırasında mikrodalga çıkış gücünün rehidratasyon oranı üzerindeki etkisine ait deneysel veriler

Çizelge E3.1 180 W mikrodalga çıkış gücünde kurutulan 100 g bamyanın rehidratasyon oranına ait deneysel veriler

Zaman (saniye)	Numune (g)	Nem İçeriği (g su. g kuru madde⁻¹)	Rehidratasyon Oranı (RR)
0	4.00	0.1	0.02
60	4.84	0.29	0.07
120	5.02	0.34	0.09
300	5.75	0.53	0.14
600	6.68	0.78	0.21
1200	7.74	1.06	0.28
2400	9.51	1.53	0.41
3600	11.23	1.99	0.53
7200	13.16	2.51	0.67
10800	13.67	2.64	0.71
18000	14.87	2.75	0.73

Çizelge E3.2 360 W mikrodalga çıkış gücünde kurutulan 100 g bamyanın rehidratasyon oranına ait deneysel veriler

Zaman (saniye)	Numune (g)	Nem İçeriği (g su. g kuru madde⁻¹)	Rehidratasyon Oranı (RR)
0	4.00	0.10	0.02
10	4.24	0.13	0.03
60	4.7	0.25	0.06
120	5.12	0.36	0.09
300	5.63	0.50	0.13
600	6.63	0.77	0.20
1200	7.71	1.05	0.28
2400	10.67	1.84	0.49
3600	11.67	2.11	0.56
7200	14.11	2.76	0.74
14400	14.67	2.91	0.78
18000	14.98	3.00	0.80

Çizelge E3.3 540 W mikrodalga çıkış gücünde kurutulan 100 g bamyanın rehidratasyon oranına ait deneysel veriler

Zaman (saniye)	Numune (g)	Nem İçeriği (g su. g kuru madde⁻¹)	Rehidratasyon Oranı (RR)
0	4.00	0.10	0.02
10	4.32	0.15	0.04
20	4.55	0.22	0.06
30	4.76	0.28	0.07
60	5.01	0.34	0.09
120	5.22	0.40	0.10
300	5.93	0.59	0.16
600	6.85	0.84	0.22
1200	8.45	1.27	0.34
1800	10.67	1.87	0.50
3600	11.78	2.17	0.58
7200	14.45	2.89	0.77
14400	15.22	3.10	0.83
18000	15.45	3.16	0.85

Çizelge E3.4 720 W mikrodalga çıkış gücünde kurutulan 100 g bamyanın rehidratasyon oranına ait deneysel veriler

Zaman (saniye)	Numune (g)	Nem İçeriği (g su. g kuru madde⁻¹)	Rehidratasyon Oranı (RR)
0	4.00	0.10	0.02
10	4.32	0.16	0.04
20	4.59	0.24	0.06
30	4.78	0.29	0.07
60	4.94	0.33	0.09
120	5.2	0.40	0.10
600	6.62	0.79	0.21
1200	8.02	1.16	0.31
1800	9.44	1.54	0.41
3600	13.43	2.63	0.70
7200	14.78	2.99	0.80
10800	15.32	3.14	0.84
14400	16.08	3.34	0.89
18000	16.45	3.44	0.92

Çizelge E3.5 900 W mikrodalga çıkış gücünde kurutulan 100 g bamyanın rehidratasyon oranına ait deneysel veriler

Zamanı (saniye)	Numune (g)	Nem İçeriği (g su. g kuru madde⁻¹)	Rehidratasyon Oranı (RR)
0	4.00	0.10	0.02
10	4.35	0.17	0.04
20	4.62	0.24	0.06
30	4.81	0.30	0.08
60	4.97	0.34	0.09
120	5.23	0.41	0.11
300	5.89	0.59	0.15
600	6.65	0.79	0.21
1200	8.03	1.17	0.31
1800	11.33	2.06	0.55
3600	13.46	2.63	0.70
7200	14.9	3.02	0.81
10800	16.21	3.38	0.90
14400	16.45	3.44	0.92
18000	16.87	3.56	0.95

Ek 4. Sabit mikrodalga çıkış gücünde bamyaya numunesinin ağırlığının kuruma hızına ve kinetiğine olan etkisine ait deneysel veriler

Çizelge E4.1 360 W sabit mikrodalga çıkış gücü ve 25 g numune ağırlığında bamyaya numunesinin kurutulmasına ait deneysel veriler

Kuruma Zamanı (dakika)	Numune (g)	Nem İçeriği (g su. g kuru madde⁻¹)	Nem Oranı (MR)
0	25.00	3.72	1.00
1	21.87	3.11	0.83
2	20.33	2.82	0.76
3	17.24	2.24	0.60
5	11.4	1.14	0.30
6	9.21	0.73	0.19
7	7.85	0.47	0.12
8	6.92	0.30	0.08
9	6.37	0.19	0.05
9.5	6.14	0.15	0.04
10	6.03	0.10	0.02

Çizelge E4.2 360 W sabit mikrodalga çıkış gücü ve 50 g numune ağırlığında bamya numunesinin kurutulmasına ait deneysel veriler

Kuruma Zamanı (dakika)	Numune (g)	Nem İçeriği (g su. g kuru madde⁻¹)	Nem Oranı (MR)
0	50.00	3.72	1.00
0.5	49.26	3.62	0.97
1	48.97	3.59	0.96
2	45.12	3.23	0.86
3	40.01	2.75	0.74
4	35.69	2.35	0.63
5	31.59	1.96	0.52
6	27.72	1.59	0.43
7	24.25	1.27	0.34
8	21.23	0.99	0.26
10	17.49	0.64	0.17
12	14.77	0.38	0.10
14	13.34	0.25	0.06
14.5	13.14	0.23	0.06
15	12.95	0.21	0.05
16	12.63	0.18	0.05
17	12.31	0.15	0.04
18	12.12	0.13	0.04
18.5	12.11	0.13	0.03
19.5	11.99	0.12	0.03
20	11.81	0.10	0.02

Çizelge E4.3 360 W sabit mikrodalga çıkış gücü ve 75 g numune ağırlığında bamya numunesinin kurutulmasına ait deneysel veriler

Kuruma Zamanı (dakika)	Numune (g)	Nem İçeriği (g su. g kuru madde⁻¹)	NemOranı (MR)
0	75.00	3.72	1.00
1	73.58	3.62	0.97
2	69.56	3.36	0.905
4	63.75	3.00	0.80
6	54.72	2.43	0.65
7	47.49	1.98	0.53
9	37.58	1.36	0.36
11	32.12	1.01	0.27
12	28.93	0.81	0.21
14	25.83	0.62	0.16
16	23.04	0.44	0.12
18	21.15	0.32	0.08
20	20.25	0.27	0.07
22	19.26	0.21	0.05
24	18.78	0.18	0.04
25	18.11	0.13	0.03
25.5	17.86	0.12	0.03
26	17.65	0.10	0.02

Çizelge E4.4 360 W sabit mikrodalga çıkış gücü ve 100 g numune ağırlığında bamya numunesinin kurutulmasına ait deneysel veriler

Kuruma Zamani (dakika)	Numune (g)	Nem İçeriği (g su. g kuru madde⁻¹)	Nem Oranı (MR)
0	100.00	3.72	1.00
0.5	99.68	3.70	0.99
1	97.93	3.66	0.98
2	96.89	3.52	0.94
3	93.19	3.35	0.90
5	85.66	3.00	0.80
10	66.4	2.10	0.56
12	59.38	1.77	0.47
15	50.92	1.38	0.37
20	37.26	0.74	0.20
22	33.52	0.56	0.15
23	31.9	0.49	0.13
25	29.34	0.37	0.09
27	27.35	0.27	0.07
29	26.02	0.21	0.05
32	24.59	0.14	0.04
33	24.47	0.14	0.03
35	23.93	0.11	0.03
37	23.6	0.10	0.02

Ek. 5 Sabit mikrodalga çıkış gücünde bamyaya numunesinin ağırlığının renk değişimi üzerindeki etkisine ait deneysel veriler

Çizelge E5.1 360 W sabit mikrodalga çıkış gücü ve 25 g numune ağırlığında bamyaya numunesinin kurutulmasında renk değişimine ait deneysel veriler

Kuruma Zamanı (dakika)	L	A	b	ΔE
0	40.93	-9.75	17.13	0.00
2	37.97	-6.19	13.34	4.25
4	35.37	-3.23	11.65	9.99
6	31.79	-0.25	9.56	13.01
8	30.21	5.89	7.67	19.55
10	26.02	10.76	6.15	24.32

Çizelge E5.2 360 W sabit mikrodalga çıkış gücü ve 50 g numune ağırlığında bamyaya numunesinin kurutulmasında renk değişimine ait deneysel veriler

Kuruma Zamanı (dakika)	L	A	b	ΔE
0	40.93	-9.75	17.13	0.00
4	38.36	-5.63	14.23	4.34
8	35.45	-1.13	12.35	9.55
12	32.89	2.22	10.23	14.25
16	30.55	5.73	8.45	17.85
20	28.56	7.57	7.04	21.52

Çizelge E5.3 360 W sabit mikrodalga çıkış gücü ve 75 g numune ağırlığında bamyaya numunesinin kurutulmasında renk değişimine ait deneysel veriler

Kuruma Zamanı (dakika)	L	A	b	ΔE
0	40.93	-9.75	16.92	0.00
5	38.86	-5.63	14.67	3.94
10	36.52	-1.10	13.08	6.44
15	34.67	1.22	11.53	9.87
20	32.65	3.73	9.87	13.01
22.5	30.87	6.12	8.65	15.67

Çizelge E5.4 360 W sabit mikrodalga çıkış gücü ve 100 g numune ağırlığında bamya numunesinin kurutulmasında renk değişimine ait deneysel veriler

Kuruma Zamanı (dakika)	L	a	b	ΔE
0	40.93	-9.75	17.13	0.00
7	37.94	-6.19	15.27	3.95
14	36.04	-3.23	13.11	6.88
21	34.45	-0.25	11.83	10.95
28	32.52	2.89	10.42	13.56
37	31.02	5.45	9.50	17.15

Ek. 6 Sabit mikrodalga çıkış gücünde bamya numunesinin ağırlığının rehidratasyon oranı üzerindeki etkisine ait deneysel veriler

Çizelge E6.1 360 W sabit mikrodalga çıkış gücü ve 25 g numune ağırlığında bamya numunesinin kurutulmasında rehidratasyon oranına ait deneysel veriler

Zaman (saniye)	Numune (g)	Nem İçeriği (g su. g kuru madde⁻¹)	Rehidratasyon Oranı (RR)
0	4.00	0.10	0.02
10	4.39	0.18	0.05
20	4.66	0.26	0.07
30	4.85	0.31	0.08
60	5.01	0.35	0.09
120	5.27	0.42	0.11
300	5.93	0.60	0.16
600	6.69	0.80	0.21
1200	8.07	1.18	0.31
1800	11.09	1.99	0.53
3600	13.53	2.65	0.71
7200	14.94	3.04	0.81
10800	16.25	3.40	0.91
14400	16.49	3.45	0.93
18000	16.91	3.57	0.96

Çizelge E6.2 360 W sabit mikrodalga çıkış gücü ve 50 g numune ağırlığında bamy numunesinin kurutulmasında rehidratasyon oranına ait deneysel veriler

Zaman (saniye)	Numune (g)	Nem İçeriği (g su. g kuru madde⁻¹)	Rehidratasyon Oranı (RR)
0	4.00	0.10	0.02
10	4.32	0.16	0.04
20	4.59	0.24	0.06
30	4.78	0.29	0.07
60	4.94	0.33	0.09
120	5.2	0.40	0.10
300	5.86	0.58	0.15
600	6.62	0.79	0.21
1200	8.21	1.16	0.31
1800	9.45	1.54	0.41
3600	11.04	2.63	0.65
7200	14.78	2.99	0.80
10800	15.32	3.14	0.84
14400	16.08	3.34	0.90
18000	16.45	3.44	0.92

Çizelge E6.3 360 W sabit mikrodalga çıkış gücü ve 75 g numune ağırlığında bamya numunesinin kurutulmasında rehidratasyon oranına ait deneysel veriler

Zaman (saniye)	Numune (g)	Nem İçeriği (g su. g kuru madde ⁻¹)	Rehidratasyon Oranı (RR)
0	4.00	0.10	0.02
10	4.35	0.17	0.04
20	4.62	0.23	0.06
30	4.81	0.29	0.07
60	5.05	0.36	0.09
120	5.27	0.42	0.11
600	6.92	0.85	0.23
1200	8.51	1.29	0.34
1800	10.72	1.88	0.50
3600	11.83	2.18	0.58
7200	14.23	2.83	0.76
14400	15.27	3.11	0.83
18000	15.53	3.17	0.85

Çizelge E6.4 360 W sabit mikrodalga çıkış gücü ve 100 g numune ağırlığında bamya numunesinin kurutulmasında rehidratasyon oranına ait deneysel veriler

Zaman (saniye)	Numune (g)	Nem İçeriği (g su. g kuru madde ⁻¹)	Rehidratasyon Oranı (RR)
0	4.00	0.10	0.02
10	4.24	0.13	0.03
60	4.7	0.25	0.06
120	5.12	0.36	0.09
300	5.63	0.50	0.13
600	6.63	0.77	0.20
1200	7.71	1.05	0.28
2400	10.67	1.84	0.49
3600	11.67	2.11	0.56
7200	14.11	2.76	0.74
14400	14.67	2.91	0.78
18000	14.98	3.00	0.80

Ek 7 Ispanak numunesinin kurutulması sırasında mikrodalga çıkış gücünün kuruma hızına ve kinetiğine olan etkisine ait deneysel veriler

Çizelge E7.1 180 W mikrodalga çıkış gücünde 25 g ispanağın kurutulmasına ait deneysel veriler

Kuruma Zamani (dakika)	Numune (g)	Nem İçeriği (g su. g kuru madde⁻¹)	Nem Oranı (MR)
0	25.00	11.579	1.00
1	24.35	10.94	0.94
2	23.18	9.78	0.84
4	20.27	7.10	0.61
6	16.50	3.47	0.31
8	13.25	1.45	0.12
9	9.68	0.99	0.08
10	6.48	0.58	0.05
12	4.93	0.15	0.01
13	4.05	0.14	0.01
14	3.32	0.13	0.01
15	2.96	0.12	0.01
16	2.63	0.11	0.009
17	2.44	0.11	0.009
18	2.25	0.10	0.008

Çizelge E7.2 360 W mikrodalga çıkış gücünde 25 g ıspanağın kurutulmasına ait deneysel veriler

Kuruma Zamani (dakika)	Numune (g)	Nem İçeriği (g su. g kuru madde⁻¹)	Nem Oranı (MR)
0	25.00	11.57	1.00
0.5	24.18	11.15	0.96
1	22.59	10.35	0.89
1.5	20.70	9.40	0.81
2	18.41	8.25	0.71
2.5	16.01	7.04	0.61
3	13.57	5.81	0.50
3.5	11.29	4.67	0.40
4	9.18	3.61	0.31
4.5	7.23	2.63	0.22
5	5.55	1.78	0.15
5.5	4.20	1.11	0.09
6	3.36	0.69	0.06
6.34	2.93	0.47	0.04
6.67	2.62	0.31	0.02
7	2.51	0.26	0.02
7.34	2.36	0.18	0.01
7.67	2.25	0.13	0.01
8	2.20	0.10	0.008

Çizelge E7.3 540 W mikrodalga çıkış gücünde 25 g ıspanağın kurutulmasına ait deneysel veriler

Kuruma Zamanı (dakika)	Numune (g)	Nem İçeriği (g su. g kuru madde⁻¹)	Nem Oranı (MR)
0	25.00	11.57	1.00
0.35	24.23	11.17	0.96
0.65	22.95	10.53	0.91
1	21.29	9.70	0.83
1.35	19.40	8.75	0.75
1.65	17.34	7.71	0.66
2	15.16	6.62	0.57
2.35	13.10	5.58	0.48
2.65	11.02	4.54	0.39
3	9.10	3.57	0.30
3.35	7.50	2.76	0.24
3.65	6.02	2.02	0.17
4	4.73	1.37	0.12
4.35	3.80	0.91	0.07
4.65	3.14	0.57	0.05
5	2.65	0.33	0.03
5.35	2.44	0.22	0.02
5.65	2.25	0.13	0.01
6	2.20	0.10	0.008

Çizelge E7.4 720 W mikrodalga çıkış gücünde 25 g ıspanağın kurutulmasına ait deneysel veriler

Kuruma Zamanı (dakika)	Numune (g)	Nem İçeriği (g su. g kuru madde⁻¹)	Nem Oranı (MR)
0	25.00	11.57	1.00
0.34	23.82	10.96	0.94
0.67	21.84	9.97	0.86
1.00	19.35	8.72	0.75
1.35	15.87	6.97	0.60
1.65	12.43	5.25	0.45
2.00	9.82	3.93	0.34
2.35	7.50	2.77	0.23
2.65	5.51	1.76	0.15
3.00	4.02	1.02	0.08
3.35	2.98	0.49	0.04
3.65	2.46	0.24	0.02
3.85	2.25	0.13	0.011
4.0	2.20	0.10	0.008

Çizelge E7.5 900 W mikrodalga çıkış gücünde 25 g ıspanağın kurutulmasına ait deneysel veriler

Kuruma Zamanı (dakika)	Numune (g)	Nem İçeriği (g su. g kuru madde⁻¹)	Nem Oranı (MR)
0	25.00	11.57	1.00
0.35	23.71	10.41	0.94
0.65	21.55	9.02	0.84
1	18.57	7.46	0.72
1.35	15.31	5.21	0.57
1.65	12.09	3.87	0.43
2	9.30	2.76	0.31
2.35	6.80	1.98	0.20
2.65	4.78	0.75	0.12
3	3.33	0.21	0.05
3.35	2.68	0.11	0.03
3.5	2.20	0.10	0.008

Ek. 8 Ispanak numunesinin kurutulması sırasında mikrodalga çıkış gücünün renk değişimi üzerindeki etkisine ait deneysel veriler

Çizelge E8.1 180 W mikrodalga çıkış gücünde kurutulan 25 g ıspanağın renk değişimine ait deneysel veriler

Kuruma Zamanı (dakika)	L	a	b	ΔE
0	39.02	-15.72	18.89	0.00
6	36.20	-11.42	15.45	6.17
12	33.95	-8.52	11.80	11.30
15	32.11	-5.02	10.23	15.40
18	30.53	-3.36	9.89	17.47

Çizelge E8.2 360 W mikrodalga çıkış gücünde kurutulan 25 g ıspanağın renk değişimine ait deneysel veriler

Kuruma Zamanı (dakika)	L	a	b	ΔE
0	39.02	-15.72	18.89	0.00
2	36.42	-13.24	16.64	4.22
4	34.96	-9.89	13.16	9.11
6	32.62	-6.57	10.41	14.01
8	31.00	-4.88	9.28	18.23

Çizelge E8.3 540 W mikrodalga çıkış gücünde kurutulan 25 g ıspanağın renk değişimine ait deneysel veriler

Kuruma Zamanı (dakika)	L	a	b	ΔE
0	39.02	-15.72	18.89	0.00
2	35.41	-11.74	15.23	6.75
3	33.21	-9.58	12.56	10.80
4	31.20	-8.10	10.50	14.01
6	28.52	-5.12	7.82	18.82

Çizelge E8.4 720 W mikrodalga çıkış gücünde kurutulan 25 g ıspanağın renk değişimine ait deneysel veriler

Kuruma Zamanı (dakika)	L	a	b	ΔE
0	39.02	-15.72	18.89	0.00
0.5	36.52	-13.77	17.29	3.70
1	35.11	-12.55	15.74	6.07
2	32.23	-10.47	12.21	11.00
4	27.58	5.93	6.87	19.40

Çizelge E8.5 900 W mikrodalga çıkış gücünde kurutulan 25 g ıspanağın renk değişimine ait deneysel veriler

Kuruma Zamanı (dakika)	L	a	b	ΔE
0	39.02	-15.72	18.89	0.00
0.5	35.45	-12.85	14.85	6.05
1	32.74	-11.58	13.12	9.23
2	29.56	-8.67	10.00	15.05
3.5	27.05	-6.23	6.45	20.02

Ek. 9 İspanak numunesinin kurutulması sırasında mikrodalga çıkış gücünün rehidratasyon oranı üzerindeki etkisine ait deneysel veriler

Çizelge E9.1 180 W mikrodalga çıkış gücünde kurutulan 25 g ıspanağın rehidratasyon oranına ait deneysel veriler

Zaman (saniye)	Numune (g)	Nem İçeriği (g su. g kuru madde⁻¹)	Rehidratasyon Oranı (RR)
0	2.00	0.10	0.008
30	2.68	0.48	0.04
60	4.51	1.48	0.12
180	5.67	2.13	0.18
240	6.21	2.43	0.21
300	7.54	3.16	0.27
600	8.98	3.96	0.34
1200	9.87	4.45	0.38
3000	10.76	4.94	0.47
3600	11.78	5.50	0.49
7200	12.89	6.12	0.51
10800	13.54	6.48	0.56
12600	14.32	6.91	0.56
14400	14.78	7.16	0.57
18000	15.46	7.54	0.57

Çizelge E9.2 360 W mikrodalga çıkış gücünde kurutulan 25 g ıspanağın rehidratasyon oranına ait deneysel veriler

Zaman (saniye)	Numune (g)	Nem İçeriği (g su. g kuru madde⁻¹)	Rehidratasyon Oranı (RR)
0	2.00	0.10	0.008
30	3.08	0.70	0.06
60	4.78	1.64	0.14
180	5.98	2.30	0.19
240	6.67	2.68	0.23
300	7.87	3.34	0.28
600	9.45	4.22	0.36
1200	10.22	4.64	0.40
3000	11.67	5.44	0.54
3600	12.89	6.12	0.61
7200	14.66	7.10	0.65
10800	15.54	7.58	0.69
12600	16.32	8.01	0.69
14400	16.56	8.15	0.70
18000	16.87	8.32	0.71

Çizelge E9.3 540 W mikrodalga çıkış gücünde kurutulan 25 g ıspanağın rehidratasyon oranına ait deneysel veriler

Zaman (saniye)	Numune (g)	Nem İçeriği (g su. g kuru madde⁻¹)	Rehidratasyon Oranı (RR)
0	2.00	0.10	0.008
30	3.38	0.86	0.07
60	5.18	1.86	0.16
180	6.28	2.46	0.21
240	6.97	2.85	0.24
300	8.27	3.56	0.30
600	9.75	4.38	0.37
1200	13.43	6.41	0.55
3600	15.45	7.53	0.65
7200	16.34	8.02	0.69
10800	17.21	8.50	0.73
12600	17.43	8.62	0.74
14400	17.56	8.70	0.75
18000	17.98	8.93	0.77

Çizelge E9.4 720 W mikrodalga çıkış gücünde kurutulan 25 g ıspanağın rehidratasyon oranına ait deneysel veriler

Kuruma Zamanı (saniye)	Numune (g)	Nem İçeriği (g su. g kuru madde⁻¹)	Rehidratasyon Oranı (RR)
0	2.00	0.10	0.008
30	4.01	1.21	0.10
60	5.81	2.20	0.19
180	6.91	2.81	0.24
240	7.61	3.19	0.27
300	8.94	3.91	0.33
600	10.38	4.73	0.40
3000	15.95	7.81	0.67
3600	16.08	7.88	0.68
7200	17.65	8.75	0.75
10800	18.06	8.97	0.77
12600	18.25	9.08	0.78
14400	18.64	9.29	0.80
18000	19.08	9.54	0.82

Çizelge E9.5 900 W mikrodalga çıkış gücünde kurutulan 25 g ıspanağın rehidratasyon oranına ait deneysel veriler

Zaman (saniye)	Numune (g)	Nem İçeriği (g su. g kuru madde⁻¹)	Rehidratasyon Oranı (RR)
0	2.00	0.10	0.008
30	4.72	1.59	0.13
60	6.54	2.59	0.22
180	7.63	3.19	0.27
240	8.29	3.58	0.30
300	9.59	4.29	0.37
600	11.07	5.11	0.44
1200	14.75	7.14	0.61
2200	16.78	8.27	0.71
3600	17.77	8.81	0.76
7200	18.34	9.13	0.78
10800	18.75	9.35	0.80
12600	18.94	9.46	0.81
14400	19.33	9.67	0.83
18000	19.77	9.92	0.85

Ek 10. Sabit mikrodalga çıkış gücünde ıspanak numunesinin ağırlığının kuruma hızına ve kinetiğine olan etkisine ait deneysel veriler

Çizelge E10.1 360 W sabit mikrodalga çıkış gücü ve 25 g numune ağırlığında ıspanak numunesinin kurutulmasına ait deneysel veriler

Kuruma Zamani (dakika)	Numune (g)	Nem İçeriği (g su. g kuru madde⁻¹)	Nem Oranı (MR)
0	25.00	11.57	1.00
0.5	24.18	11.15	0.96
1	22.59	10.35	0.89
1.5	20.70	9.48	0.81
2	18.41	8.55	0.71
2.5	16.01	7.75	0.60
3	13.57	6.42	0.50
3.5	11.29	5.12	0.40
4	9.18	3.91	0.31
4.5	7.23	3.03	0.22
5	5.55	1.78	0.15
6	4.20	1.11	0.09
6.35	3.36	0.69	0.05
6.65	2.93	0.47	0.04
7	2.62	0.31	0.03
7.30	2.51	0.26	0.02
7.50	2.20	0.10	0.008

Çizelge E10.2 360 W sabit mikrodalga çıkış gücü ve 50 g numune ağırlığında ıspanak numunesinin kurutulmasına ait deneysel veriler

Kuruma Zamanı (dakika)	Numune (g)	Nem İçeriği (g su. g kuru madde⁻¹)	Nem Oranı (MR)
0	25.00	11.57	1.00
1	24.35	10.25	0.97
2	23.18	9.25	0.92
4	20.27	7.12	0.79
6	16.50	4.45	0.63
8	13.25	2.78	0.48
10	9.68	1.42	0.33
11	6.48	0.92	0.19
13	4.93	0.43	0.12
14	4.05	0.30	0.08
15	3.32	0.21	0.05
16	2.96	0.15	0.04
17	2.63	0.13	0.02
18	2.44	0.12	0.01
20	2.20	0.10	0.008

Çizelge E10.3 360 W sabit mikrodalga çıkış gücü ve 75 g numune ağırlığında ıspanak numunesinin kurutulmasına ait deneysel veriler

Kuruma Zamani (dakika)	Numune (g)	Nem İçeriği (g su. g kuru madde⁻¹)	Nem Oranı (MR)
0	75.00	11.57	1.00
2	70.12	10.20	0.88
3	65.57	9.34	0.80
4	60.95	8.45	0.73
6	51.06	6.76	0.58
8	39.21	4.67	0.45
10	27.92	3.08	0.46
12	18.82	1.78	0.35
14	11.63	0.83	0.22
14.5	10.63	0.65	0.20
15	9.72	0.58	0.17
16	8.62	0.45	0.14
17	8.02	0.38	0.12
18	7.57	0.29	0.11
18.5	7.42	0.27	0.10
19	7.32	0.21	0.08
19.5	7.26	0.20	0.07
20	7.22	0.19	0.07
20.30	7.05	0.16	0.04
20.60	6.88	0.14	0.03
21	6.84	0.13	0.02
21.30	6.86	0.13	0.02
21.60	6.75	0.12	0.01
22	6.59	0.10	0.008

Çizelge E10.4 360 W sabit mikrodalga çıkış gücü ve 100 g numune ağırlığında ıspanak numunesinin kurutulmasına ait deneysel veriler

Kuruma Zamani (dakika)	Numune (g)	Nem İçeriği (g su. g kuru madde⁻¹)	Nem Oranı (MR)
0	100.00	11.57	1.00
2	82.78	10.56	0.91
4	78.11	9.26	0.79
6	75.46	7.75	0.66
8	66.65	6.11	0.52
9	54.13	5.32	0.45
10	43.68	4.48	0.38
11	38.15	3.78	0.32
12	32.67	3.10	0.26
13	31.75	2.63	0.22
14	26.35	2.30	0.19
15	23.01	1.88	0.16
17	19.23	1.38	0.11
18	18.25	1.15	0.10
19	17.95	0.95	0.08
20	16.56	0.84	0.06
20.5	15.12	0.73	0.05
21	12.98	0.55	0.04
21.5	11.58	0.45	0.03
22	10.95	0.37	0.02
23	10.21	0.25	0.02
24	9.01	0.13	0.01
25	8.56	0.10	0.008

Ek. 11 Sabit mikrodalga çıkış gücünde ıspanak numunesinin ağırlığının renk değişimi üzerindeki etkisine ait deneysel veriler

Çizelge E11.1 360 W sabit mikrodalga çıkış gücü ve 25 g numune ağırlığında ıspanak numunesinin kurutulmasında renk değişimine ait deneysel veriler

Kuruma Zamanı (dakika)	L	a	b	ΔE
0	39.02	-15.72	18.89	0.00
2	36.42	-13.24	16.64	4.22
4	34.96	-9.89	13.16	9.11
6	32.62	-6.57	10.41	14.01
7.5	31.00	-4.88	9.28	18.23

Çizelge E11.2 360 W sabit mikrodalga çıkış gücü ve 50 g numune ağırlığında ıspanak numunesinin kurutulmasında renk değişimine ait deneysel veriler

Kuruma Zamanı (dakika)	L	a	b	ΔE
0	39.02	-15.72	18.89	0.00
6.0	36.20	-11.42	15.45	6.17
12.0	33.95	-8.52	11.80	11.30
15.0	32.11	-5.02	10.23	15.40
20.0	30.53	-3.36	9.89	17.47

Çizelge E11.3 360 W sabit mikrodalga çıkış gücü ve 75 g numune ağırlığında ıspanak numunesinin kurutulmasında renk değişimine ait deneysel veriler

Kuruma Zamanı (dakika)	L	a	b	ΔE
0	39.02	-15.72	18.89	0.00
6	38.03	-11.88	16.75	3.78
11	36.33	-8.88	14.75	6.94
18	34.34	-4.34	12.10	11.85
22	33.02	-1.01	10.69	15.27

Çizelge E11.4 360 W sabit mikrodalga çıkış gücü ve 100 g numune ağırlığında ıspanak numunesinin kurutulmasında renk değişimine ait deneysel veriler

Kuruma Zamanı (dakika)	L	a	b	ΔE
0	39.02	-15.72	18.89	0.00
7.5	38.23	-12.42	16.85	3.45
15	37.25	-7.77	14.21	7.48
22.5	36.23	-3.54	12.01	11.70
25	35.67	-0.75	11.56	13.45

Ek. 12 Sabit mikrodalga çıkış gücünde ıspanak numunesinin ağırlığının rehidratasyon oranı üzerindeki etkisine ait deneysel veriler

Çizelge E12.1 360 W sabit mikrodalga çıkış gücü ve 25 g numune ağırlığında ıspanak numunesinin kurutulmasında rehidratasyon oranına ait deneysel veriler

Zaman (saniye)	Numune (g)	Nem İçeriği (g su. g kuru madde⁻¹)	Rehidratasyon Oranı (RR)
0	2.00	0.10	0.008
30	3.08	0.70	0.06
60	4.78	1.64	0.14
180	5.98	2.30	0.19
240	6.67	2.68	0.23
300	7.87	3.34	0.28
600	9.45	4.22	0.36
1200	10.22	4.64	0.40
3000	11.67	5.44	0.54
3600	12.89	6.12	0.61
7200	14.66	7.10	0.65
10800	15.54	7.58	0.69
12600	16.32	8.01	0.69
14400	16.56	8.15	0.70
18000	16.87	8.32	0.71

Çizelge E12.2 360 W sabit mikrodalga çıkış gücü ve 50 g numune ağırlığında ıspanak numunesinin kurutulmasında rehidratasyon oranına ait deneysel veriler

Zaman (saniye)	Numune (g)	Nem İçeriği (g su. g kuru madde⁻¹)	Rehidratasyon Oranı (RR)
0	2.00	0.10	0.008
30	2.68	0.48	0.04
60	4.51	1.48	0.12
180	5.67	2.13	0.18
240	6.21	2.43	0.21
300	7.54	3.16	0.27
600	8.98	3.96	0.34
1200	9.87	4.45	0.38
3000	10.76	4.94	0.47
3600	11.78	5.50	0.49
7200	12.89	6.12	0.51
10800	13.54	6.48	0.56
12600	14.32	6.91	0.56
14400	14.78	7.16	0.57
18000	15.46	7.54	0.57

Çizelge E12.3 360 W sabit mikrodalga çıkış gücü ve 75 g numune ağırlığında ıspanak numunesinin kurutulmasında rehidratasyon oranına ait deneysel veriler

Zaman (saniye)	Numune (g)	Nem İçeriği (g su. g kuru madde⁻¹)	Rehidratasyon Oranı (RR)
0	2.00	0.10	0.008
30	2.25	0.24	0.02
60	4.07	1.24	0.10
180	5.24	1.89	0.16
240	5.78	2.19	0.18
300	7.11	2.92	0.25
600	8.55	3.72	0.32
1200	9.44	4.21	0.36
3000	10.33	4.70	0.40
3600	11.35	5.27	0.45
7200	12.46	5.88	0.47
10800	13.11	6.24	0.48
12600	13.89	6.67	0.5
14400	14.35	6.92	0.51
18000	15.03	7.30	0.52

Çizelge E12.4 360 W sabit mikrodalga çıkış gücü ve 100 g numune ağırlığında ıspanak numunesinin kurutulmasında rehidratasyon oranına ait deneysel veriler

Zaman (saniye)	Numune (g)	Nem İçeriği (g su. g kuru madde⁻¹)	Rehidratasyon Oranı (RR)
0	2.00	0.10	0.008
30	2.04	0.12	0.01
60	3.86	1.13	0.12
180	5.03	1.77	0.15
240	5.57	2.07	0.17
300	6.92	2.81	0.24
600	8.34	3.60	0.31
1200	9.23	4.09	0.35
3000	10.12	4.59	0.39
3600	11.14	5.15	0.40
7200	12.25	5.76	0.43
10800	12.92	6.12	0.45
12600	13.68	6.55	0.46
14400	14.14	6.81	0.47
18000	14.82	7.18	0.48

ÖZGEÇMİŞ

Doğum tarihi 15.01.1982

Doğum yeri İstanbul

Lise 1995-1999 Pertevniyal Lisesi (Yabancı Dil Ağırlıklı)

Lisans 1999-2004 Yıldız Üniversitesi Kimya-Metalürji Fakültesi
Kimya Mühendisliği Bölümü

Yüksek Lisans 2004-2006 Yıldız Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü
Kimya Mühendisliği Anabilim Dalı

Aldığı burs(lar)

TUBİTAK 01/03/2005- 30/09/2006 Yüksek Lisans Bursiyerliği