

**T.C.
YILDIZ TEKNİK ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

**MELİSA YAPRAKLARININ MİKRODALGA TEKNİĞİ KULLANILARAK
KURUMA, REHİDRATASYON VE RENK DEĞİŞİM KİNETİĞİNİN
İNCELENMESİ VE MODELLENMESİ**

AHMET ERGUN DOĞAN

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

**DANIŞMAN
YRD. DOÇ. DR. ELÇİN YILMAZ**

İSTANBUL, 2017

T.C.
YILDIZ TEKNİK ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

**MELİSA YAPRAKLARININ MİKRODALGA TEKNİĞİ KULLANILARAK KURUMA,
REHİDRATASYON VE RENK DEĞİŞİM KİNETİĞİNİN İNCELENMESİ VE
MODELLENMESİ**

Ahmet Ergun DOĞAN tarafından hazırlanan tez çalışması 20.11.2017 tarihinde aşağıdaki jüri tarafından Yıldız Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Kimya Mühendisliği Anabilim Dalı'nda **YÜKSEK LİSANS TEZİ** olarak kabul edilmiştir.

Tez Danışmanı

Yrd. Doç. Elçin DEMİRHAN YILMAZ

Yıldız Teknik Üniversitesi

Jüri Üyeleri

Yrd. Doç. Elçin DEMİRHAN YILMAZ

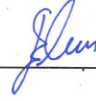
Yıldız Teknik Üniversitesi

Prof. Dr. Jale GÜLEN

Yıldız Teknik Üniversitesi

Yrd. Doç. Dr. Kadriye KIZILBEY

İstanbul Yeni Yüzyıl Üniversitesi



ÖNSÖZ

Bu çalışma Yıldız Teknik Üniversitesi, Kimya Mühendisliği Ana Bilim Dalı, Kimya Mühendisliği programında yüksek lisans tezi olarak hazırlanmıştır.

Bizler ülkemizin geleceğini garanti altına alacak olan genç ve dinamik mühendisler olarak ülkemiz sanayisinin ihtiyaç duyduğu bilgi ve teknolojiyi sağlamada en önde sıralarda durmalıyız. Bu doğrultuda hazırlanan bu çalışmanın da ilgili sektöre bir kaynak olmasını temenni ediyorum.

Bu çalışmanın hazırlanmasında bana her zaman destek olan ailem ile bir an bile desteğini, bilgisini, tecrübesini esirgemedi her daim bana yol gösteren sayın hocam Yrd. Doç. Dr. Elçin DEMİRHAN YILMAZ ve kendisiyle çalışmama vesile olan sayın Prof. Dr. Belma KIN ÖZBEK hocama, ayrıca bize ilk numunelerimiz sağlayan Zeytinburnu Tıbbi Bitkiler Bahçesi yönetim ve çalışanlarına teşekkürü borç bilirim.

Kasım 2017

Ahmet Ergun Doğan

	Sayfa
SİMGE LİSTESİ.....	vii
KISALTMA LİSTESİ.....	viii
ŞEKİL LİSTESİ.....	ix
ÇİZELGE LİSTESİ	x
ÖZET	xi
ABSTRACT.....	xiii
BÖLÜM 1	
GİRİŞ.....	1
1.1 Literatür Özeti	1
1.2 Tezin Amacı	1
1.3 Hipotez.....	2
BÖLÜM 2	
BİTKİLERİN KURUTULMASI.....	3
2.1 Kurutma Yöntemleri.....	4
2.1.1 Doğal Kurutma	4
2.1.2 Yapay Kurutma Yöntemleri	4
2.3 Kurutma Hızına Etki Eden Parametreler	5
2.3.1 Malzemenin Yapısı	5
2.3.2 Boyut, Şekil Ve Kurutma Sırasında Malzemelerin Dizilişi	5
2.3.3 Bağıl Nem Ve Ortamın Su İçeriği.....	6
2.3.4 Ortamın Sıcaklığı	6
2.3.5 Kurutma Havaının Hızı	7
2.4 Kurutma Sırasında Meydana Gelen Değişimler	7
2.4.1 Fiziksel Değişimler	7
2.4.1 Kimyasal Değişimler	8
2.4.2 Biyokimyasal Değişimler	9
BÖLÜM 3	
ENDÜSTRİYEL KURUTMA SİSTEMLERİ.....	12
3.1 Endüstriyel Kurutucu Tipleri.....	12
3.1.1 Kabin Tipi Kurutucular	12
3.1.2 Tünel Kurutucular	13

3.1.3 Flaş (Alevli) Kurutucular	14
3.1.4 Püskürtmeli Kurutucular	14
3.1.5 Döner Kurutucular	15
3.1.6 Mikrodalga Kurutucular	16
3.1.7 Dondurarak Kurutan Kurutucular	16
3.1.8 Akışkan Yataklı Kurutucular	16
3.2 Endüstriyel Kurutucuların Sınıflandırılması	17
BÖLÜM 4	
MİKRODALGA KURUTMA PROSESİNİN ENDÜSTRİDE KULLANIMI	18
4.1 Mikrodalga Enerjisi Ve Gıda Endüstrisinde Kullanımı	18
4.2 Mikrodalga Kurutucuların İşleyiş Mekanizması	19
4.3 Mikrodalga Kurutmaya Etki Eden Parametreler	19
4.3.1 Kurutulan Malzemenin Miktarı	19
4.3.2 Gıdanın Su İçeriği	19
4.3.3 Isı Transferi	19
4.3.4 Mikrodalganın Çıkış Gücü	20
4.4 Mikrodalga Fırının Bileşenleri	20
4.4.1 Güç Ünitesi	20
4.4.2 Magnetron	20
4.4.3 Dalga Kılavuzu	21
4.4.5 Karıştırıcı Fan	21
4.5 Mikrodalga Kurutmanın Avantaj Ve Dezavantajları	21
4.6 Mikrodalgalarda Güvenlik Standardı	22
BÖLÜM 5	
MİKRODALGA KURUTMA İLE İLGİLİ YAPILMIŞ ÖRNEK ÇALIŞMALAR	23
BÖLÜM 6	
MELİSA BİTKİSİ HAKKINDA BİLGİLER VE YAPILMIŞ ÇALIŞMALAR	26
6.1 Melisa Bitkisi Üzerinde Yapılmış Örnek Çalışmalar	26
BÖLÜM 7	
MATERYAL VE YÖNTEM	32
7.1 Kullanılan Cihazlar Ve Materyaller	32
7.1.1 Mikrodalga Fırın	33
7.1.2 Renk Ölçüm Cihazı	35
7.1.3 Su Banyosu	37

7.1.4 Hassas Terazi.....	38
7.2 Deneyin Yapılışı	38
7.2.1 Mikrodalga Fırında Kurutma Deneyi.....	38
7.2.2 Renk Değişiminin İncelenmesi	38
7.2.3 Rehidratasyon Deneyi.....	38
7.4 Hesaplamalar	39
7.4.1 Kurutma Hızı Belirlenmesi.....	39
7.4.2 Renk Değişiminin Belirlenmesi.....	40
7.4.3 Rehidratasyon Hızının Belirlenmesi	42
7.5 Modelleme Çalışmaları	42
7.5.1 Kuruma Kinetiğine Ait Model Çalışmaları	42
7.5.2 Renk Değişimi İçin Yapılan Kinetik Çalışmalar	44
7.5.3 Rehidratasyon Kapasitesi İçin Yapılan Hesaplar	44
7.5.4 Aktivasyon Enerjisinin Hesaplanması	46
BÖLÜM 8	
ARAŞTIRMA VERİLERİ.....	47
8.1 Mikrodalga Çıkış Gücünün Melisa Yapraklarının Kuruma, Renk Değişim Ve Rehidratasyon Kinetiği.....	47
8.1.1 Mikrodalga Çıkış Gücünün Melisa Yapraklarının Kuruma Kinetiği Üzerine Etkisi.....	47
8.1.2 Mikrodalga Çıkış Gücünün Melisa Numunesinin Renk Değişimi Üzerine Etkisi.....	52
8.1.3 Mikrodalga Çıkış Gücünün Melisa Numunesinin Rehidratasyon Oranı Üzerindeki Etkisi.....	63
8.2 Sabit Mikrodalga Çıkış Gücünde Melisa Yapraklarının Kuruma, Renk Değişim Ve Rehidratasyon Kinetiği.....	65
8.2.1 Melisa Numunesinin Ağırlığının Kuruma Kinetiğine Etkisi.....	65
8.2.2 Numune Ağırlığının Renk Değişimine Etkisi	69
8.2.4 Sıcaklığın Melisa Numunesinin Rehidratasyonuna Etkisi	77
BÖLÜM 9	
SONUÇ VE ÖNERİLER	79
EK-A	
MELİSSA OFFİCİNALİS L. YAPRAKLARININ KURUTULMASI SIRASINDA MİKRODALGA ÇIKIŞ GÜCÜ VE NUMUNE MİKTARININ NEM ORANINA OLAN ETKİSİNE AİT DENEYSEL VERİLER.....	85
EK-B	

MELİSSA OFFİCİNALİS L. YAPRAKLARININ KURUTULMASI SIRASINDA MİKRODALGA ÇIKIŞ GÜCÜ VE NUMUNE MİKTARININ KURUMA HIZINA OLAN ETKİSİNE AİT VERİLER.....90

EK-C

MELİSSA OFFİCİNALİS L. YAPRAKLARININ KURUTULMASI SIRASINDA MİKRODALGA ÇIKIŞ GÜCÜ VE NUMUNE MİKTARININ ETKİN DİFÜZİVİTE KATSAYISINA ETKİSİNE AİT VERİLER.....94

EK-D

MELİSSA OFFİCİNALİS L. YAPRAKLARININ KURUTULMASI SIRASINDA MİKRODALGA ÇIKIŞ GÜCÜ VE NUMUNE MİKTARININ RENK DEĞİŞİMİNE ETKİSİNE AİT VERİLER.....97

EK-E

MELİSSA OFFİCİNALİS L. YAPRAKLARININ KURUTULMASI SIRASINDA MİKRODALGA ÇIKIŞ GÜCÜ VE NUMUNE MİKTARININ RENK DEĞİŞİMİNE ETKİSİNE AİT VERİLER.....100

EK-F

KURUTULMUŞ MELİSSA OFFİCİNALİS L. YAPRAKLARININ REHİDRATASYONU SIRASINDA FARKLI MİKRODALGA ÇIKIŞ GÜCÜ VE NUMUNE MİKTARLARINDA GÖZLENEN NEM İÇERİĞİ DEĞİŞİMİ MİKTARLARI VE MODEL DEĞERLERİ.....103

SİMGE LİSTESİ

a	Yeşil ve kırmızı renkler arası uzayı ifade eden değer
A, C ₀	Katsayı
b	Mavi ve sarı renkler arası uzayı ifade eden değer
Deff	Etkin difüzivite katsayısı
DR	Kuruma oranı
e	e sayısı
e-	elektron
HO	Hidroksit bileşiği
H	Hidrojen elementi
k, k ₀	Kinetik sabit
L	Uzunluk
L	Lightness (beyazlık)
M _t	Herhangi bir t anındaki nem içeriği (g su/ g kuru madde-1)
M _e	Denge nem içeriği (g su/ g kuru madde)
M	Herhangi bir andaki nem
M ₀	t=0 anındaki nem
MR	Nem oranı
O	Oksijen elementi
t	zaman
W ₀	Numunenin ilk ağırlığı (kg)
W _t	Numunenin t anındaki ağırlığı (kg)
W _k	Numunenin toplam kuru ağırlığı (kg)
ΔE	Renk farkı
π	Pi sayısı

KISALTMA LİSTESİ

AC	Doğru akım
BI	Kahverengileşme indeksi
CV	Kroma açısı değeri
g	Gram
HA	Hue açısı
Hz	Hertz
kg	Kilogram
L	Litre
MW	Mikrodalga
mm	milimetre
MHz	Megahertz
V	Volt
W	Watt

ŞEKİL LİSTESİ

	Sayfa
Şekil 2.1	Gıdaların kuruma hızına ait eğri.....5
Şekil 2.2	Bağıl nem ve ürünün nem miktarı arasındaki ilişki.....6
Şekil 2.3	Gıdaların kurutulması sırasında meydana gelen askorbik asit oksidasyonu.....10
Şekil 3.1	Kabin tipi kurutucu örneği 12
Şekil 3.2	Tünel tipi kurutucu örneği.....13
Şekil 3.3	Püskürtmeli kurutucu sistemi örneği.....14
Şekil 3.4	Döner kurutucu örneği.....15
Şekil 3.5	Isı transfer yöntemine göre kurutucuların sınıflandırılması.....16
Şekil 4.1	Elektromanyetik dalga spektrumu.....20
Şekil 5.1	Sabit debili hava akışlarında bağıl nem eğrilerinin grafiği ve adsorbsiyon desorpsiyon değerleri ile karşılaştırılması.....23
Şekil 7.1	Melissa Officinalis L.....32
Şekil 7.2	Arçelik MD 594 mikrodalga fırın.....33
Şekil 7.3	Konica Minolta CR-400 (sağda) ve DP-400 (solda) cihazlarının görünümü.....34
Şekil 7.4	Hunter (L, a, b) renk skalası.....35
Şekil 7.5	Su banyosu.....35
Şekil 8.1	Farklı çıkış güçlerinde elde edilen kuruma verileri.....47
Şekil 8.2	Farklı çıkış güçlerinde kuruma hızları 48
Şekil 8.3	Farklı çıkış güçlerinde elde edilen nem oranı verileri ve hesaplanan model verileri.....50
Şekil 8.4	Farklı mikrodalga çıkış güçlerinde melisa yapraklarına ait $\ln(MR)$ değerleri ve model değerleri.....51
Şekil 8.5	Farklı çıkış güçlerinde L değerleri ve model değerleri.....53
Şekil 8.6	Farklı çıkış güçlerinde a değerleri ve model değerleri.....54
Şekil 8.7	Farklı çıkış güçlerinde b değerleri ve model değerleri.....57
Şekil 8.8	Farklı çıkış güçlerinde kroma değerleri ve model değerleri 57
Şekil 8.9	Farklı çıkış güçlerinde browning index değerleri ve model değerleri.....59
Şekil 8.10	Farklı çıkış güçlerinde toplam renk değişimi değerleri ve model değerleri.....60
Şekil 8.11	Farklı çıkış güçlerinde hue açısı verileri ve modelleme değerleri.....61

Şekil 8.12	Farklı çıkış güçlerinde nem içeriğinin rehidratasyon süresine bağlı değişimi.....	64
Şekil 8.13	Yüksek gramajlarda elde edilen kuruma verileri.....	65
Şekil 8.14	Yüksek gramajlı numunelerin kuruma hızı	66
Şekil 8.15	Yüksek gramajda elde edilen nem oranı verileri ve hesaplanan model verileri.....	67
Şekil 8.16	Yüksek gramajda elde edilen $\ln(MR)$ verileri ve hesaplanan model verileri.....	68
Şekil 8.17	Yüksek gramajda L değerleri ve model değerleri.....	69
Şekil 8.18	Yüksek gramajda a değerleri ve model değerleri.....	70
Şekil 8.19	Yüksek gramajda b değerleri ve model değerleri.....	71
Şekil 8.20	Yüksek gramajda kroma değerleri ve model değerleri	72
Şekil 8.21	Yüksek gramajda browning index değerleri ve model değerleri	73
Şekil 8.22	Yüksek gramajda toplam renk değişimi değerleri ve model değerleri ...	74
Şekil 8.23	Yüksek gramajda hue açısı verileri ve modelleme değerleri	76

ÇİZELGE LİSTESİ

	Sayfa
Çizelge 2.1	Gıdaların kurutulması sırasında oluşan değişimler.....7
Çizelge 6.1	Melissa officinalis'in farklı ekstrat çözeltilerindeki fenolik ve flavonoid bileşimleri.....27
Çizelge 6.2	Melissa Officinalis L.'nin esansiyel yağının kimyasal yapısı.....28
Çizelge 7.1	Mikrodalga fırının özellikleri.....33
Çizelge 7.2	Renk ölçüm cihazı özellikleri.....34
Çizelge 7.3	Hunter renk skalası sembolleri ve anlamları.....36
Çizelge 8.1	Mikrodalga tekniğiyle kurutma işleminden elde edilen verilerden yola çıkılarak yapılan modelleme çalışmalarına ait veriler.....48
Çizelge 8.2	L değeri modelleme çalışmasına ait farklı çıkış güçlerinde elde edilmiş veriler.....52
Çizelge 8.3	a değeri modelleme çalışmasına ait farklı çıkış güçlerinde elde edilmiş veriler.....54
Çizelge 8.4	b değeri modelleme çalışmasına ait farklı çıkış güçlerinde elde edilmiş veriler.....55
Çizelge 8.5	Kroma değeri modelleme çalışmasına ait farklı çıkış güçlerinde elde edilmiş veriler.....57
Çizelge 8.6	Kahverengileşme indeksi (BI) değeri modelleme çalışmasına ait farklı çıkış güçlerinde elde edilmiş veriler.....58
Çizelge 8.7	Toplam renk değişimi değeri modelleme çalışmasına ait farklı çıkış güçlerinde elde edilmiş veriler.....59
Çizelge 8.8	Hue açısı değeri modelleme çalışmasına ait farklı çıkış güçlerinde elde edilmiş veriler.....61
Çizelge 8.9	Farklı çıkış güçlerinde elde edilen rehidratasyon modelleri katsayıları...62
Çizelge 8.10	Mikrodalga tekniğiyle kurutma işleminden elde edilen verilerden yola çıkılarak yapılan modelleme çalışmalarına ait veriler.....66
Çizelge 8.11	L değeri modelleme çalışmasına ait farklı gramajlarda elde edilmiş veriler.....68
Çizelge 8.12	a değeri modelleme çalışmasına ait farklı gramajlarda elde edilmiş veriler.....70
Çizelge 8.13	b değeri modelleme çalışmasına ait farklı gramajlarda elde edilmiş veriler.....71
Çizelge 8.14	Kroma değeri modelleme çalışmasına ait farklı gramajlarda elde edilmiş veriler.....72
Çizelge 8.15	kahverengileşme indeksi (BI) değeri modelleme çalışmasına ait farklı gramajlarda elde edilmiş veriler 73
Çizelge 8.16	Toplam renk değişimi değeri modelleme çalışmasına ait farklı gramajlarda elde edilmiş veriler.....74
Çizelge 8.17	Hue açısı değeri modelleme çalışmasına ait farklı gramajlarda elde edilmiş veriler.....75
Çizelge A.1	180 W çıkış gücünde nem kütlesi değişimi.....85
Çizelge A.2	360 W çıkış gücünde nem kütlesi değişimi.....86
Çizelge A.3	540 W çıkış gücünde nem kütlesi değişimi.....86

Çizelge A.4	720 W çıkış gücünde nem kütlesi değişimi.....	86
Çizelge A.5	900 W çıkış gücünde nem kütlesi değişimi.....	87
Çizelge A.6	360 W çıkış gücünde 5 g numune için nem kütlesi değişimi.....	87
Çizelge A.7	360 W çıkış gücünde 7.5 g numune için nem kütlesi değişimi.....	88
Çizelge A.8	360 W çıkış gücünde 12.5 g numune için nem kütlesi değişimi.....	88
Çizelge B.1	180 W çıkış gücünde kuruma hızı.....	90
Çizelge B.2	360 W çıkış gücünde kuruma hızı.....	90
Çizelge B.3	540 W çıkış gücünde kuruma hızı.....	90
Çizelge B.4	720 W çıkış gücünde kuruma hızı.....	91
Çizelge B.5	900 W çıkış gücünde kuruma hızı.....	91
Çizelge B.6	360 W çıkış gücünde 5 g numunenin kuruma hızı.....	92
Çizelge B.7	360 W çıkış gücünde 7.5 g numunenin kuruma hızı.....	92
Çizelge B.8	360 W çıkış gücünde 12.5 g numunenin kuruma hızı.....	93
Çizelge C.1	180 W çıkış gücü için hesaplanan etkin difüzyon katsayıları.....	94
Çizelge C.2	360 W çıkış gücü için hesaplanan etkin difüzyon katsayıları.....	94
Çizelge C.3	540 W çıkış gücü için hesaplanan etkin difüzyon katsayıları.....	94
Çizelge C.4	720 W çıkış gücü için hesaplanan etkin difüzyon katsayıları.....	95
Çizelge C.5	900 W çıkış gücü için hesaplanan etkin difüzyon katsayıları.....	95
Çizelge C.6	360 W çıkış gücü ve 5 g numune için hesaplanan etkin difüzyon katsayıları.....	95
Çizelge C.7	360 W çıkış gücü ve 7,5 g numune için hesaplanan etkin difüzyon katsayıları.....	96
Çizelge C.8	360 W çıkış gücü ve 12,5 g numune için hesaplanan etkin difüzyon katsayıları.....	96
Çizelge D.1	180 W çıkış gücünde ölçülen renk değerleri.....	97
Çizelge D.2	360 W çıkış gücünde ölçülen renk değerleri.....	97
Çizelge D.3	540 W çıkış gücünde ölçülen renk değerleri.....	98
Çizelge D.4	720 W çıkış gücünde ölçülen renk değerleri.....	98
Çizelge D.5	900 W çıkış gücünde ölçülen renk değerleri.....	98
Çizelge D.6	360 W çıkış gücü ve 5 g numune miktarı için ölçülen renk değerleri.....	99
Çizelge D.7	360 W çıkış gücü ve 7.5 g numune miktarı için ölçülen renk değerleri.....	99
Çizelge D.8	360 W çıkış gücü ve 12.5 g numune miktarı için ölçülen renk değerleri.....	99
Çizelge E.1	180 W çıkış gücünde elde edilen deney verileri.....	100
Çizelge E.2	360 W çıkış gücünde elde edilen deney verileri.....	100
Çizelge E.3	540 W çıkış gücünde elde edilen deney verileri.....	101
Çizelge E.4	720 W çıkış gücünde elde edilen deney verileri.....	101
Çizelge E.5	900 W çıkış gücünde elde edilen deney verileri.....	101
Çizelge E.6	360 W çıkış gücü ve 5 g numune miktarı için ölçülen renk değerleri.....	102
Çizelge E.7	360 W çıkış gücü ve 5 g numune miktarı için ölçülen renk değerleri.....	102
Çizelge E.8	360 W çıkış gücü ve 12.5 g numune miktarı için ölçülen renk değerleri.....	102
Çizelge F.1	180 W çıkış gücünde kurutulmuş melisa yapraklarının rehidratasyon sırasında nem içeriği değişimi ve model değerleri.....	103
Çizelge F.2	360 W çıkış gücünde kurutulmuş melisa yapraklarının rehidratasyon sırasında nem içeriği değişimi ve model değerleri.....	104
Çizelge F.3	540 W çıkış gücünde kurutulmuş melisa yapraklarının rehidratasyon sırasında nem içeriği değişimi ve model değerleri.....	104

Çizelge F.4	720 W çıkış gücünde kurutulmuş melisa yapraklarının rehidratasyon sırasında nem içeriği değişimi ve model değerleri.....	104
Çizelge F.5	900 W çıkış gücünde kurutulmuş melisa yapraklarının rehidratasyon sırasında nem içeriği değişimi ve model değerleri.....	105
Çizelge F.6	Kurutulmuş melisa yapraklarının 30 °C rehidratasyon sıcaklığı sırasında nem içeriği değişimi ve model değerleri	105
Çizelge F.7	Kurutulmuş melisa yapraklarının 45 °C rehidratasyon sıcaklığı sırasında nem içeriği değişimi ve model değerleri	105
Çizelge F.8	Kurutulmuş melisa yapraklarının 55 °C rehidratasyon sıcaklığı sırasında nem içeriği değişimi ve model değerleri	106
Çizelge F.9	Kurutulmuş melisa yapraklarının 70 °C rehidratasyon sıcaklığı sırasında nem içeriği değişimi ve model değerleri	106



**MELİSA YAPRAKLARININ MİKRODALGADA KURUMA
REHİDRATASYON VE RENK DEĞİŞİM KİNETİĞİNİN İNCELENMESİ
VE MODELLENMESİ**

Ahmet Ergun Doğan

Kimya Mühendisliği Anabilim Dalı

Yüksek Lisans Tezi

Tez Danışmanı: Yard. Doç. Dr. Elçin DEMİRHAN YILMAZ

Kurutma sebze ve meyvelerde raf ömrünü uzatmak için kullanılan bilinen en eski yöntemlerden biridir. Eskiden güneşte kurutma ile uygulanan bu yöntem gerek açık havadan kaynaklanan kirliliklerin ve böcek kuş vb. canlıların etkilerinden gerekse sanayileşme ve makineleşmeyle başlayan seri üretim yöntemlerinin daha verimli, hızlı ve kârlı olmasından dolayı yerini farklı yöntemlere bırakmıştır. Bu tez çalışmasında da sakınleştirici etkisi ile bilinen melisa (*Melissa officinalis*) bitkisinin mikrodalga yöntemle kurutulması, renk değişiminin incelenmesi (L , a , b değerleri) ve farklı sıcaklıklarda rehidratasyonu incelenmiştir. Ayrıca elde edilen verilerden yola çıkılarak uygun bir modelleme yapılmıştır. Sonuç olarak en ideal olan 360 W değerinde 6 dakika gibi çok kısa bir sürede ticari seviyede kurutulmuş bir ürün elde edilmiştir.

Anahtar Kelimeler: Melisa, Mikrodalga Kurutma, Rehidratasyon, Renk

ABSTRACT

INVESTIGATION AND MODELLING OF MICROWAVE DRYING, REHYDRATATION AND COLOR CHANGE KINETICS OF MELISSA LEAVES

Ahmet Ergun Doğan

Department of Chemical Engineering

MSc. Thesis

Adviser: Assist. Prof. Elçin DEMİRHAN YILMAZ

Drying is one of the oldest method for increasing shelf life of fruits and vegetables. In the past, method which used to dry under sunlight caused troubles like contamination of foods with dirt, dust, bugs etc. is replaced with industrial method which has high yield and also much more faster. In this study, we worked on microwave drying of melissa (*Melissa officinalis*), color change while drying (L, a, b values) and rehydration capacity of dried melissa at different temperatures. Also with the obtained data, we created a mathematical model. As a result at 360 W which is optimum value we found, we had a trade quality product only in 6 minutes.

Keywords: Melissa, Microvawe Drying Rehydration, Color

BÖLÜM 1

GİRİŞ

1.1 Literatür Özeti

Gıda sektöründe kurutma, gıdaların uzun süre saklanması amacıyla yüzyıllardır kullanılan, sektörde ve endüstride oldukça geniş kullanım alanı bulan, süblimleştirme ya da ısıtarak buharlaştırma yoluyla içeriğindeki suyun maddeden uzaklaştırılması yöntemidir.

Gıdaların kurutularak saklanması çok eski dönemlere dayanmaktadır. Güneş altında açık havada kurutma ile besinlerin uzak mesafelere taşınması, uzun zaman saklanması sağlanmıştır. Bu her ne kadar doğal bir yöntem olsa da havadan bulaşan kontamine ediciler, böceklenme sorunları gibi sebeplerden ve kurutma süresinin çok uzun olmasından dolayı verimi düşüktür.

Bilinen en eski yapay ortamda endüstriyel kurutma işlemi 1975 yılında Fransa’da fırın kullanılarak gerçekleştirilmiştir. Bu yöntemin etkinliği ve verimliliği sayesinde ilerleyen yıllarda oldukça sık bir şekilde kullanılmaya başlanmış, günümüzde ise oldukça yaygın bir proses haline gelmiştir.

Zamanla gelişen teknolojiler mevcut sıcak hava fırınlarından daha hızlı kurutma sağlayacak mikrodalga fırınları ortaya koymuştur. Bu çalışmada da mikrodalga teknolojisi ile çay yapımında kullanılan melisa bitkisinin kurutulması, rehidratasyonu ve renk değişiminin ölçümü incelenmiştir.

1.2 Tezin Amacı

Bu çalışmada da mikrodalga teknolojisi ile medikal etkileri olan melisa bitkisinin kurutulması, rehidratasyonu ve renk değişiminin ölçümü incelenmiş ve modellenmiştir.

1.3 Hipotez

Melisa bitkisi Dünya'nın birçok yerinde yetişebilen, uzun yıllardır tıbbi amaçlarla kullanılan tek yıllık hoş kokulu bir bitkidir. Bu çalışmadaki amaç *Melissa Officinalis* L. bitkisine ait yaprakların mikrodalga fırın ile kurutulması ve bu sırada oluşan renk değişimleri ile rehidratasyon kapasitesinin ölçülmesidir.



BÖLÜM 2

BİTKİLERİN KURUTULMASI

Kurutma genel olarak yapıdaki suyun, yapıdan uzaklaştırılması şeklinde tanımlanır. Gıdaların kurutulması gıdanın ömrünü arttırmakta, hacimce küçülme sayesinde taşımayı kolaylaştırmakta, maliyeti azaltmakta, ayrıca paket, nakliyat için gerekli yakıt harcaması gibi kirlilik oluşturan etkenlerin de azalmasını sağlamaktadır.

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 [1].

Tüm bu sebeplerden kurutma, gıdaların korunmasında en iyi yöntem olarak bilinmektedir ve tarih boyunca kullanılmıştır. Örneğin milattan öncesine ait yerleşim yerlerinde bulunmuş özellikle kurutulmuş buğday, arpa gibi besinler, kuzey ülkelerinde balıkçıların avlarını yüzyıllardır kurutarak saklaması, Cristoph Colomb'un keşifler öncesi kurutulmuş gıdaları tercih etmesi bunun en önemli örneklerindendir.

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. Özellikle savaş dönemlerinde; erzakın cephelere taşınması sırasında daha hafif olması ve daha uzun süre saklanabilmesi gibi avantajlarından dolayı kurutulmuş gıdalar tercih edilmiş ve gıdaların kurutulması yaygın olarak kullanılmaya başlamıştır. [1].

2.1 Kurutma Yöntemleri

2.1.1 Doğal Kurutma

En basit, sade ve en temel yöntemdir. Güneş enerjisi kullanılarak yapılan kurutma işlemidir. En genel ve yaygın olarak kullanılan güneşte kurutma yöntemi doğal bir yöntem olup, toz, kir, böceklenme, kuşlar ve diğer canlılar tarafından etkilenme başta olmak üzere birçok problem getirmektedir. Her yerde ve her mevsimde güneşten faydalanarak kurutma mümkün olmaması, ürünün dış etkiye maruz kalması, kurutmayla birlikte hafif bir fermantasyon meydana gelebilme riski yapay kurutma sistemlerinin zamanla güneşte kurutmaya tercih edilme nedenleri arasında yer almaktadır. Oldukça uzun süren bir işlem olması, daha hızlı, hijyenik ve homojen özellik taşıyan endüstriyel boyutlu, farklı kurutma metotlarının gelişimini teşvik etmiştir [2].

2.1.2 Yapay Kurutma Yöntemleri

Kurutma işleminin özel koşullandırılmış ve kontrol edilebilir alanlarda yapılmasına yapay kurutma denir. 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 [1].

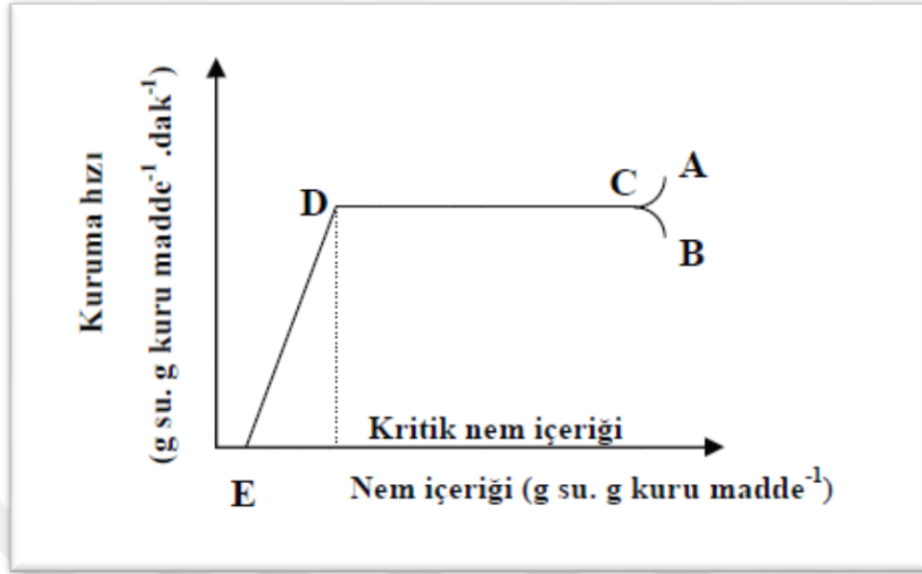
2.2 Kurutmanın Ana Prensipleri ve Aşamaları

Kurutma basitçe suyun nemli malzemenin yapısından uzaklaştırılması şeklinde tarif edilse de aslında malzeme ve çevre ortam arasında hem kütle hem de ısı transferinin gerçekleştiği karmaşık bir süreçtir [3].

Bu süreç boyunca gözlenen aşamalar grafik üzerinde iki temel eğri oluşturmaktadır. 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[1].

Şekil 2.1’de gösterildiği gibi gıdaların kurutulması sırasında elde edilen tipik bir egride, 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 [1].



Şekil 2.1 Gıdaların kuruma hızına ait eğri [1].

2.3 Kurutma Hızına Etki Eden Parametreler

Kurutma hızına etki eden faktörler genel olarak aşağıdaki gibi sıralanabilir:

- Malzemenin yapısı (Nem içeriği, fiziksel ve kimyasal bileşimi vb.)
- Boyut, şekil ve kurutma sırasında malzemelerin dizilişi
- Bağıl nem veya suyun ortamdaki kısmi basıncı
- Ortam sıcaklığı
- Kurutma havasının hızı

şeklinde sıralanabilir [4].

2.3.1 Malzemenin Yapısı

Çözünmüş madde bakımından daha zengin olan gıdalar içerdikleri tuz, şeker vb maddelerden dolayı suyun buhar basıncı daha düşük olduğundan kurutma daha zor ya da daha uzun süreli olacaktır.

2.3.2 Boyut, Şekil ve Kurutma Sırasında Malzemelerin Dizilişi

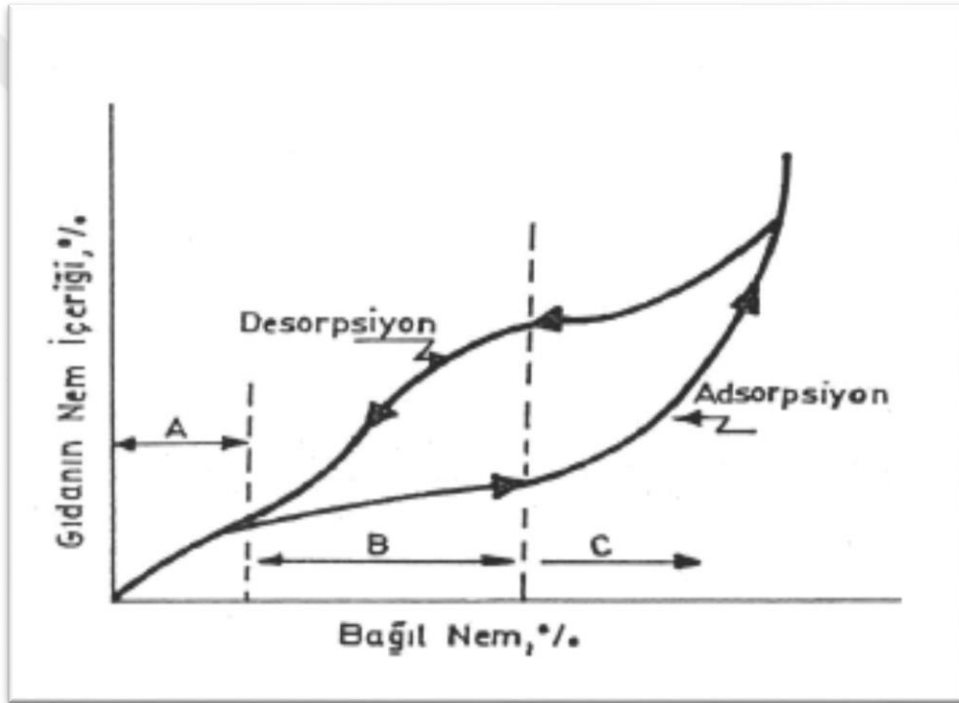
Daha geniş yüzey alanına sahip gıdalar, daha geniş bir yüzeyde ısı transferi sağladığından daha hızlı kurutmaktadır.

Ayrıca bu çalışmada yapılan deneyler sırasında üst üste gelen yaprakların yüzey alanının küçülmesine sebebiyet vermesi dolayısı ile kötü dizilime sahip numunelerin kuruma hızında yavaşlama gözlenmiştir.

2.3.3 Bağıl Nem ve Ortamın Su İçeriği

Gıda hava ortamında kururken, hava ne kadar kuru olursa o kadar hızlı kurur. Kuru hava daha çok nem tutma kapasitesine sahiptir. Ayrıca ortamın nemi, gıdayı en fazla ne kadar kurutabileceğinizi de belirler [5].

Şekil 2.2 de bağıl nem değerlerine bağlı olarak ulaşılabilecek minimum nem değerleri grafiği verilmiştir.



Şekil 2.2 Bağıl nem ve ürünün nem miktarı arasındaki ilişki [6].

2.3.4 Ortamın Sıcaklığı

Kurutma işlemi sırasında sıcaklık derecesi arttıkça difüzyon hızı artar, buna bağlı olarak kuruma hızı yükselir ve kurutma süresi kısalmır. Gıdaların kurutulması sırasında yüksek sıcaklık uygulamanın avantajları şöyle sıralanabilir:

- 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, **Dadalı [1]** tarafından yapılan çalışmada, yüksek hızda kurutmanın, ince tabakalı gıdalarda yanma ve buna bağlı olarak besin kaybına sebep olduğu saptanmıştır.

2.3.5 Kurutma Havaının Hızı

Hareketli hava, sabit duran havadan daha etkilidir. Hareket eden hava, kuruyan yüzeydeki nemi süpürerek, gıdanın yüzeyi ile hava arasında neme doymuş bir hava tabakası oluşumunu engeller [5].

2.4 Kurutma Sırasında Meydana Gelen 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 [1].

Çizelge 2.1 Gıdaların kurutulması sırasında oluşan değişimler [1].

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

2.4.1 Fiziksel Değişimler

2.4.1.1 Rehidratasyon Kapasitesi

Rehidratasyon, gıdanın kurutulurken kaybettiği suyu geri kazanması için belirli bir sıcaklıktaki suyun içinde tutulması işlemidir. Dadalı [1] tarafından yapılan araştırmaya göre gıdaların kurutulmaları sırasında yapılarında ve dokularında pek çok değişim olduğundan dolayı, kaybetmiş olduğu su miktarı ile rehidratasyonu sonucunda geri

kazandığı su miktarı farklıdır. Gıdanın kurutma sonrasında geri kazandığı su miktarının, gıdanın kurutulması sırasında kaybettiği 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

2.4.1.2 Büzülme

Gıda kurutma yöntemlerinden günümüze en yaygını olan sıcak havalı kurutmadır. Ancak bu yöntemin dezavantajları mevcuttur. Düşük enerji verimliliği ve kurutma hızının azalan periyotta ilerlemesi bunlardan bazılarıdır. Bunun en büyük sebebi yüzey neminin hızla azalması ve bunun sonucu olarak büzüşmedir. Büzüşme ise nemin transferini hatta bazen ısı transferini azaltmaktadır [8].

Kuruma hızına etki eden bu durumun Dadalı [1] tarafından yapılan araştırmada özellikle kurutmanın ilk aşamalarında %40-50'ye varan büzülme oluştığı tespit edilmiş ayrıca Büzülmenin etkisinin azaltılabilmesi için, gıdanın daha nemli bir hava ile veya daha düşük bir sıcaklıkta kurutulması gerektiği belirtilmiştir.

2.4.1.3 Dokusal Değişimler

Doku karakteristiği, sıcaklık ve rehidratasyondan önceki kurutma prosesine bağlı olarak değişen önemli bir kalite parametresidir. Ürünün renk parametrelerinin taze ürüne olabildiğince yakın olması daha çok istenen bir durumdur. Bu sebeple en iyi kurutma/rehidratasyon yöntemini belirlemenin ekonomik önemi vardır [1].

2.4.1 Kimyasal Değişimler

2.4.1.1 Esmerleşme Reaksiyonları

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.

Kahverengileşme reaksiyonları enzimatik olmayan reaksiyonlardır. İki tipi mevcuttur:

- Maillard reaksiyonu
- Karamelizasyon

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. Maillard reaksiyonları, aminoasitlerin ve proteinlerin seker üstündeki etkilerini inceler. Gıdanın içeriğindeki karbonhidrat indirgenmiş seker olmalıdır. İndirgenmiş seker, daha sonra melanoidlere ve amin yapılarına dönüşerek gıdanın kahverengi rengi almasına neden olur [1].

2.4.1.2 Lipid Oksidasyonu

Lipid oksidasyonu, kurutulmuş gıdalarda bayatlama, kötü koku oluşumu, yağda çözünebilir vitaminlerin kaybına sebebiyet olmaktadır. Lipid oksidasyonu ısı, ışık veya metal iyonları tarafından aktive olmuş serbest radikaller ve peroksitler tarafından tetiklenebilir ve yüksek dehidrasyon sıcaklıklarında hızı artar. Nem miktarı da oksidasyon hızında önemli role sahiptir. Yüksek nem değerlerinde lipidler enzimatik hidrolize uğrayabilir. Bu da bozuk tat oluşumu, sabunsu bir tat gibi lipid türüne bağlı durumlara sebep olur. Düşük nem miktarında ise doymamış yağ asitleri kendiliğinden okside olarak bayatlamaya sebep olur [10].

2.4.1.3 Renk Değişimleri

Gıdanın rengi, ürünün kabul edilebilirliği, işlenmesi ve görünümü üzerinde önemli rol oynayan bir kalite parametresidir. Satış noktasında, müşteri açısından ilk izlenimi veren gıdanın görüntüsüdür. Gıdanın görsel olarak tanınması ve yüzeyi ile yüzey altı özelliklerinin değerlendirilmesi görünümün bir parçası olarak algılanmaktadır.

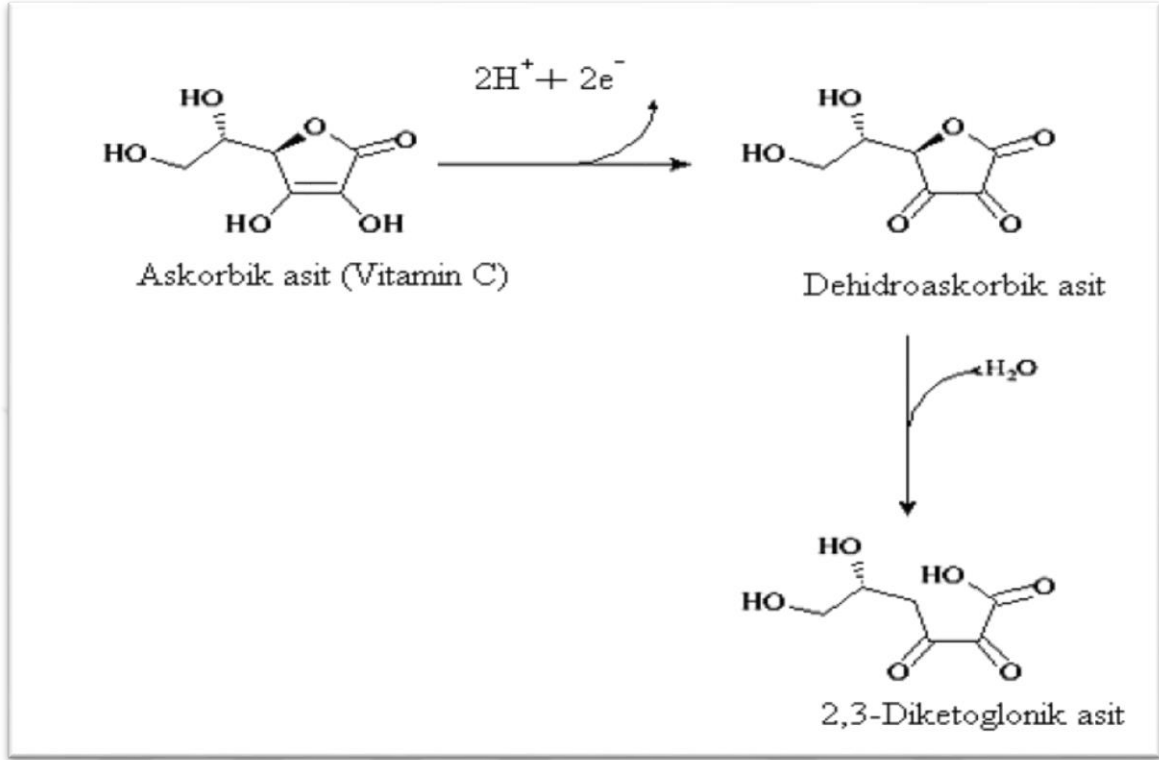
Isıl işlem sırasında renk değişimi gıdanın içeriğindeki reaksiyonlardan meydana gelmektedir. Bunlar pigment bozunması (özellikle karoten ve klorofil) ve kahverengileşme reaksiyonları (Maillard reaksiyonu, karamelizasyon) vb. reaksiyonlarıdır [1].

2.4.2 Biyokimyasal Değişimler

2.4.2.1 Vitamin Kayıpları

Gıdaların kurutulmasıyla özellikle gıdaların yapılarında bulunan yağda çözünebilir (A, D, E ve K Vitamini) ve suda çözünebilir (B ve C Vitamini) vitaminlerin kurutma işlemi sırasında meydana gelen oksidasyon ürünleri ile reaksiyonları sonucunda vitamin miktarında azalma görülür. Örneğin; gıdaların kurutulması sırasında askorbik asidin

bozunması ile meydana gelen kimyasal değişimler Şekil 2.5'te gösterilmiştir. Vitamin kayıplarının azaltılabilmesi için kurutma süresi kısa tutulmalı ve depolanmaları sırasındaki sıcaklık, nem miktarı ve oksijen düzeyi düşük tutulmalıdır [6].



Şekil 2.3 Gıdaların kurutulması sırasında meydana gelen askorbik asit oksidasyonu [6]

2.4.2.2 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 [1].

2.4.2.3 Mikroorganizma İnaktivasyonu

Kurutulmamış ürünlerde depolama sırasında, ürünlerin raf ömrü yüksek oranda mikroorganizmaların varlığı ile sınırlanmıştır. Mikrobiyal büyümeye bağlı olarak fiziksel ve kimyasal süreçler oluşabilir ve bu kaliteyi bozabilir (Seçmeler, 2003)[7]. Kurutmadan sonra ise gıdada mikrobiyal hayatın sürdürülmesi için gerekli su bulunmadığından

mikroorganizmalar inaktif durumda olmakta yani aktiviteleri sonlanmaktadır. Bu da kurutmanın binlerce yıldır kullanılma sebebidir.



ENDÜSTRİYEL KURUTMA SİSTEMLERİ

3.1 Endüstriyel Kurutucu Tipleri

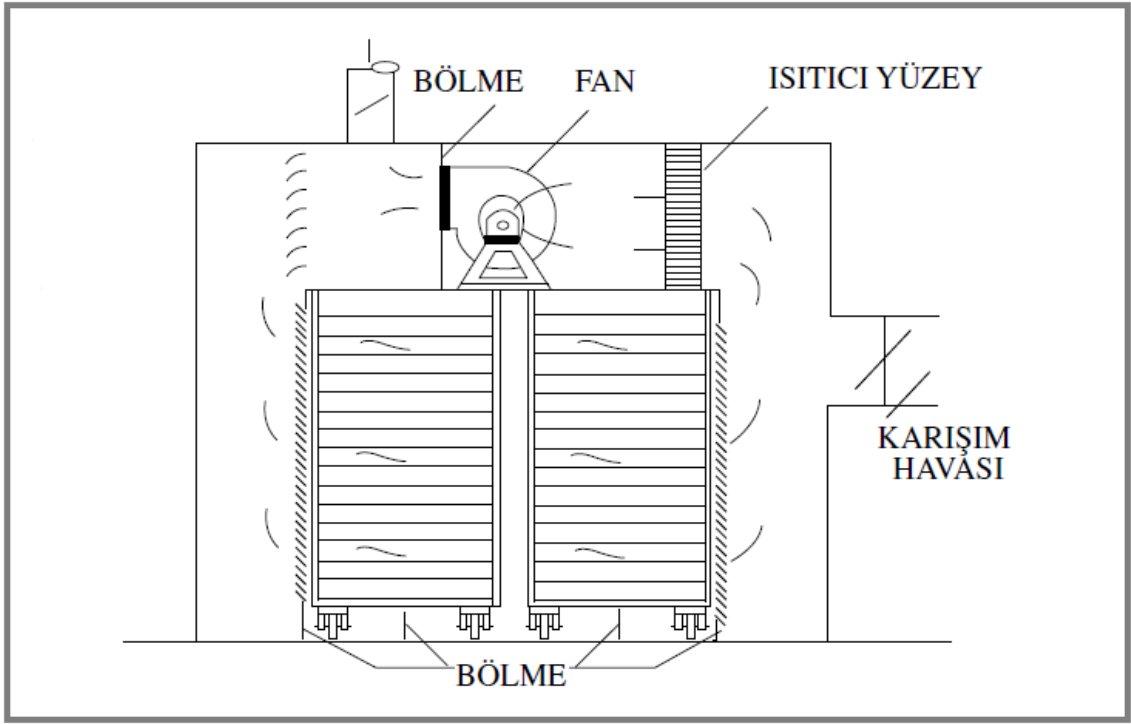
Gıda endüstrisinde farklı ihtiyaçlara göre kullanılan kurutucu tipleri aşağıdaki gibidir:

- Kabin kurutucular
- Tünel kurutucular
- Flaş (Alevli) kurutucular
- Püskürtmeli kurutucular
- Döner kurutucular
- Mikrodalga kurutucular
- Dondurarak kurutan kurutucular
- Akışkan yataklı kurutucular [11].

Aşağıda endüstride kullanılan yaygın kurutucu tiplerinden özetle bahsedilmiştir.

3.1.1 Kabin Tipi Kurutucular

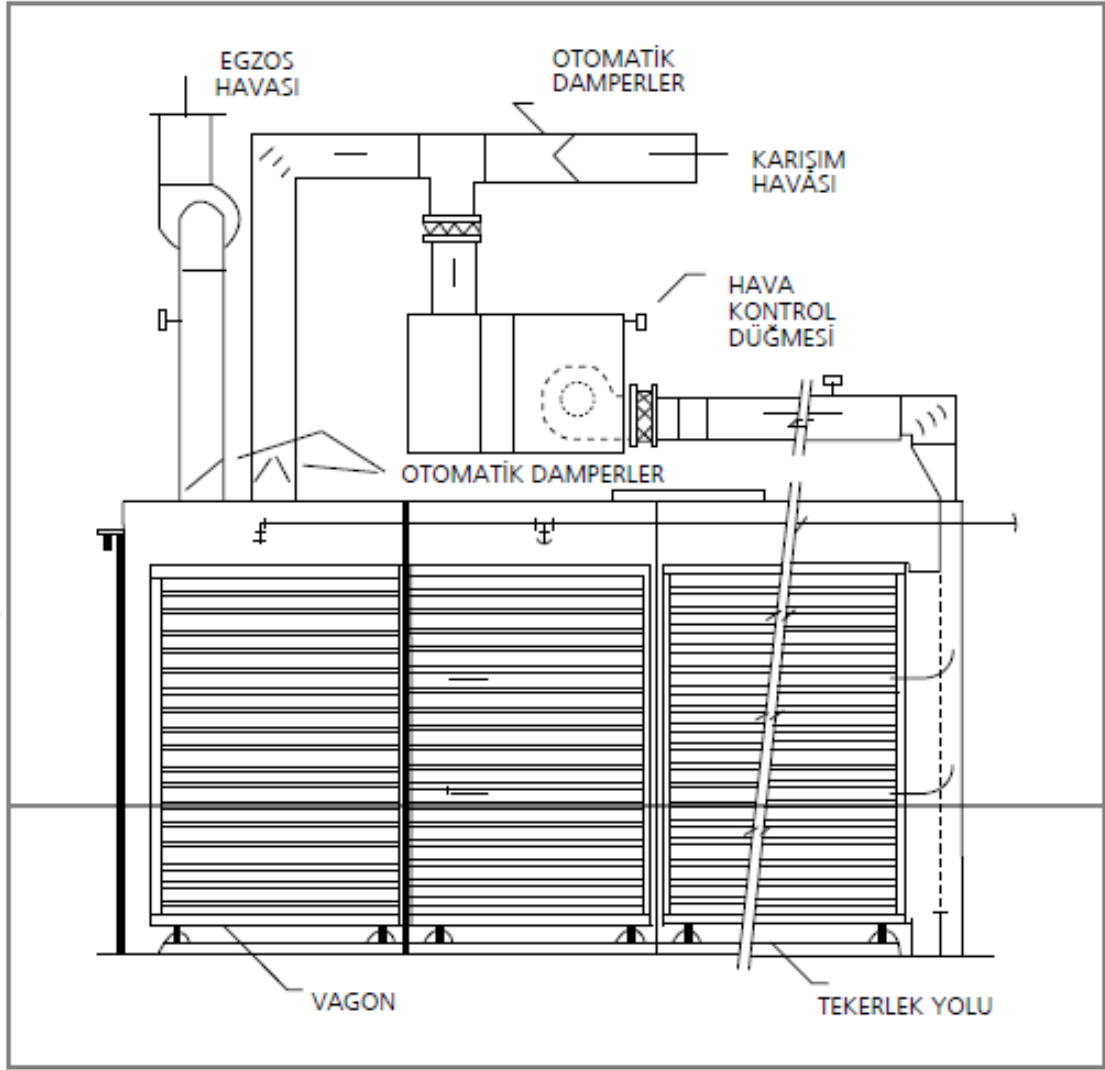
Kabinli kurutucuların, ısıtılan tavanlı sistemlerden (bu sistemlerde sadece doğal taşınım ve genelde zayıf ve düzensiz bir kurutma sağlanır), zorlanmış taşınımlı ve özel olarak tasarlanmış bölmeli daha karmaşık sistemlere kadar birçok modeli vardır. Birçok sistem hassas ve nemli malzemenin düşük sıcaklıklarda kurutulması için tasarlanmıştır. Bu tip kurutucularda kurutma işlemi, kurutulacak malzemenin yüzey alanını arttırmak için tepsilere serilerek yapılır. Şekil 3.1 ile suya doymuş ürünlerin kurutulması işleminde kullanılan bir sistem örneği verilmiştir.



Şekil 3.1 Kabin Tipi kurutucu örneği [11].

3.1.2 Tünel Kurutucular

Tünel kurutucular, sürekli veya yarı-sürekli çalışan yeniden tasarlanmış bölmeli kurutuculardır. Isıtılmış hava veya yanma gazları fanlar yardımıyla dolaştırılır. Malzeme, kurutucuda sürekli veya periyodik olarak tepsiler, arabalar veya bölmeler içerisinde hareket ettirilir. Hava akışlı paralel, çapraz veya merkez egzozuyla birlikte bu akışların birleşimi şeklinde hareket edebilir (şekil 3.4). Hava tepsi yüzeyi boyunca, dikey olarak yatak boyunca veya herhangi bir doğrultuda akmaktadır [11].



Şekil 3.2 Tünel tipi kurutucu örneği [11].

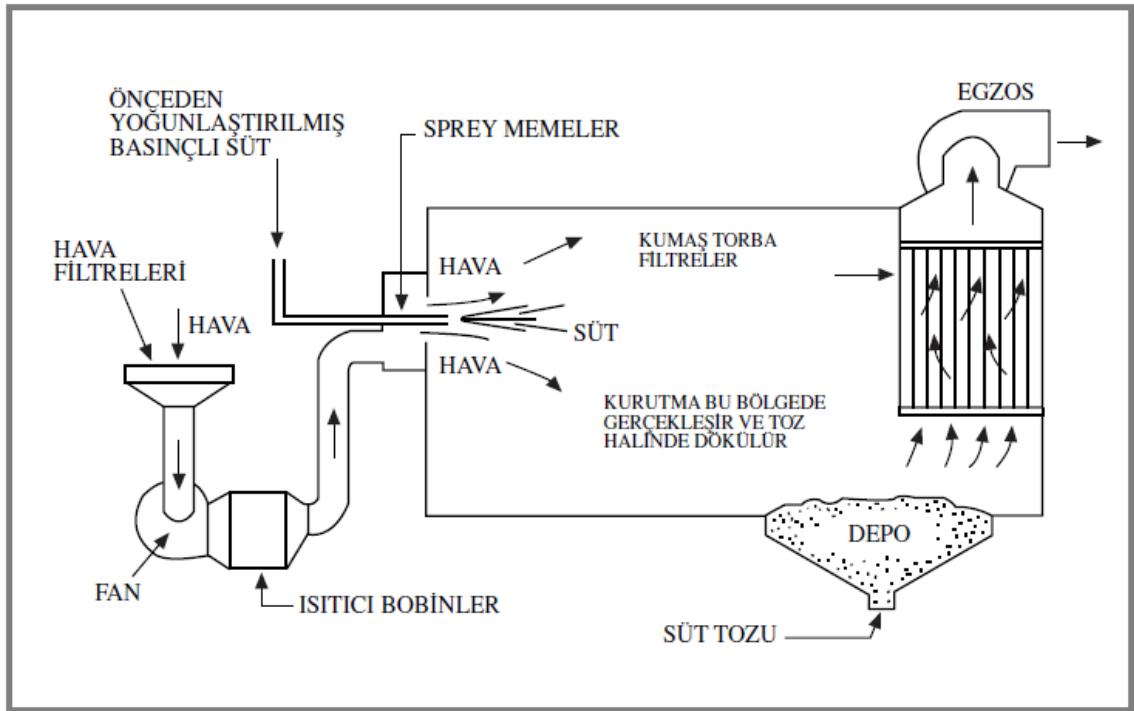
3.1.3 Flaş (Alevli) Kurutucular

Düzgün bir şekilde bölünmüş katı parçacıklar, sıcak gaz akımı içerisine yayılarak hızlı ve düzgün bir şekilde kurutulabilir. Ticari uygulamalarda; pigment (boya maddesi), sentetik reçine, yiyecek maddeleri, sulu bileşikler, alçıtaşı, kil ve tahta kurutulması gözlenmektedir [11].

3.1.4 Püskürtmeli Kurutucular

Sprey kurutucular, süttozu, kahve, sabun ve deterjan üretiminde kullanılmaktadır. Çünkü kurutulmuş malzeme damlacık veya tanecik yapısı olarak aynı yapıdadır ve kuruma süresi oldukça kısadır (5-15 s). Bir sıvı veya bulamaç kurutulduğunda, spreyci kurutucular yüksek üretim miktarlarında çalışabilir. Sprey, iki akışkanlı meme, yüksek basınçlı meme veya dönen disk şeklinde olabilir. Gaz sıcaklığı 93-760°C arasında

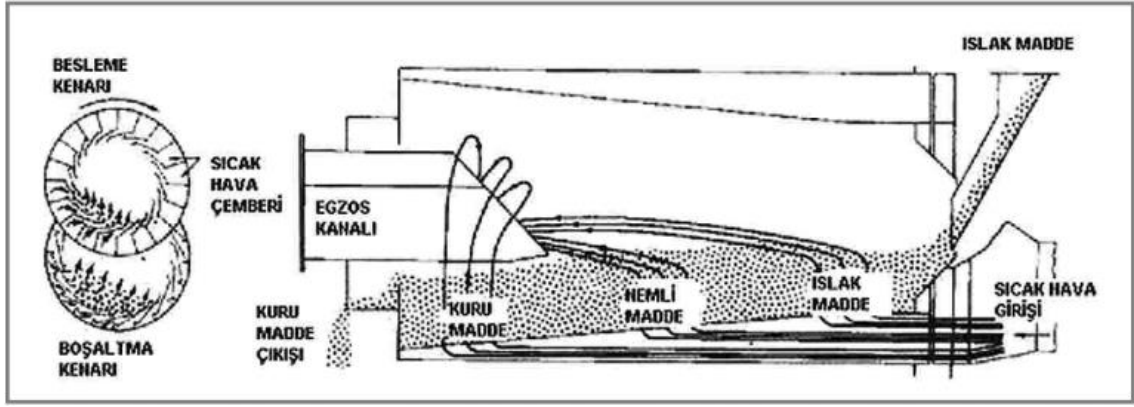
değişirken, yüksek sıcaklıklar için özel yapı malzemeleri kullanılır. Gaz sıcaklığı yükseldikçe ısı verim artar, bu nedenle yüksek sıcaklıklar tercih edilir. Sıcaklığa duyarlı ürünler bile düşük kuruma zamanı sayesinde kurutulabilir. Sıcak gaz, dökülen malzeme damlacıklarıyla aynı yönde veya ters yönde sisteme verilebilir. Kuruyan malzeme yerçekimi etkisiyle dökülmektedir. Egzos havası içerisindeki malzeme parçacıkları, siklon ayırıcılar veya torba filtreler yardımıyla toplanır. şekil 6 ile, tipik bir sprey kurutucu sistemi verilmiştir.



Şekil 3.3 Püskürtmeli kurutucu sistemi örneği [11].

3.1.5 Döner Kurutucular

Silindirik kısımlar, kurutulacak malzemeyi hava akımı içerisinde fırlatarak kurutma yaparlar (Şekil 3.7). Kurutmayı yapacak kısımlar doğrudan veya dolaylı olarak ısıtılır, hava akışlı paralel veya ters akımlı olarak uygulanabilir. Döner raflı kurutucuda hava, rafların altına verilir [11].



Şekil 3.4 Döner kurutucu örneği [11].

3.1.6 Mikrodalga Kurutucular

Mikrodalga kurutucular ile ilgili detaylı bilgiyi bu çalışmanın 4. Bölümünde bulabilirsiniz.

3.1.7 Dondurarak Kurutan Kurutucular

Şoklama ile kurutma, eczacılık ürünleri, serumlar, bakteri ve virüs kültürleri, aflılar, meyve suları, kahve ve çay esansları, sebzeler, deniz ürünleri, etler ve süt için kullanılır. Malzeme önce dondurulur, sonra düşük sıcaklıklı bir yoğunlaştırıcı veya kimyasal kurutucuya bağlı yüksek vakum odasına yerleştirilir. Donmuş malzemeye ısı, kızılötesi ışınlam ile iletilir, uçucu madde (genelde su) gaz haline gelir, yoğunlaşır veya kimyasal kurutucu ile soğutulur. Birçok dondurucu kurutma işlemi, düşük basınçlar altında 40 ile -10°C sıcaklık aralığında gerçekleşir. Bu işlem pahalı ve yavaş olmasına rağmen, ısıya duyarlı malzemeler için oldukça uygundur [11].

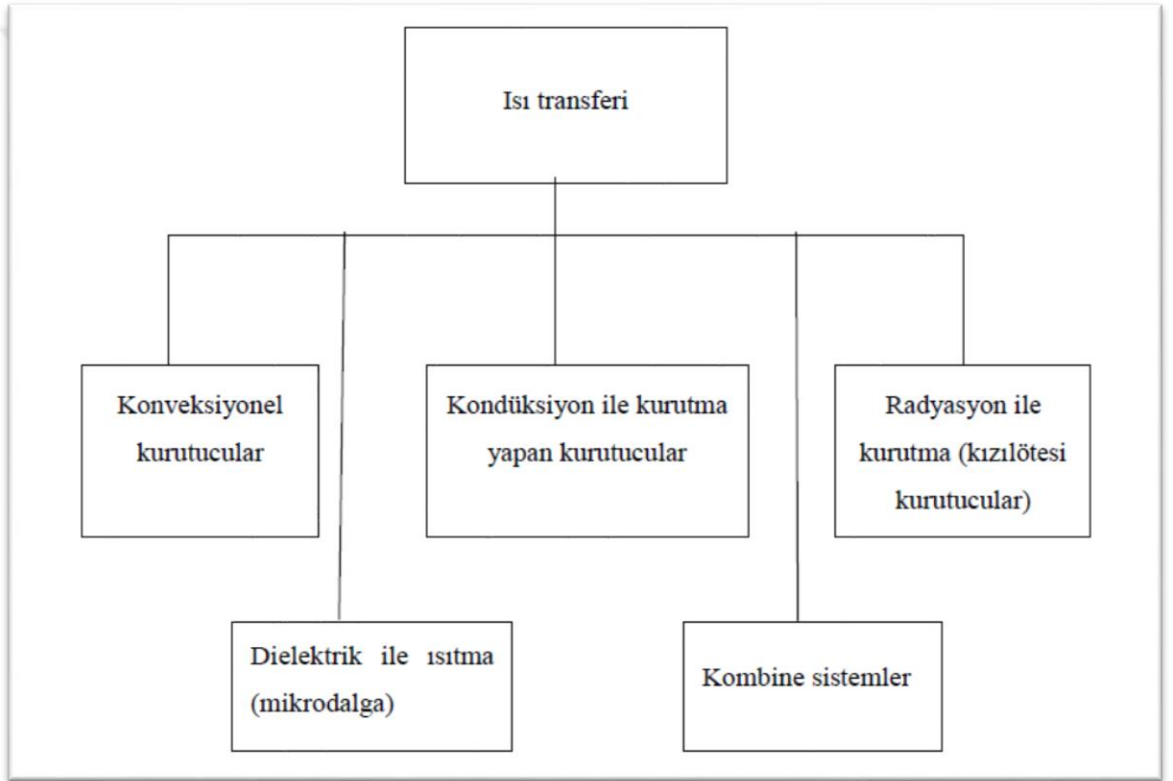
3.1.8 Akışkan Yataklı Kurutucular

Akışkan yataklı sistemlerde katı parçacıklar hava hızıyla birlikte kurutulmaktadır. Ayrı tanecikler ve kurutma havası arasındaki ısı transferi, tozlu veya tanecikli madde ile akışkan gaz arasında yakın temas olduğu için oldukça iyidir. Bu temas, hassas malzemelerin yüksek sıcaklık farklarından etkilenmeden kurutulmasını sağlar. Kurutulan malzeme, geleneksel sistemlerden farklı olarak tepsi ve diğer ısı alışveriş yüzeylerine serilmeden serbest olarak akar. Otomatik doldurma veya boşaltma mümkündür fakat en büyük artısı azaltılmış işlem süresidir [11].

3.2 Endüstriyel Kurutucuların Sınıflandırılması

Endüstride oldukça fazla sayıda kurutucu tipi bulunmaktadır. Bunları ısı transferi tipine göre ve operasyon cinsine göre (kesikli, sürekli) sınıflandırılabilir. Dadalı [1] tarafından yapılan araştırmaya göre kesikli sistemler 50 kg/saatten daha düşük kapasiteler için uygun olmakla birlikte her sistem kesikli veya sürekli kullanıma uygun değildir. Örneğin sprej, fırın ve döner tip kurutucular sadece sürekli proses olarak kullanılırken, konvansiyonel tip fırınlar, mikrodalga ve akışkan yataklı sistemler kesikli veya sürekli olarak kullanılabilir.

Isı transfer yöntemine göre yapılan sınıflandırma şekil 3.1de mevcuttur.



Şekil 3.5 Isı transfer yöntemine göre kurutucuların sınıflandırılması [1].

MİKRODALGA KURUTMA PROSESİNİN ENDÜSTRİDE KULLANIMI

Mikrodalga teknolojisi dielektrik ısıtma uygulamalarının ardından düşük RF frekans dalgalarının keşfini takiben ortaya çıkmıştır. Ciddi anlamda çalışmalar 2. Dünya Savaşı zamanında başlamış, ticari ve evsel kullanımlı mikrodalga fırınlar ortaya çıkmıştır. Artan ilgiyle beraber 60'lı yıllarda bilimsel ve endüstriyel uygulamalarda da kullanılması sonucu mikrodalga güç kaynakları aranan bir pazar halini almıştır [13].

4.1 Mikrodalga Enerjisi ve Gıda Endüstrisinde Kullanımı

Gıdaların mikrodalga ile ısıtılabilceği kaza ile 1940'larda fark edilmiştir. Percy Spencer Raytheon firması adına aktif radar sistemleri üretimi için magnetron yapımında çalışırken cebindeki yer fıstıklı çikolatanın erimeye başladığını fark etti. Radar yaydığı mikrodalga ile çikolatayı eritmişti. Spencer tarafından kasten pişirilmesi denenilen ilk gıda patlamış mısır olmuştur. İkinci olarak ise yumurtayı denemiş ve deneylerden birinde yumurta patlamıştır [14].

Bugünkü fırınlarda kullanılan 2450 MHz'i uygun frekans olarak seçen kişi Spencer olup konu ile ilgili ilk (1950, gıdaları işleme ile ilgili yöntem) ve toplamda 34 patentin sahibidir. Raytheon 1950'lerde ticari mikrodalga fırınların öncülüğünü yapmıştır. Bunlar büyük, pahalı, duvara monte edilen fırınlardı ve Westinghouse ile Tapan firmaları tarafından piyasaya sürülmüşlerdi. 1960'ların ortalarında Raytheon grubu tarafından satın alınan Amana firması 500 USD'nin altında, tezgah ustası portatif fırını üretmiş ve mikrodalga pazarı gelişerek günümüze ulaşmıştır [16].

Bu noktadan sonra da yıllar boyunca mikrodalga teknolojisi gıdaları işlemede kullanılan en bilinen yöntemlerden biri olmuştur.

4.2 Mikrodalga Kurutucuların İşleyiş Mekanizması

Bir materyalin mikrodalga ile ısıtılması, uygulanan elektrik alan şiddetinin bir sonucu olarak iyonik bileşenlerin hareketi ya da moleküllerin polarizasyon-depolarizasyon mekanizması ile gerçekleşmektedir. Hacimsel ısıtma, mikrodalga ile ısıtmanın en önemli özelliğidir. Mikrodalga materyalin içine penetrasyonu ile sağlanan kısa başlangıç süresi ve iç ısınma, randımanı arttırmakta ve proses süresini kısaltmaktadır. Sağlanan bu özellikler mikrodalgayı ilgi çekici bir ısı enerjisi kaynağı yapmaktadır [17].

4.3 Mikrodalga Kurutmaya Etki Eden Parametreler

4.3.1 Kurutulan Malzemenin Miktarı

Genel olarak kurutulan malzemenin miktarı arttıkça, uzaklaştırılması gereken suyun miktarı ve buna bağlı olarak uzaklaştırmak için gereken enerji miktarı da arttığından kurutma süresi uzamaktadır. Bu çalışmada farklı gramajlarda numuneler üzerinde de denemeler yapılarak melisa bitkisinin kurummasının kütleyle olan bağlantısı da incelenmiştir.

4.3.2 Gıdanın Su İçeriği

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 enerjisiyi 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 (d) karışımı oluşturan bileşenlerin dielektrik sabitleri arasında yer almaktadır [1].

4.3.3 Isı Transferi

Kurutma prosesinin en önemli ve en etkili faktörüdür. Birden çok parametreye bağlıdır. İstanbul Sanayi Odası [16] tarafından yapılan yayına göre aşağıdaki maddelerde belirtilen parametreler ısı transferine etki etmektedir:

- Isıtma ortamı ile sıvı yüzeyi arasındaki ısı transferi,

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

4.3.4 Mikrodalga'nın Çıkış Gücü

Mikrodalga'nın çıkış gücü arttıkça aktarılan enerji ve buna bağlı olarak ısı transferi arttığı için, çıkış gücü arttıkça işlem süresi kısalmaktadır. Ancak Çelen S vd. [18] tarafından yapılan deneyler ve araştırmalar sonucu yüksek gücün sağladığı yüksek kurutma hızının avantaj olmadığı, ürünün kalitesine kötü etki ettiği tespit edilmiştir.

4.4 Mikrodalga Fırının Bileşenleri

Mikrodalga fırın 4 ana bileşenden oluşmaktadır. Bunlar:

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

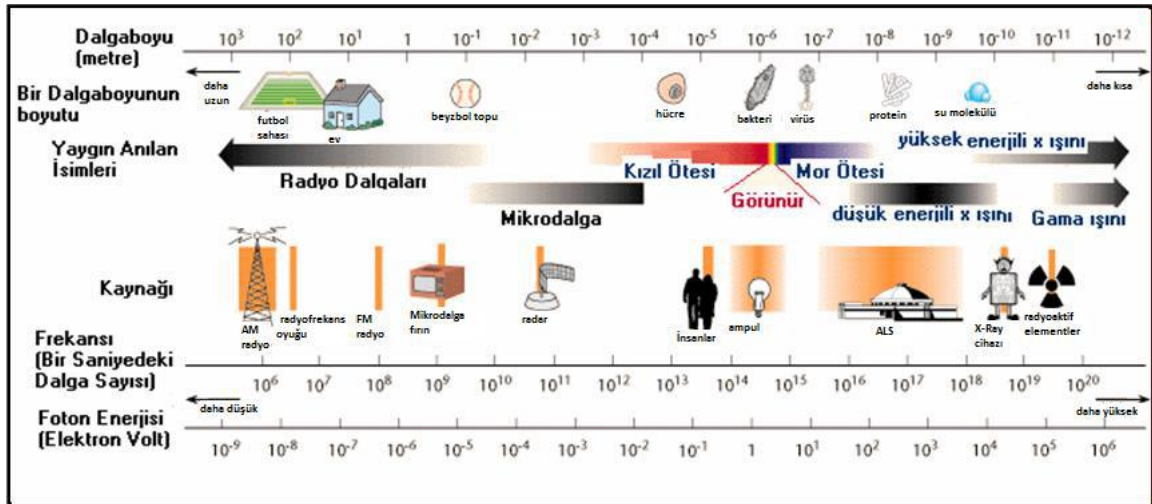
Aşağıdaki başlıklarda bu bileşenler daha detaylı olarak incelenmiştir.

4.4.1 Güç Ünitesi

Güç üniteleri, şebekeden gelen elektriğin magnetronların ihtiyaç duyduğu yüksek voltaj farklı şekle dönüştüren bir cihazdır.

4.4.2 Magnetron

Mikrodalga fırınların magnetronu pozitif ve negatif kutupların sürekli olarak hızlı bir şekilde yön değiştirdiği elektromanyetik bir alan oluşturur. Malzemeye iletilen elektromanyetik enerji dipolar moleküller ve tuzların pozitif ve negatif iyonları ile etkileşime girer [15]. Dadalı [1] tarafından yapılan araştırmaya göre Magnetron, 60 Hz'lik elektriksel gerilimi 2450 MHz frekansa çeviren bir cihazdır.



Şekil 4.1 Elektromanyetik dalga spektrumu [19]

4.4.3 Dalga Kılavuzu

Elektromanyetik dalgalar aplikatöre koaksiyel kablo gibi iletim hatları veya dalga kılavuzları ile iletilirler. Yüksek frekanslarda koaksiyel kabloya nazaran dalga kılavuzlarında daha düşük kayıp olduğundan, mikrodalga uygulamalarında tercih edilirler. Temel olarak dalga kılavuzları içi boş iletken, dikdörtgen veya silindirik şeklindeki yapılardır [16].

4.4.4 Aplikatör

Aplikatör malzemeye mikrodalgaların uygulandığı bölümdür. Kontrol sistemi ise sistemdeki bazı parametreleri ölçerek ve otomatik ayarlamalar yaparak MW kurutma sisteminin performansını geliştiren birimdir [19].

4.4.5 Karıştırıcı Fan

Karıştırıcı fan, mikrodalga enerjisini, fırının içine dağıtmak için kullanılan bir fanıdır. Daha eşit bir dağılım sağlamak için dalgaları dağıtır.

4.5 Mikrodalga Kurutmanın Avantaj ve Dezavantajları

Mikrodalga kurutmanın avantaj ve dezavantajlarının bazıları aşağıdaki gibi sıralanabilir:

- Isıtma geleneksel yöntemlere göre hızlıdır. Mikrodalga ısıtmanın en önemli özelliği ise üretiminin moleküler düzeyde bağlanması ve bu sayede hem zamandan, hem de enerjiden çok büyük oranda tasarruf sağlamasıdır.
- Temizdir.

- Mikrodalga fırınlar, geleneksel sistemlere göre daha az yer kaplar, kullanımı ve bakımı kolaydır. [18]
- Mikrodalga ısıtmada, gıdayı çevreleyen hava ve fırın ısınmadığından ısıtma daha etkindir, zaman ve enerji kaybı olmamaktadır.
- Mikrodalga ısıtma, istenen sonuca ulaşılabilmesi için diğer ısı transfer kaynaklarıyla kombine olarak kullanılabilir [1].
- Mikrodalgada etkileşim malzemenin iç yapısından başladığı için fırının ısınması gibi bir gereksinim duyulmamakta, bu da enerji verimliliğini kat kat arttırmakta ayrıca dış yüzeyin hızlı kurumasından kaynaklanan büzüşme azalmaktadır.
- Sabit yatırım masrafı yüksektir.
- Çok bileşenli gıdalarda ısınma ve buharlaşma yerine düzensiz bir pişme durumu yaşanabilmektedir.
- Geleneksel kurutmadan farklı önlemler gerektirmekte, mikrodalgaya uygun kap ve yüzeyler kullanılması gerekmektedir.

4.6 Mikrodalgalarda Güvenlik Standardı

Mikrodalga cihaz ile çalışan bir kişinin maruz kalabileceği veya vücudu tarafından emilebilecek maksimum miktar:

- Bu yasa ısı etkilerinin hassas organlar üzerinde yapabileceği etki de düşünülerek (mW/cm^2) ile kısıtlandırılmıştır. Ayrıca gelen ışıının gücünün vücut ağırlığına oranı olarak tanımlanan özgül emilim oranı da (SAR “Specific Absorption Rate”) maksimum 0.4 (W/kg) değerine sahip olabilmektedir.
- Mikrodalga ekipmandan çevreye olabilecek sızıntı miktarı: Sızıntının olduğu noktadan 5 cm uzakta maksimum 5 (mW/cm^2) olarak yasal olarak sınırlandırılmıştır [16].

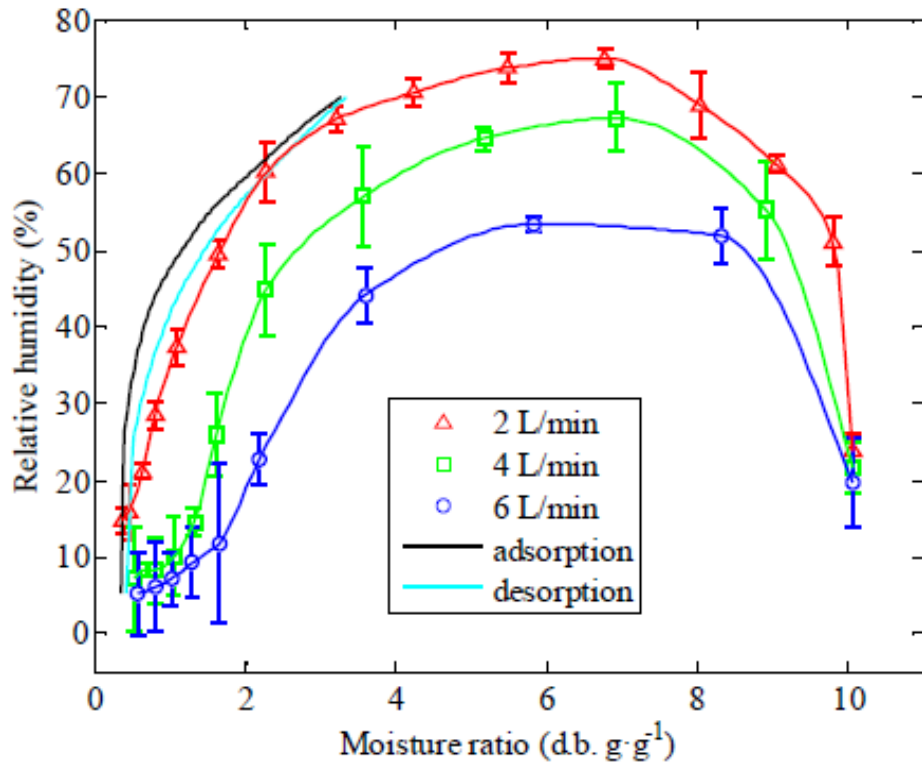
MİKRODALGA KURUTMA İLE İLGİLİ YAPILMIŞ ÖRNEK ÇALIŞMALAR

Bu çalışmada deneyler yapılmadan önce, geçmişte yapılan çalışmaların yöntem ve metodları incelenmiştir. Elde edilen sonuçlara göre kurutma verileri gıdadan gıdaya, yöntemden yönteme ve başlık 2.3'te bahsedilen parametrelere bağlı olarak farklılıklar göstermektedir.

Fu vd.[20] çalışmasında mikrodalga fırında sıkıştırılmış linyit kurutulması üzerine deneyler yapmıştır. Farklı ölçümler ve gözlemler de yapabilmek amacıyla modifiye ettikleri mikrodalga fırında farklı çaplarda küre şekilli numuneleri kurutmuşlar ve 10 ile 20 mm çaplarındaki numunelerde yaptıkları çalışmada 231 W değerinde sırası ile 1300 ve 1600 saniye kurutma süreleri elde etmişlerdir. Ayrıca farklı mikrodalga çıkış güçlerinde yaptıkları denemelerde 700 W değerine çıkıldığında kuruma süresinin %60 kısaldığını gözlemlemişlerdir.

Pu vd. [21] ekipçe yaptığı çalışmasında mikrodalga kurutma sırasında ortamın bağıl neminin, havucun kurutma süresine olan etkisini incelemiştir. Bağıl nemin sürekli sabit ve kontrol altında tutulması için mikrodalga fırın modifiye edilmiştir. Sabit bağıl nem ve sıcaklıkta beslenen havanın farklı akış hızı, artan ve azalan akış hızı gibi durumlarında çıkış havasının nem içeriği ölçülmüştür.

Yapılan ölçümler, çıkış hava değerlerinin havuçtan uzaklaşan nemden dolayı önce hızlı arttığını, daha sonra azalan hızda artarak maksimum noktaya ulaştıktan sonra havucun da nem içeriğinin azalmasından dolayı düştüğünü göstermiştir. Aşağıdaki şekilde nem oranının (MR) zaman ile değişimi görülebilir.



Şekil 5.1: Sabit debili hava akışlarında bağıl nem eğrilerinin grafiği ve adsorbsiyon desorpsiyon değerleri ile karşılaştırılması (Pu, Li, Hui, & Raghavan, 2016)[21]

Karaaslan vd. [22], tarafından yapılan araştırmada ise ayva dilimlerinin mikrodalga ortamında kurutulması ve bu sırada gerçekleşen nem değişimi, kuruma hızı incelenmiştir. 5 farklı çıkış gücü (180, 360, 540, 720, 900W) kullanılarak yapılan deneylerde her dakika numune alınarak analiz yapılmış ve farklı matematiksel modeller aracılığı ile matematiksel bir model oluşturulmuştur. En uygun modelin ise Midilli-Küçük modeli olduğu belirtilmiştir.

Buradan da anlaşıldığı gibi her gıda için farklı bir kuruma grafiği elde edilmektedir. Bu sebeple de birbirinden matematiksel modeller uygun model olarak seçilmiştir. Bu sonuçla da gıdaların kurutma kinetiklerinin ve modellerinin kendilerine özgün olduğunu söyleyebiliriz.

Wang vd. [21], tarafından yapılan araştırmada şeftali dilimleri mikrodalga ortamında farklı çıkış güçleri uygulanarak kurutulmuştur. Yapılan çalışmada, mikrodalga çıkış gücü arttıkça kütle transferinin arttığı ve buna bağlı olarak kuruma zamanları kısaldığı tespit edilmiştir. Mikrodalga ile şeftali numunesinin kurutulmasında 2 farklı azalan hızda

kuruma periyodu belirlenmiştir. Sabit hızda kuruma periyodu gözlemlenmemiştir. Birinci azalan hızda kuruma periyodunda nem içeriği 9,36 g su/g kuru madde 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 değerine değişmiştir.

Soysal [23], tarafından bamyaların mikrodalga ile kurutulması üzerine yapılan araştırmada ise 7 farklı çıkış gücü değerinde yapılan deneylerde kuruma süresi, kuruma miktarı ve renk kalitesi incelenmiştir. Bamyanın mikrodalgada kuruma grafiğinde sabit hızda ve azalan hızda kuruma gözlemlenmiştir. Buna sebep olarak da kuruma arttıkça azalan su miktarının mikrodalga enerjisinin bamya tarafından absorblanmasını azaltması gösterilmiştir. Matematiksel modelleme sonucu en uygun modelin Page olarak bulunduğu belirtilmiştir.

Demirhan & Özbek [24]'in yaptığı araştırmada ise fesleğen yaprakları mikrodalga ortamda kurutulmuş ve renk değişim kinetiği incelenmiştir. 5 farklı çıkış gücü (180, 360, 540, 720, 900W) ve farklı gramajlarda numuneler (25, 50, 75, 100 g) kullanılarak yapılan deneylerde renk parametreleri (L, a, b,) takip edilerek toplam renk değişimine, kroma değerine ve kahverengileşme indeksine dair incelemeler yapılarak uygun modelle oluşturulmuştur.

Demirhan & Özbek [25] tarafından yapılan çalışmada kullanılan renk değişimi ve modellemesine ait formüller bu çalışmada referans alınmış ve ileriki bölümlerde modelleme oluştururken kullanılmıştır.

MELİSA BİTKİSİ HAKKINDA BİLGİLER ve YAPILMIŞ ÇALIŞMALAR

Lamiaceae familyası üyelerinden çok yıllık bir bitki olan melisanın yabani formları tüm Akdeniz ülkeleri ve Güney Alplerde yayılış göstermekte, Türkiye’de de kıyı kesimlerde görülmektedir. Sağlık sektöründe kullanılan iki ana türü bulunmaktadır. Bunlar:

- *Melissa Officinalis* L.
- *Aloysia Citrodora*

Bu çalışmada *Melissa Officinalis* bitkisi yaprakları kullanılmıştır.

Melisa yurdumuz florasında doğal olarak yayılış göstermesine karşın tarımı istenilen seviyede yapılmamakta ve zaman zaman doğadan toplanarak ihraç edilmektedir. Melisanın hem aromatik hem de tıbbi bitki olarak kullanımı çok eskilere gitmekle beraber kültürü Avrupa’da 16. yüzyıldan itibaren hızla yayılmaya başlamıştır. Ekonomik öneminden dolayı Fransa, Almanya, Bulgaristan, Romanya gibi birçok Avrupa ülkelerinde ve Kuzey Amerika’da geniş alanlarda üretimi yapılmaktadır.

Geçmişte yapılan araştırmalar, melisanın yapısında fenolik ve flavanoidik bileşikler içerdiğini göstermiştir. Bunların en başında ise rosmarinik asit gelmektedir [26].

6.1 Melisa Bitkisi Üzerinde Yapılmış Örnek Çalışmalar

Melissa officinalis bitkisinin faydaları üzerinde birçok araştırma bulunmaktadır. Özellikle esansiyel yağlarının antioksidan ve antimikrobiyel özellikleri üzerine çok makaleler bulmak oldukça mümkündür. Bunların dışında ise uyku bozukluğu, stres gibi problemlere iyi geldiği bilinmektedir.

Süfer vd. [27], çalışmasında çorba ve sos yapımında kullanılan *A. Bisporus* ve *P. Ostreatus* mantarlarının konvansiyonel ve mikrodalga fırınlarda kurutulması üzerine çalışmıştır.

180, 360 ve 600 W çıkış güçlerinde yapılan araştırmada numunelerde ağırlık değişimi gözlemlenmeyecek seviyeye düşene kadar mantarlar kurutulmuştur. Daha sonra elde edilen veriler ince tabaka modelleri ile modellenmiş ve en uygun model olarak Sigmoid modeli belirlenmiştir. Çalışmanın devamında ise etkin nem difüzyon hızları ve aktivasyon enerjileri hesaplanmıştır.

Yapılan bu çalışmada konvansiyonel fırın ile 6.5 saat ve 12 saat arasındaki sürelerde kurutma yapılırken mikrodalga fırında 12 dakika gibi kısa sürelerde aynı sonuçlara ulaşmıştır.

Cuervo-Andrade[28], yaptığı çalışmada *melissa officinalis* L. bitkisini kalite odaklı kabin tipi kurutucuda kurutma ve güneşte kurutma işlemine tabi tutmuş ve bu sırada oluşan renk değişimi, aroma kaybı, dokusal değişimler, esansiyel yağlardaki azalma, çatlamalar ve şekilsel bozulmalara dair incelemelerde bulunmuştur. İdeal kurutma hızı sıcaklığı olarak belirledikleri 40 °C sıcaklıkta kurutma işlemi 11 saat sürmüştür. Gıda içeriğinin en iyi korunduğu optimal kurutma sıcaklık ise 34 °C olarak belirlenmiştir. Çalışmada bu sıcaklık için kuruma süresi belirtilmemiştir ancak daha önceden 30 °C sıcaklıkta yapılan kurutma deneyinde, kuruma süresi havanın kuruluk oranına göre 55.76 ile 25.6 saat arasında değişkenlik göstermiştir.

Bu çalışmayı mikrodalga kurutma ile kıyasladığımızda, mikrodalga kurutma işleminin ne denli bir enerji ve zaman tasarrufu sağladığı açıkça ortaya koyulmaktadır. Bu çalışmanın ilerleyen bölümlerinde mikrodalga kurutma işleminin bu yöntemle kıyasla ne kadar kısa sürdüğü görülebilir.

Shih-Hang vs. [26], tarafından yapılan araştırmada antidepresan özellikli ilaçların yan etkilerine değinilmiş oysa *Melissa Officinalis* bitkisinin eski zamanlardan beri kullanılan, melankoli hislerini yatıştırıcı bitkisel bit tedavi olduğundan bahsedilmiştir. Fareler üzerinde yapılan deneylerde, günde 3 defa suda ekstrakte edilmiş melisa içirilen farelerde depresyon özelliklerinde fak edilir azalmalar görülmüştür.

Augusti Boligon vd.[29] tarafından yapılan araştırmada, melissa officinalis bitkisinin flavonoid ve fenolik bileşimleri analiz edilmiş ve aşağıdaki sonuçlar bulunmuştur:

Çizelge 6.1: Melissa Officinalis'in farklı ekstrat çözeltilerindeki fenolik ve flavonoid bileşimleri [29]

Bileşikler	Etil Asetat %	Diklorometan %	Bütanolik %	Sulu Ekstrat %
Gallik Asit	4.91 ± 0.03	8.66 ± 0.02	3.29 ± 0.07	3.15 ± 0.01
Kateşin	0.53 ± 0.01	0.51 ± 0.03	–	0.48 ± 0.02
Klorojenik Asit	2.64 ± 0.05	1.83 ± 0.08	–	1.72 ± 0.05
Kafeik Asit	5.32 ± 0.01	3.10 ± 0.11	1.35 ± 0.01	3.26 ± 0.01
Elajik Asit	11.06 ± 0.03	3.45 ± 0.04	5.17 ± 0.09	2.19 ± 0.01
Epikateşin	2.48 ± 0.02	0.49 ± 0.03	0.56 ± 0.08	0.64 ± 0.03
Rutin	6.81 ± 0.09	0.52 ± 0.01	3.47 ± 0.04	1.81 ± 0.01
Quercetin	9.22 ± 0.15	5.19 ± 0.05	2.09 ± 0.10	2.04 ± 0.03

Ayrıca yine aynı çalışmada melisa ekstratının epinefrin (adrenalin) oksidasyonu üzerine etkileri de incelenmiş ve oldukça yüksek değerlere ulaştığı gözlenmiştir.

Mimica-Dukic vd. [30] çalışmasında yiyecek ve içeceklerde tatlandırma ve hoş koku verme amaçlı kullanılan melissa officinalis bitkisinden elde edilen esansiyel yağların bilinen yatıştııcı özelliklerinin yanı sıra vücuttaki zararlı serbest radikaller üzerindeki olumlu etkilerini, antibakteriyel ve antifungal özelliklerini ortaya koymuştur. Ayrıca çalışmasında esansiyel yağın kimyasal yapısını da aşağıdaki tabloda olduğu gibi belirtmiştir:

Çizelge 6.2: *Melissa officinalis* L. nin esansiyel yağının kimyasal yapısı

Pick No	Component ^a	RI ^b	Percentage %	Identification Method ^c
1	α -pinene	937	0.3	RT GC MS
2	camphene	952	0.2	RT* MS
3	β -pinene	976	0.3	RT GC MS
4	<i>E</i> -isolimonene	983	0.7	RT* MS
5	3-octanol	995	0.4	RT* MS
6	δ -3-carene	1011	0.3	RT* MS
7	limonene	1032	2.2	RT GC MS
8	<i>Z</i> - β -ocimene	1042	0.2	RT* MS
9	linalool	1100	0.5	RT GC MS
10	α -thujone	1103	0.2	RT GC MS
11	β -thujone	1116	0.8	RT GC MS
12	<i>E</i> -rose oxide	1127	0.3	RT* MS
13	citronellal	1153	13.7	RT GC MS
14	isomenthone	1167	3.0	RT GC MS
15	menthol	1172	2.9	RT GC MS
16	estragole (methyl chavicol)	1195	0.1	RT GC MS
17	nerol	1227	0.5	0.5

Çizelge 6.2: *Melissa officinalis* L. nin esansiyel yağının kimyasal yapısı (devamı)

18	citronellol	1228	0.8	RT GC MS
19	neral (Z-citral)	1241	16.5	RT GC MS
20	geraniol	1255	3.4	RT GC MS
21	methyl citronellate	1260	2.7	RT* MS
22	geranial (<i>E</i> -citral)	1271	23.4	RT* MS
23	bornyl acetate	1288	0.2	RT GC MS
24	Z-limonene oxide	1304	0.4	RT* MS
25	Z-carvyl acetate	1362	0.1	RT* MS
26	neryl acetate	1364	1.6	RT* MS
27	α -copaene	1375	0.1	RT* MS
28	geranyl acetate	1380	0.8	RT GC MS
29	<i>E</i> - β -damascenone	1381	0.1	RT* MS
30	dodecenal	1407	0.4	RT* MS
31	<i>E</i> -caryophyllene	1419	4.6	RT GC MS
32	α -humulene	1452	0.4	RT* MS
33	β -selinene	1486	0.1	RT* MS
34	germacrene D	1490	2.4	RT* MS
35	δ -cadinene	1524	0.2	RT* MS
36	Z- β -farnesene	1526	0.1	RT* MS

Çizelge 6.2: *Melissa officinalis* L. nin esansiyel yağının kimyasal yapısı (devamı)

37	ledol	1565	0.2	RT* MS
38	caryophyllene oxide	1582	1.7	RT* MS
39	nonadecane	1902	0.2	RT* MS
40	1-eicosene	1900	0.1	RT* MS
41	eicosane	2001	0.5	RT* MS
42	<i>n</i> -heneicosane	2100	0.3	RT* MS
43	pentacosane		0.5	RT* MS
	Total Identified		88.4	
	Monoterpene hydrocarbons		4.2	
	Oxygenated monoterpens		71.9	
	Sesquiterpene hydrocarbons		7.9	
	Oxygenated sesquiterpenes		2.0	
	Aliphatic compounds		2.4	

^a bileşenler HP-5 MS kolonundaki ayrışma sırasına göre sıralandırılmıştır. ^b Retention indici. ^c GC, gaz kromatografisi; MS, kütle spektrometrisi; RT, Bağıl alıkonma

MATERYAL ve YÖNTEM

Bitkinin ilk numuneleri fizibilite denemesi için Zeytinburnu Tıbbi Bitkiler Bahçesinden alınmıştır. Buradan alınan numuneler ile yapılan ilk denemelerin olumlu sonuçlanması ile asıl deney düzeneği için yerel bir satıcıdan melisa bitkisi sağlanmıştır. İlk olarak alınan numuneler kuru ağırlığının belirlenmesi için 105 °C de 24 saat fırında (Memmert UM-400, Schwabach, Germany) bekletilmiştir. Bu süreç sonunda 5 g melisa yaprağının kuru ağırlığı ortalama 0,867g olarak tespit edilmiştir. Aşağıdaki formüller aracılığı ile % nem hesaplanarak diğer hesaplarda kullanılmak üzere temel alınmıştır.

7.1 Kullanılan Cihazlar ve Materyaller

Bu çalışmada söz konusu olan melisa bitkisi (*Melissa Officinalis* L.) yerel bir üreticiden temin edilmiştir. Deneyden önce yapraklar toplanmış ve deney anına kadar buzdolabında saklanmıştır.



Şekil 7.1 Melissa Officinalis L.

7.1.1 Mikrodalga Fırın

Melisanın kurutulması çalışması Arçelik tarafından üretilen MD 594 model numaralı mikrodalga fırın ile yapılmıştır. Kullanılan cihazın görüntüsü aşağıdaki şekil 7.2 de ve özellikleri çizelge 7.1 de verilmiştir.



Şekil 7.2 Arçelik MD 594 mikrodalga fırın

Çizelge 7.1: mikrodalga fırının özellikleri

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

7.1.2 Renk Ölçüm Cihazı

Mikrodalga kurutma sırasında melisa yapraklarında oluşan renk değişiminin gözlenebilmesi için Konica Minolta tarafından üretilmiş olan CR-400 renk okuyucu ve DP-400 veri işlemcisi üniteleri kullanılmıştır. Renk okuyucu ve veri işlemicisinin görüntüsü şekil 7.2’de ve ölçüm skalası da şekil 7.4’te gösterilmiştir. Ayrıca çizelge 7.2de cihaza ait özellikler belirtilmiştir.



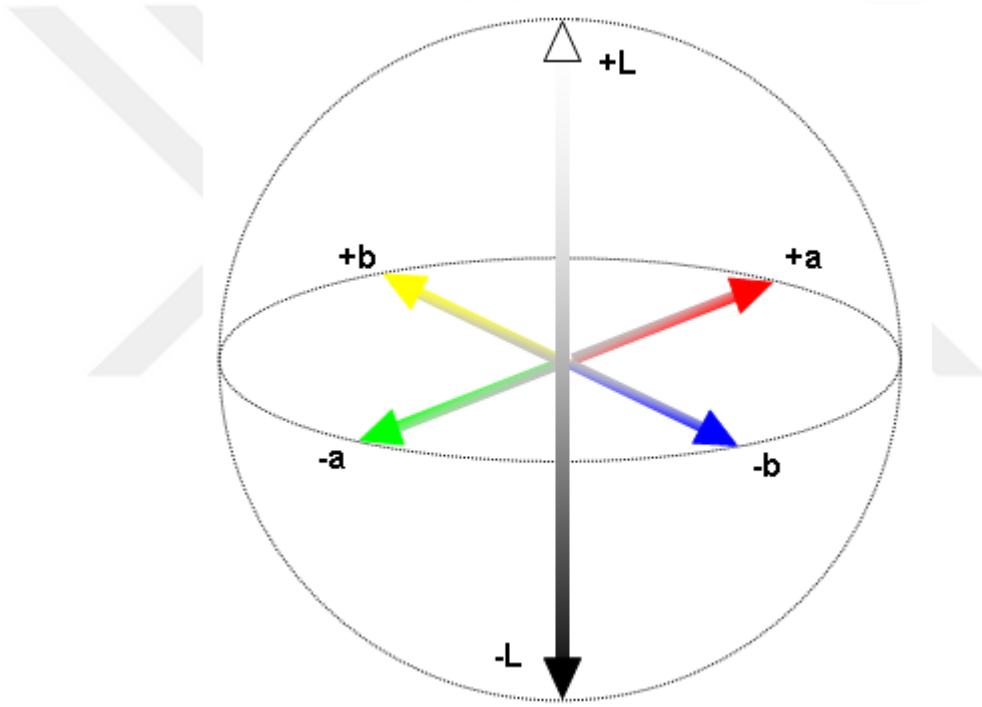
Şekil 7.3: Konica Minolta CR-400 (sağda) ve DP-400 (solda) cihazlarının görünümü

Çizelge 7.2: renk ölçüm cihazı 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 bağıl nem

Çizelge 7.2: renk ölçüm cihazı özellikleri (devamı)

Saklama koşulları	-20-40 °C oda sıcaklığı, %85 bağıl nem
Standart aksesuarlar	CR-A43 kalibrasyon plakası
Pil performansı	≈ 800 ölçüm
Renk skalası	L, a, b renk skalası



Şekil 7.4 Hunter (L, a, b) renk skalası

Çizelge 7.3: Hunter renk skalası sembolleri ve anlamları

İndis	Anlamı
L	Bu değer rengin siyahlık-beyazlık değerini ifade etmektedir. 0 ile 100 arasında değişmektedir. 0 değerinde siyah, 100 değerinde beyaz olmaktadır. Genellikle taze gıdalar daha parlak renklere sahiptir. Bu indeks dolaylı olarak tazeliğin ibaresi olarak kullanılabilmektedir.
a	+a yönü kırmızı, -a yönü yeşil renge karşılık gelmektedir
b	-b yönü mavi renge, +b yönü sarı renge karşılık gelmektedir.
Kroma renk açısı	Belirli bir rengin Hunter skalasında, düzlem üzerinde bulunduğu noktanın eksenel açısını belirtir. Örneğin kırmızı tonları 0 ve 90° açısal aralığında bulunmaktadır.

7.1.3 Su Banyosu



Şekil 7.5: Su banyosu

Rehidratasyon deneylerinde gerekli sıcaklıkta su banyosu oluşturmada kullanılmak üzere MEMMERT tarafından üretilmiş olan su banyosu kullanılmıştır.

7.1.4 Hassas Terazi

Deneylerde ağırlık ölçümlerini yapmak amacıyla Denver Instruments tarafından üretilmiş olan APX-1502 model terazi kullanılmıştır. 0.01 g hassasiyetle ölçüm yapan bu tartıda, ağırlık ölçümlerinden önce sıfırlama yapılarak sonuçların doğruluğu kesinleştirilmiştir.

7.2 Deneyin Yapılışı

7.2.1 Mikrodalga Fırında Kurutma Deneyi

Kurutma için 180 W, 360 W, 540 W, 720 W ve 900W ayarlarında 5 g ağırlığında numuneler kurutulmuş, deney 3 kez gerçekteştirilmiştir. Numuneler 0,10 (g su/g kuru madde) nem içeriğine yani %90 kuru madde miktarına yaklaşana dek kurutulmuştur. Ardından daha büyük ölçekte de aynı sonucun alınıp alınamadığını test etmek amacıyla 10, 20, 40g numune alınarak en ideal olarak belirlenen (ileride bahsedilecek) 360 W gücünde tekrar kurutulmuştur.

7.2.2 Renk Değişiminin İncelenmesi

Renk analizi için yapılan deneyde 5, 10, 20, 40 g için yapılan tüm kurutma işlemleri en baştan tekrar yapılmış ancak bu prosedürde ağırlık yerine renk ölçümü yapılmıştır.

İlk olarak renk ölçüm cihazı (başlık 7.1.2’de bahsedilmiştir) kalibre edilmiştir. Kurutulan melisa yapraklarından her numune alındığında en az 3 ölçüm yapılmış ve ortalamasına göre hesaplamalar yapılmıştır. Ölçülen L, a, b, değerleri kaydedilip bu değerlerin değişimi gözlemlenmiştir.

7.2.3 Rehidratasyon Deneyi

Kurutmanın, rehidratasyon üzerindeki etkisini görebilmek için 180 W, 360 W, 540 W, 720 W ve 900W ayarında kurutulmuş 5 g lık numuneler 30 °C sabit sıcaklıkta ($\pm 0,2^{\circ}\text{C}$) distile su ile rehidratasyon deneyine tabi tutulmuştur.

Ayrıca 360 W gücünde kurutulan 20 g’lık numuneden alınan örnekler ile 45, 55, 70 °C lerde de rehidratasyon hızı ölçülmüştür. Bu sayede su sıcaklığının da rehidratasyona olan etkisi gözlemlenmiştir.

İki durum için de ağırlık değişimi belirli aralıklarla gözlemlenmiştir. Bunun için sudan çıkarılan numunenin yüzeyindeki su giderilip tartılmıştır. Tartım hassasiyeti $\pm 0,02$ g dır. Deneyler tekrarlanarak sonuçların doğruluğu kesinleştirilmiştir.

7.4 Hesaplamalar

7.4.1 Kurutma Hızı Belirlenmesi

7.4.1.1 Nem İçeriği Hesaplanması

Kurutulan melisa yapraklarının nem içeriği aşağıda belirtildiği gibi hesaplanmıştır:

$$M_0 = \frac{W_0 - W_k}{W_0} \quad (7.1)$$

M_0 : İlk nem içeriği (kg su/ kg kuru madde)

W_0 : Örneğin ilk ağırlığı (kg)

W_k : Örneğin kuru ağırlığı (kg) [1].

Sonuç olarak yaprakların nem içeriği %82,7 olarak bulunmuştur.

Bu denklem aynı zamanda herhangi bir t anındaki nemi bulmak için aşağıdaki gibi de kullanılabilir:

$$Mt = \frac{m - KM}{KM} \quad (7.2)$$

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

m: Numunenin ağırlığı (g)

KM: Numunenin içerdiği kuru madde miktarı (g)

Olarak tanımlanmıştır.

Gıdaların kuruma sonrası içerebilecekleri minimum nem içeriği değerinin 0.1 g su. g kuru madde⁻¹ olduğu kabul edilmiştir [1].

7.4.1.2 Nem Oranının Hesaplanması

Nem oranı hesaplanırken aşağıdaki formül kullanılmıştır:

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

Burada MR nem oranı (moisture ratio), M herhangi bir andaki nem (kg su/kg kuru madde) ve M_e denge nem içeriğidir (kg su/kg kuru madde) (Karaaslan, Tunahan, & Sarı,

2016)[22]. Denge nemi genellikle çok küçük olduğu için sıfır varsayılır ve şu denklik elde edilir:

$$MR = \frac{M}{M_0} \quad (7.4)$$

7.4.1.2 Kuruma Hızının Hesaplanması

Kuruma hızı aşağıdaki denklem ile hesaplanmaktadır:

$$DR = \frac{M_{t+dt} - M_t}{d_t} \quad (7.5)$$

Burada DR, kuruma hızını (drying ratio), M_t , t anındaki $M_{(t+dt)}$ ise t+dt anındaki nem içeriğini (kg su/ kg madde) belirtir [31].

7.4.1.3 Etkin Difüzyon Katsayısı

$$MR = \frac{8}{\pi} - \exp\left(-\frac{D_{eff} \cdot \pi^2}{4L^2}\right) \cdot t \quad (7.6)$$

Burada;

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

L: Dilim kalınlığı (kesit kabulü yapılan melisa numunelerinin merkezden yüzeye olan uzaklığı ($L=0.012$ cm))

t: Kuruma zamanı (saniye)

olarak tanımlanmıştır [1].

Ardından bu formül ile lineer bir grafik elde ederek hesaplama yapma amacı ile formül aşağıdaki haline getirilmiştir:

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

7.4.2 Renk Değişiminin Belirlenmesi

Renk değişiminin incelenmesi sırasında L, a ve b değerlerinin takibi yapılmış ve bu değerlerin kurutma süresince zamanla değişimini ifade etmek amacıyla aşağıdaki başlıklarda verilen formüller üzerinden hesaplar yapılmıştır.

7.4.2.1 Toplam Renk Değişimi

Toplam renk değişimi, kurutulan gıdanın ilk ve son hali arasındaki renk farkının matematiksel bir ifadesidir ve şu şekilde ifade edilir:

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

Burada L_0 , a_0 ve b_0 değerleri kurutma başlamadan önceki renk değerlerini, L_t , a_t ve b_t ise t anındaki renk değerleri olarak tanımlanmıştır.

7.4.2.2 Kroma Açısı (CV)

Kroma açısı, çizelge 7.3'te de bahsedildiği üzere, belirlenen bir rengin, hunter lab skalası üzerindeki renk düzlemi üzerinde bulunduğu noktanın açısını belirtmektedir. Aşağıdaki formül ile ifade edilmektedir:

$$Kroma\ açısı = \sqrt{a_t^2 + b_t^2} \quad (7.9)$$

Burada a ve b değerleri hunter lab skalasındaki a ve b değerleridir.

7.4.2.3 Kahverengileşme İndeksi (BI)

Gıdaların kuruması sırasında gerçekleşen bozulmanın dolaylı ölçüsü olarak, renginin kahverengiye dönüşü takip edilir. Bu dönüşümü matematiksel olarak ifade etmek için aşağıdaki formül kullanılır:

$$BI = \frac{[100(x-0,31)]}{0,17} \quad (7.10)$$

Burada x değeri şu şekilde bulunmaktadır:

$$x = \frac{(a_t + 1,75L_t)}{(5,645L_t + a - 3,012b_t)} \quad (7.11)$$

İlerleyen bölümlerde bu formüller aracılığı ile oluşturulan grafikler mevcuttur.

7.4.2.4 Hue Açısı

Bir rengin sarı, yeşil, mavi ve kırmızıya olan benzerlik ya da farkını gösteren bir derecedir.

$$Hue\ Açısı = \arctan\left(\frac{b_t}{a_t}\right) \quad (7.12)$$

Olarak formülize edilmiştir [34].

7.4.3 Rehidratasyon Hızının Belirlenmesi

Mikrodalga tekniği ile kurutulan numunelerin rehidratasyon miktarlarının belirlenmesi için yapılan deneyler serisinde, elde edilen sonuçlardan rehidratasyon miktarı aşağıdaki formül ile hesaplanmıştır:

$$RR = \frac{W_t - W_e}{W_0 - W_e} \quad (7.13)$$

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 [1].

7.5 Modelleme Çalışmaları

7.5.1 Kuruma Kinetiğine Ait Model Çalışmaları

7.5.1.1 Page Modeli

Page modeli aşağıda denklem 7.13 de gösterilmiştir

$$MR = e^{(-kt)^n} \quad (7.14)$$

Bu denklemde:

k: Kinetik sabit (dk⁻¹)

n: Page modele ait bir katsayı

t: Kuruma zamanı (dk)

olarak tanımlanmıştır [1].

7.5.1.2 Henderson ve Pabis Modeli

Henderson ve Pabis modeli aşağıda denklem 7.14 de gösterilmiştir

$$MR = a \cdot e^{(-kt)} \quad (7.15)$$

Bu denklemde:

k: Kinetik sabit (dk⁻¹)

a: modele ait bir katsayı (birimsiz)

t: Kuruma zamanı (dk)

olarak tanımlanmıştır [1].

7.5.1.3 Logaritmik Model

Logaritmik model aşağıda denklem 7.15 de gösterilmiştir

$$MR = A \cdot e^{(-kt)} + B \quad (7.16)$$

Bu denklemde:

k: Kinetik sabit (dk⁻¹)

A ve B: modele ait bir katsayı (birimsiz)

t: Kuruma zamanı (dk)

olarak tanımlanmıştır [1].

7.5.1.4 Wang & Shing Modeli

Wang & Shing modeli aşağıda denklem 7.16 de gösterilmiştir

$$MR = 1 + a \cdot t + b \cdot t^2 \quad (7.17)$$

Bu denklemde:

a: Kinetik sabit (dk⁻¹)

b: Modele ait bir sabit (dk⁻²)

t: Kuruma zamanı (dk)

olarak tanımlanmıştır [1].

7.5.1.5 Newton Modeli

Newton modeli aşağıda denklem 7.17 de gösterilmiştir

$$MR = e^{(-kt)} \quad (7.18)$$

Bu denklemde:

k: Kinetik sabit (dk⁻¹)

t: Kuruma zamanı (dk)

olarak tanımlanmıştır.

7.5.2 Renk Değişimi İçin Yapılan Kinetik Çalışmalar

7.5.2.1 Sıfıncı Dereceden Kinetik Model

Sıfıncı dereceden kinetik model aşağıda denklem 7.19 de gösterilmiştir.

$$C = C_0 \pm k \cdot t \quad (7.20)$$

Bu denklemde:

C: Herhangi bir t anındaki renk parametresi değeri

C₀: t=0 anındaki renk parametresi değeri

k: Kinetik sabit (dk⁻¹)

t: Kuruma zamanı (dk)

olarak tanımlanmıştır.

7.5.2.2 Birinci Dereceden Kinetik Model

Birinci dereceden kinetik model aşağıda denklem 7.20'de gösterilmiştir.

$$C = C_0 \cdot e^{(\pm kt)} \quad (7.21)$$

Bu denklemde:

C: Herhangi bir t anındaki renk parametresi değeri

C₀: t=0 anındaki renk parametresi değeri

k: Kinetik sabit (dk⁻¹)

t: Kuruma zamanı (dk)

olarak tanımlanmıştır.

7.5.3 Rehidratasyon Kapasitesi İçin Yapılan Hesaplar

7.5.3.1 Rehidratasyon Oranı

Rehidratasyon oranının hesaplanmasına ilişkin eşitlik, denklem 7.21de verilmiştir

$$RR_t = \frac{M_t - M_0}{M_t} \quad (7.22)$$

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

M_t : Herhangi bir t anındaki rehidratasyona uğramış numunenin ağırlığı (g)

M_0 : $t=0$ anındaki rehidratasyona uğramamış numunenin ağırlığı (g)

olarak tanımlanmıştır (Harnkamsujarit, Kawai, Watanabe, & Suzuki, 2016)[33].

7.5.3.2 Peleg Model

Peleg modeli denklem 7.22'de gösterilmiştir.

$$RR_t = RR_0 - \frac{t}{k_1 + k_2 \cdot t} \quad (7.23)$$

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 [33].

7.5.3.3 Weibull Model

Weibull modeli denklem 7.23'te gösterilmiştir

$$M = M_e + (M_0 - M_e) \cdot e^{-\left(\frac{t}{\beta}\right)^\alpha} \quad (7.24)$$

β ve α : modele ait katsayılar (birimsiz)

M_e : Denge anındaki nem içeriği (g su. g kuru madde⁻¹)

M_0 : $t=0$ anındaki rehidratasyona uğramamış numunenin ağırlığı (g)

olarak tanımlanmıştır [37].

7.4.3.4 Birinci Derece Kinetik Model

Birinci derece kinetik model denklem 7.24'te gösterilmiştir.

$$M = M_e + (M_0 - M_e) \cdot e^{-k_R \cdot t} \quad (7.25)$$

M_e : Denge anındaki nem içeriği (g su. g kuru madde⁻¹)

M_0 : $t=0$ anındaki rehidratasyona uğramamış numunenin ağırlığı (g)

k_R : modele ait katsayı (s⁻¹)

olarak belirtilmiştir [36].

7.5.3.5. Üstel İlişki Modeli (Exponential Association Equation)

Üstel ilişki modeli denklem 7.25'te gösterilmiştir.

$$M = M_e \cdot [1 - e^{(-k_R \cdot t)}] \quad (7.26)$$

M_e : Denge anındaki nem içeriği (g su. g kuru madde⁻¹)

k_R : modele ait katsayı (s⁻¹)

olarak belirtilmiştir [36].

7.5.4 Aktivasyon Enerjisinin Hesaplanması

Modeller üzerinden hesaplanan kinetik katsayılar aracılığı ile, Arrhenius denklemi baz alınarak oluşturulan grafik üzerinden aktivasyon enerjileri hesaplanmıştır. Bu çalışma Dadalı [1], (2007) tarafından yapılan çalışma referans alınarak yapılmıştır. Kullanılan eşitlik denklem 7.26'da verilmiştir

$$k = k_0 e^{\left(\frac{E_a \cdot m}{P}\right)} \quad (7.27)$$

Bu denklemde

k : Kinetik sabit (Kuruma ve renk değişimi kinetiği için dk⁻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 [36].

ARAŞTIRMA VERİLERİ

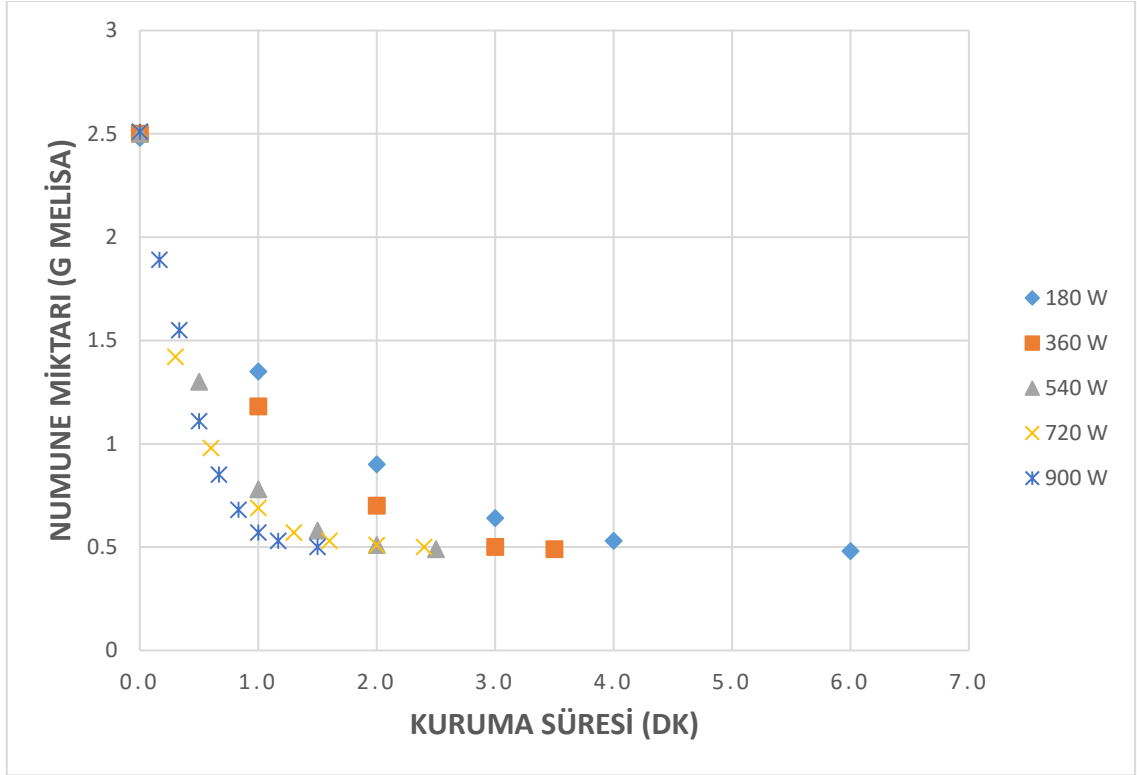
8.1 Mikrodalga Çıkış Gücünün Melisa Yapraklarının Kuruma, Renk Değişim ve Rehidratasyon Kinetiği

8.1.1 Mikrodalga Çıkış Gücünün Melisa Yapraklarının Kuruma Kinetiği Üzerine Etkisi

8.1.1.1 Nem İçeriği Değişimi

Bu çalışmada, üzerinde deneyler yapılan *Melissa Officinalis* L. yapraklarının ortalama nem değeri 4.81 g su. g kuru madde⁻¹ olarak tespit edilmiştir. Bu da %82.7 nem içeriğine karşılık gelmektedir.

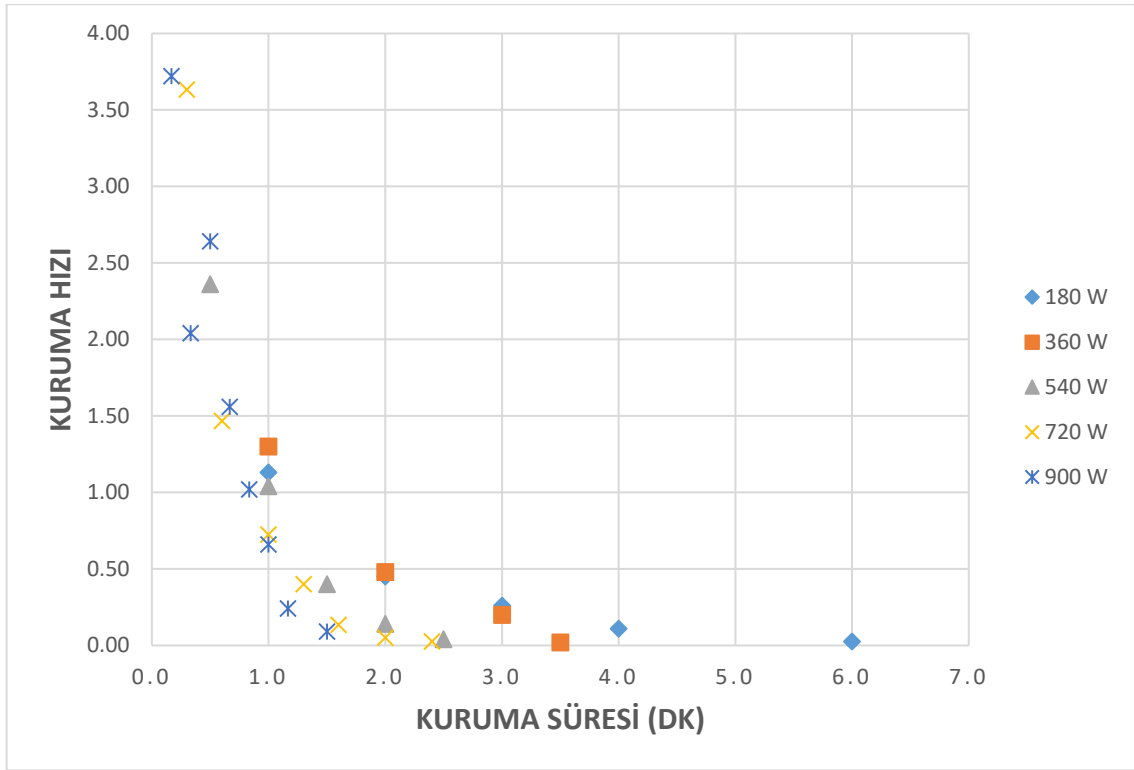
Mikrodalga fırının çıkış gücünün kuruma yani nem içeriği değişimine etkisinin incelenmesi amacıyla 2.5 g melisa yaprağı numunesi 180, 360, 540, 720 ve 900W çıkış güçlerinde kurutulması sonucu elde edilen nem oranı değerlerinin kuruma zamanı ile birlikte değişimini içeren veriler 5 farklı ince tabaka kuruma modeli ile modellenmiştir. Bu işlem için CurveExpert 1.4 basic yazılımı kullanılmıştır. Nem içeriği değişimine ait elde edilen veriler Ek-1 çizelge E1.1-1.5'te sırasıyla verilmiştir. Elde edilen sonuçlara göre mikrodalga çıkış gücü arttıkça kuruma süresi kısalmıştır. Numunelerin 0.1 g su/ g kuru madde⁻¹ değerine ulaşması, 180 W çıkış gücünde 6 dakika sürerken, 900 W çıkış gücünde 1.5 dakikaya kadar düşmüştür. Aşağıdaki şekil 8.1'de çıkış güçleri ile kuruma süresi arasındaki bağlantı görülebilir



Şekil 8.1: Farklı çıkış güçlerinde elde edilen kuruma verileri

8.1.1.2 Kuruma Hızı Değişimi

Mikrodalga fırının kuruma hızına etkisinin incelenmesi amacıyla 180, 360, 540, 720 ve 900W çıkış güçlerinde kurutulan numunelerden elde edilen veriler aracılığıyla eşitlik 7.2 kullanılarak kuruma hızı tespit edilmiştir. Grafik incelendiğinde düşük gramajlı numunelerde ilk anda çok hızlı bir şekilde su kaybetmesinden dolayı kurutulması sırasında azalan hızda bir kuruma periyodu gözlemlenmiştir. Elde edilen veriler Ek-2 çizelge E2.1-2.5'te görülebilir. Ayrıca aşağıdaki şekil 8.2'de kuruma hızı ve çıkış güçleri arasındaki ilişki görülebilir



Şekil 8.2: Farklı çıkış gücü değerlerinde kuruma hızları

Kuruma hızları 720 W ve 900 W çıkış güçlerinde en yüksek değere ulaşmıştır. 180 W çıkış gücünde ise en küçük değerine ulaşmıştır. En yüksek hız kurutmanın ilk anında gerçekleşmiş daha sonra nem içeriğinin hızla azalmasına bağlı olarak azalmıştır.

8.1.1.3 Kuruma Kinetiğine Ait Model Çalışmaları

Mikrodalga tekniği ile kurutulan numunelerden deney sırasında elde edilen verilerin zaman ile değişimini içeren deneysel veriler, 5 ayrı ince tabaka kurutma modeli ile modellenmiştir. Modellere ait istatistiksel veriler Çizelge 8.1 de görülebilir.

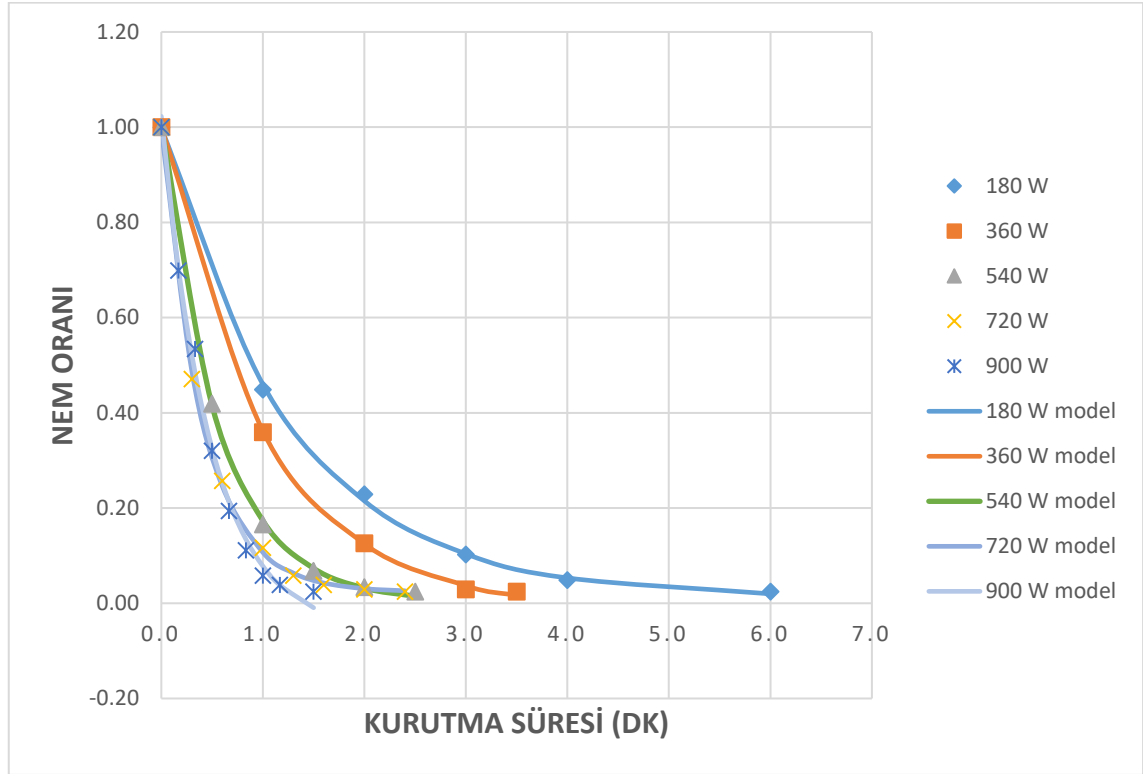
Çizelge 8.1: Mikrodalga tekniğiyle kurutma işleminden elde edilen verilerden yola çıkılarak yapılan modelleme çalışmalarına ait veriler

Model	Mikrodalga Çıkış Gücü	R	δ	a	b	c
Henderson & Pabis	180 W	0.9999	0.0113	0.9963	0.7632	
	360 W	0.9998	0.1000	1.0013	1.0358	
	540 W	0.9999	0.0046	1.0006	1.7514	

Çizelge 8.1: Mikrodalga tekniğiyle kurutma işleminden elde edilen verilerden yola çıkılarak yapılan modelleme çalışmalarına ait veriler (devamı)

Henderson & Pabis	720 W	0.9986	0.0196	0.9892	2.2711	
	900 W	0.9954	0.0354	1.0354	2.3791	
Wang & Shing	180 W	0.9775	0.7748	-0.6979	0.1217	
	360 W	0.9946	0.0490	-1.0899	0.2873	
	540 W	0.9848	0.0739	-1.2411	0.3629	
	720 W	0.9511	0.1134	-1.6390	0.6715	
	900 W	0.9969	0.0289	-0.6456	0.1057	
Logaritmik	180 W	0.9998	0.0108	0.9870	0.7880	0.0110
	360 W	0.9999	0.0067	1.0150	0.9899	-0.0152
	540 W	0.9999	0.0050	0.9984	1.7651	0.0026
	720 W	0.9995	0.0126	0.9716	2.4548	0.0235
	900 W	0.9972	0.0297	1.0802	2.0754	-0.0574
Newton	180 W	0.9996	0.0102	0.7657		
	360 W	0.9998	0.0087	1.0348		
	540 W	0.9999	0.0041	1.7505		
	720 W	0.9985	0.0186	2.2950		
	900 W	0.9945	0.0359	2.3035		
Page	180 W	0.9998	0.0079	0.7906	0.9409	
	360 W	0.9999	0.0076	1.0153	1.0551	
	540 W	0.9999	0.0044	1.7553	1.0108	
	720 W	0.9998	0.0069	2.1176	0.8597	
	900 W	0.9995	0.0117	2.7201	1.2401	

Elde edilen verilerden, En yüksek R^2 değeri, en düşük δ (standart sapma) değeri ve gerçek verilere yakınlık bakımından en uygun model, logaritmik model olarak belirlenmiştir. Aşağıda şekil 8.3'te farklı çıkış güçlerinde elde edilen deney verileri ve logaritmik model verileri bir arada görülebilir.



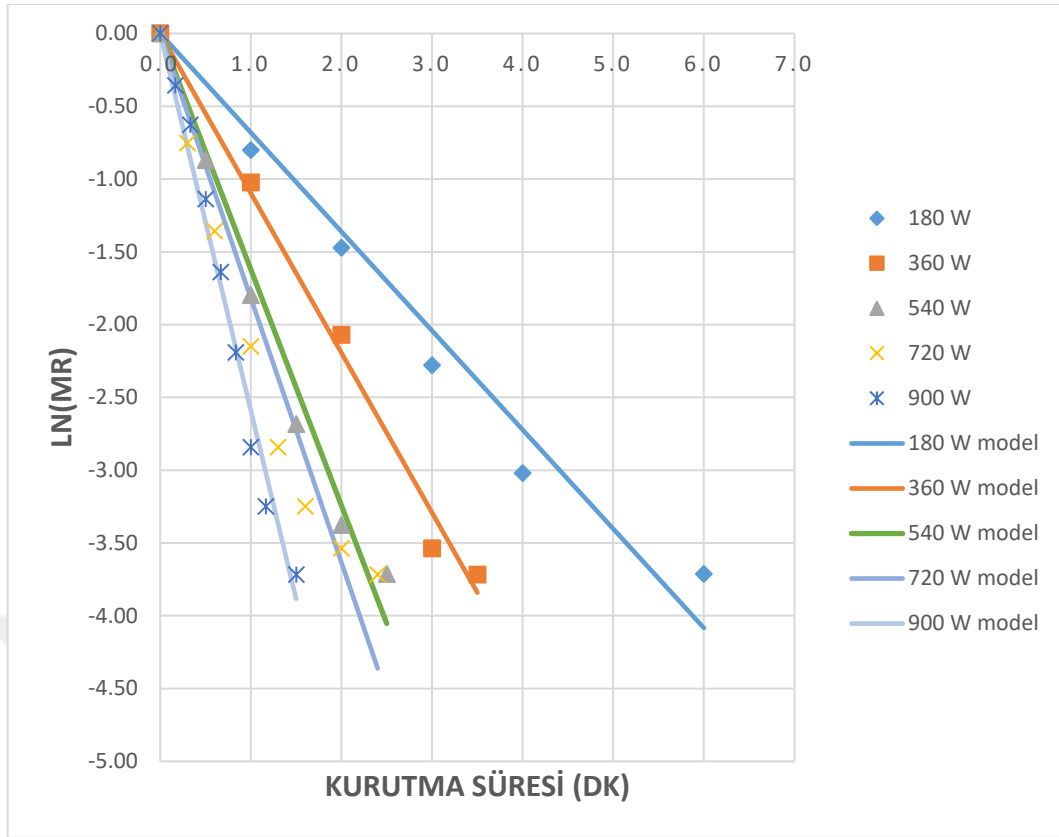
Şekil 8.3: Farklı çıkış güçlerinde elde edilen nem oranı verileri ve hesaplanan model verileri

8.1.1.4 Etkin Difüzivite Katsayısının Hesaplanması

Gıdaların kurutulması sırasında kütle transferini ifade eden en önemli ölçüt etkin difüzivite katsayısıdır. Denklem 7.6 da verilen eşitlik ile tüm çıkış güçleri için hesaplanmıştır. Elde edilen veriler Ek-3'te görülebilir.

Mikrodalga fırının çıkış gücü arttıkça, gıdanın içerdiği ısıнын artması sonucu kütle transferi artmakta ve başlangıç değeri olan difüzivite katsayısı artmaktadır. Ancak gıda içeriğindeki su miktarı azaldıkça difüzivite katsayısı zamanla azalmaktadır.

Elde edilen verilerden yola çıkılarak hesaplanan etkin difüzivite katsayıları Ek-3'te bulunan çizelgelerde mevcuttur.



Şekil 8.4: Farklı mikrodalga çıkış güçlerinde melisa yapraklarına ait $\ln(MR)$ değerleri ve model değerleri

8.1.2 Mikrodalga Çıkış Gücünün Melisa Numunesinin Renk Değişimi Üzerine Etkisi

Renk değişiminin ölçülmesi için 2,5 g lık numuneler tekrar hazırlanmış ve kurutma sırasında kullanılan 5 farklı çıkış gücünde (180, 360, 540, 720, 900 W) kurutulmuştur. Kurutma işlemi sırasında, daha önce yapılan kurutma deneyinde belirlenen numune alma zamanlarında numune alınarak renk ölçüm cihazı analizi yapılmıştır. 3 noktadan alınan renk ölçümlerinin (L, a, b değerleri) ortalaması ile hesaplamalar yapılmıştır. Ek-4 te yer alan çizelgelerde ölçülen renk değerleri görülmektedir. Yapılan modelleme çalışması sonucunda L, a ve b değerleri ile kroma açısı ve kahverengileşme indeksi verilerinin birinci dereceden kinetik modele uyduğu belirlenmiştir. Hue açısı ve toplam renk değişimi ise sıfırcı dereceden kinetik modele uygunluk göstermiştir.

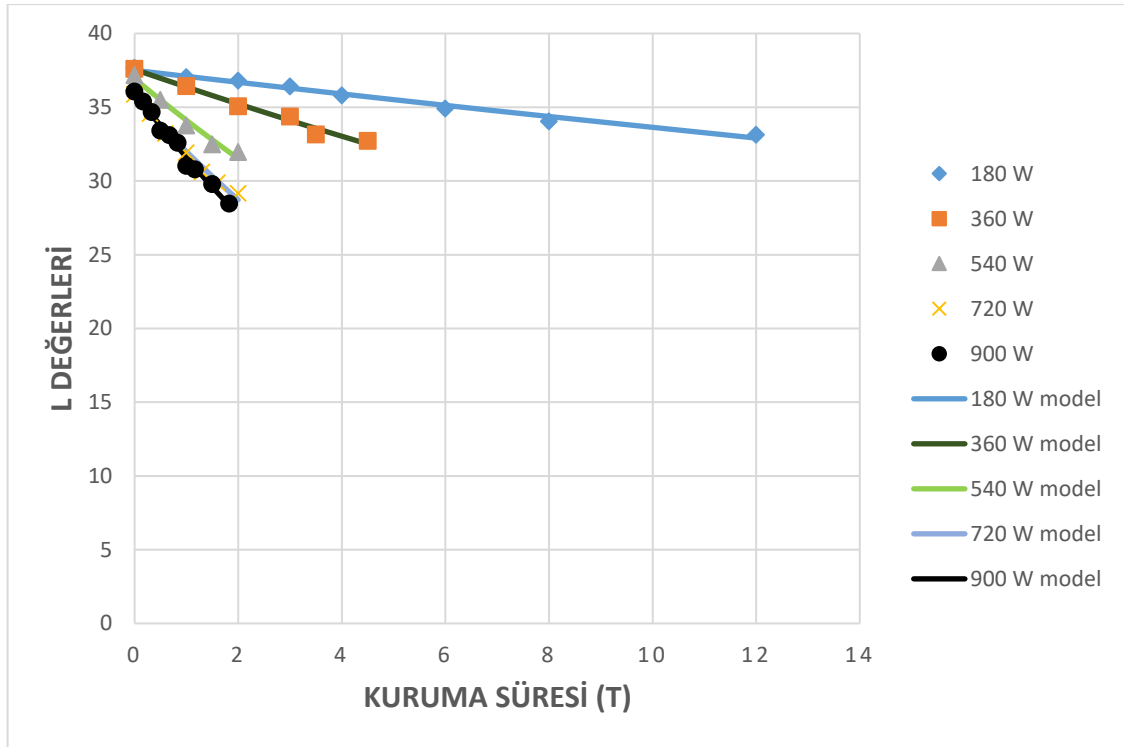
- **L değeri değişimi**

Farklı mikrodalga çıkış güçlerinde elde edilen L değeri değişimleri Ek-4'teki çizelge E4.1-E4-5'te görülmektedir. Elde edilen verilerden de anlaşıldığı üzere L değeri zamana bağlı olarak azalmıştır. Bu da gıdanın kurudukça renginin koyulaşmasından

kaynaklanmaktadır. L değerlerinin modellenmesi için yapılan çalışmada 0. ve 1. derece kinetik modeller denenmiş, 1. derece kinetik modeli en ideal model olmuştur. Aşağıdaki çizelgelerde aynı zamanda L değerinin modellenmesinden elde edilen değerler de görülebilmektedir.

Çizelge 8.2: L değeri modelleme çalışmasına ait farklı çıkış güçlerinde elde edilmiş veriler

1. Derece Kinetik Model		
Çıkış Gücü (W)	σ	R^2
180	0.2331	0.9902
360	0.2785	0.9912
540	0.3994	0.9871
720	0.2915	0.9943
900	0.2813	0.9943



Şekil 8.5: Farklı çıkış güçlerinde L değerleri ve model değerleri

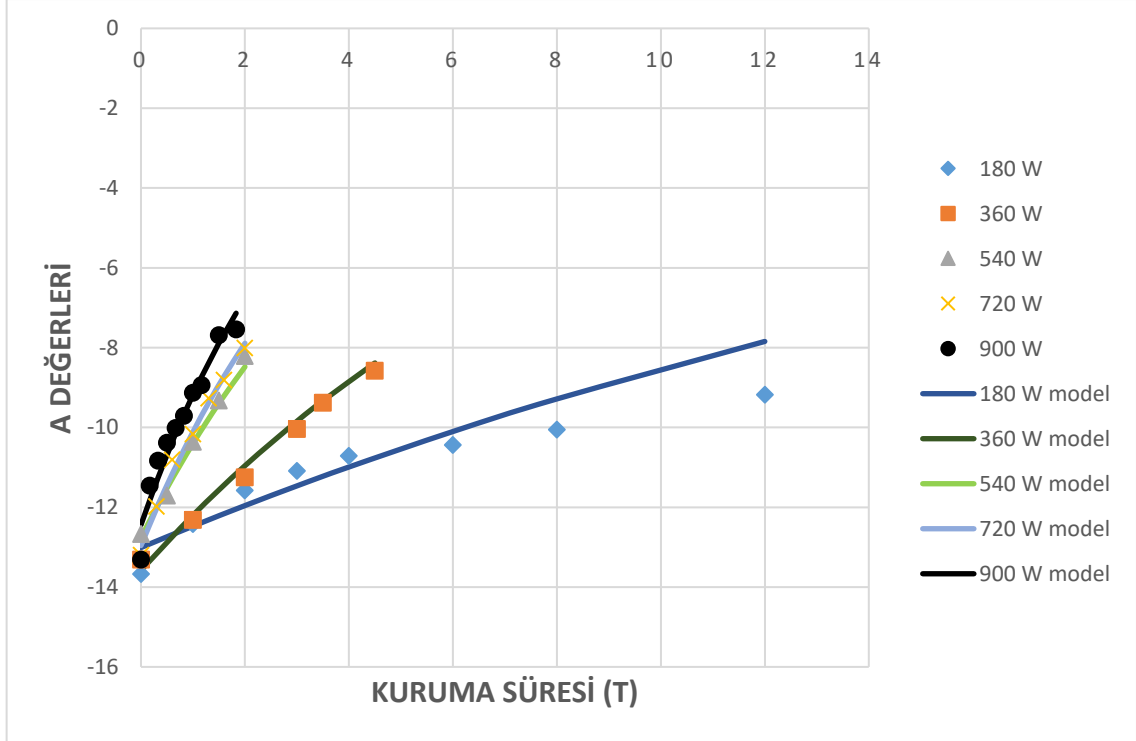
- **a değeri değişimi**

Farklı mikrodalga çıkış güçlerinde elde edilen a değeri Ek-4'teki çizelge çizelge E4.1-E4-5'te görülmektedir. Verilerde de görüldüğü gibi a değeri zamanla artmıştır. Bu durum gıdanın renginin yeşilden kahverengiye dönmeye başladığının bir ölçüsüdür. "a" değeri 180 W çıkış gücünde -9,18 iken 900 W çıkış gücünde -7,54 olmuştur.

Çizelge 8.3: a değeri modelleme çalışmasına ait farklı çıkış güçlerinde elde edilmiş veriler

1. Derece Kinetik Model

Çıkış Gücü (W)	σ	R^2
180	0.4247	0.9746
360	0.1518	0.9976
540	0.1312	0.9978
720	0.2137	0.9943
900	0.4241	0.9732



Şekil 8.6: Farklı çıkış güçlerinde a değerleri ve model değerleri

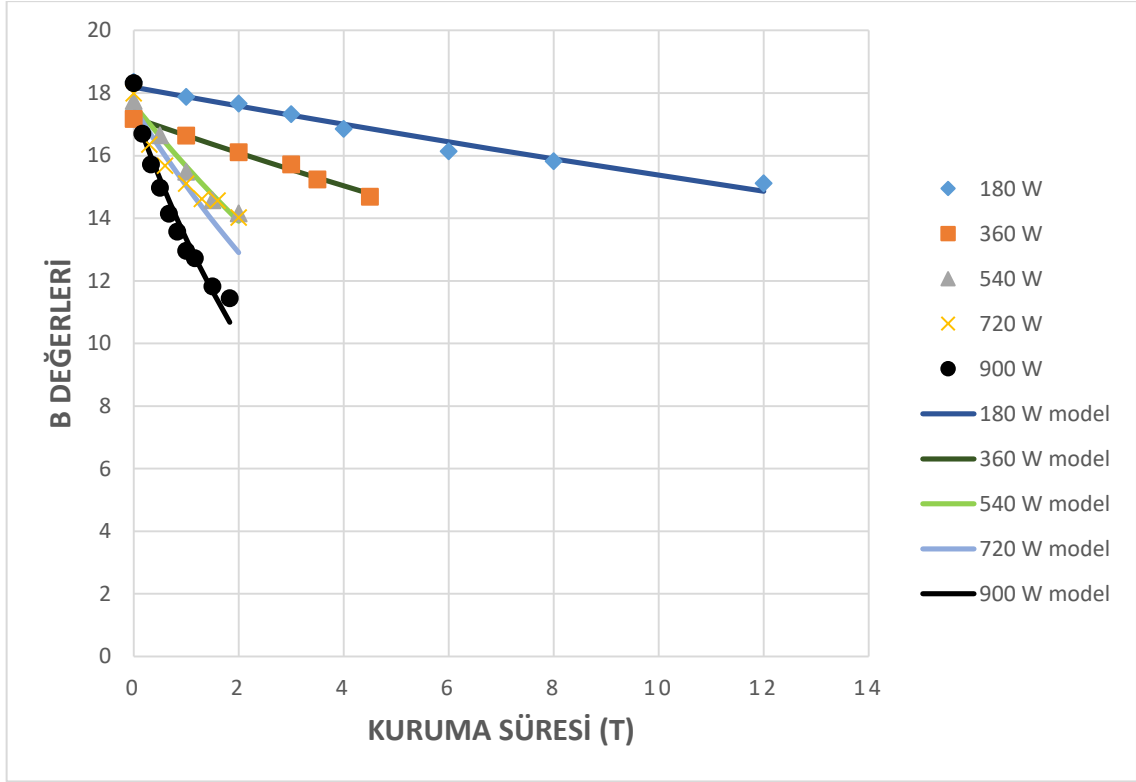
- **b değerinin değışimi**

Farklı mikrodalga çıkış güçlerinde elde edilen a değeri değışimleri Ek-4'teki çizelge çizelge E4.1-E4-5'te görölmektedir. B değerin zamanla azaldığı elde edilen veriler ile ortaya koyulmuştur. “b” değeri 180 W çıkış gücünde 15,12 iken 900 W çıkış gücünde 11,44 olmuştur. Dadalı [1], (2007) çalışmasında durumun gıdada bulunan klorofil ve karoten maddelerinin sıcaklıkla bozunma reaksiyonlarının daha hızlı gerçekleşmesinden kaynaklandığını belirtmiştir.

Çizelge 8.4: b değeri modelleme çalışmasına ait farklı çıkış güçlerinde elde edilmiş veriler

1. Derece Kinetik Model		
Çıkış Gücü (W)	σ	R^2
180	1.92E-01	0.9874
360	1.02E-01	0.9949
540	2.15E-01	0.9921
720	3.37E-01	0.9833
900	5.00E-01	0.9767

Yapılan ölçüm ve hesaplamalar sonucu b değerine ait elde edilen veriler ve model verileri aşağıdaki şekilde görülebilir.



Şekil 8.7: Farklı çıkış güçlerinde b değerleri ve model değerleri

- **Kroma (renk) açısı değişimi**

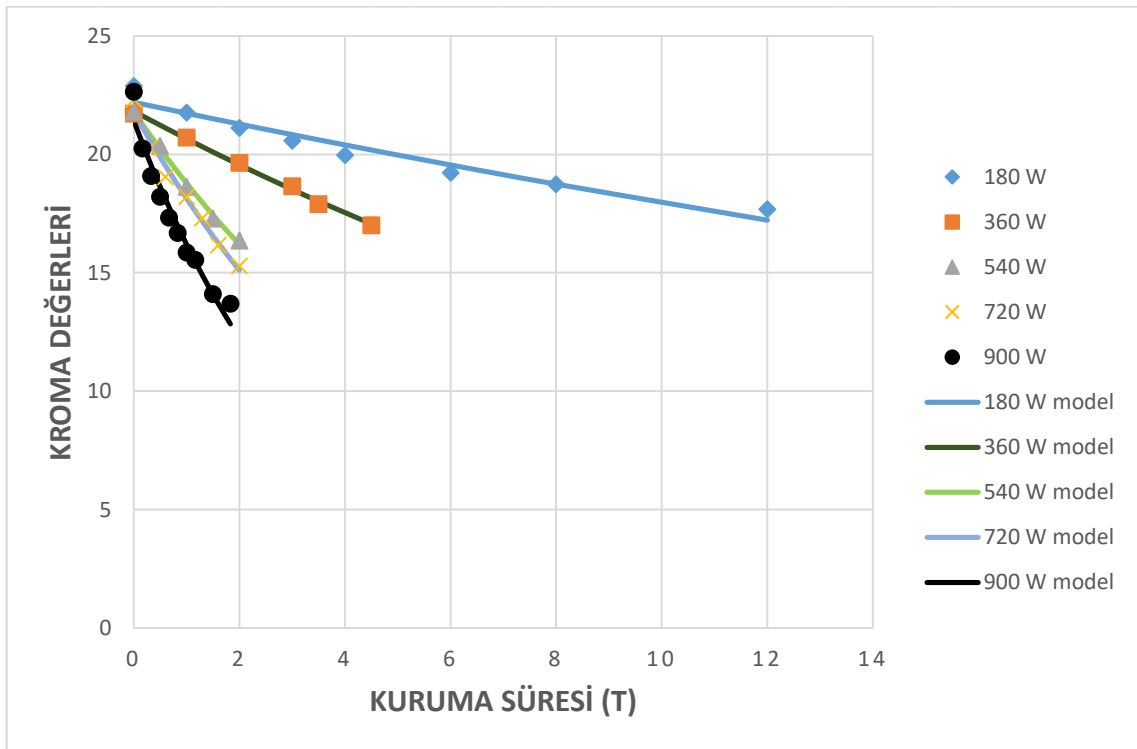
Denklem 7.10 kullanılarak elde edilen verilerin kuruma sırasında zaman ile değişimi Ek-5'teki çizelge çizelge E5.1-E5-5'te verilmiştir. Çizelge incelendiğinde renk açısının kuruma zamanı boyunca azaldığı gözlemlenmiştir. Oluşan bu açısal değişim kurutma sırasında meydana gelen renk değişiminden kaynaklanmaktadır. Aşağıdaki grafikte elde edilen sonuçlar görülebilir.

Çizelge 8.5: Kroma değeri modelleme çalışmasına ait farklı çıkış güçlerinde elde edilmiş veriler

1. Derece Kinetik Model

Çıkış Gücü (W)	σ	R^2
180	0.424	0.9728
360	0.0865	0.9990
540	0.1721	0.9977
720	0.3713	0.9901
900	0.6169	0.9781

Yapılan ölçüm ve hesaplamalar sonucu kroma değerine ait elde edilen veriler ve model verileri aşağıdaki şekilde görülebilir.



Şekil 8.8 Farklı çıkış güçlerinde kroma değerleri ve model değerleri

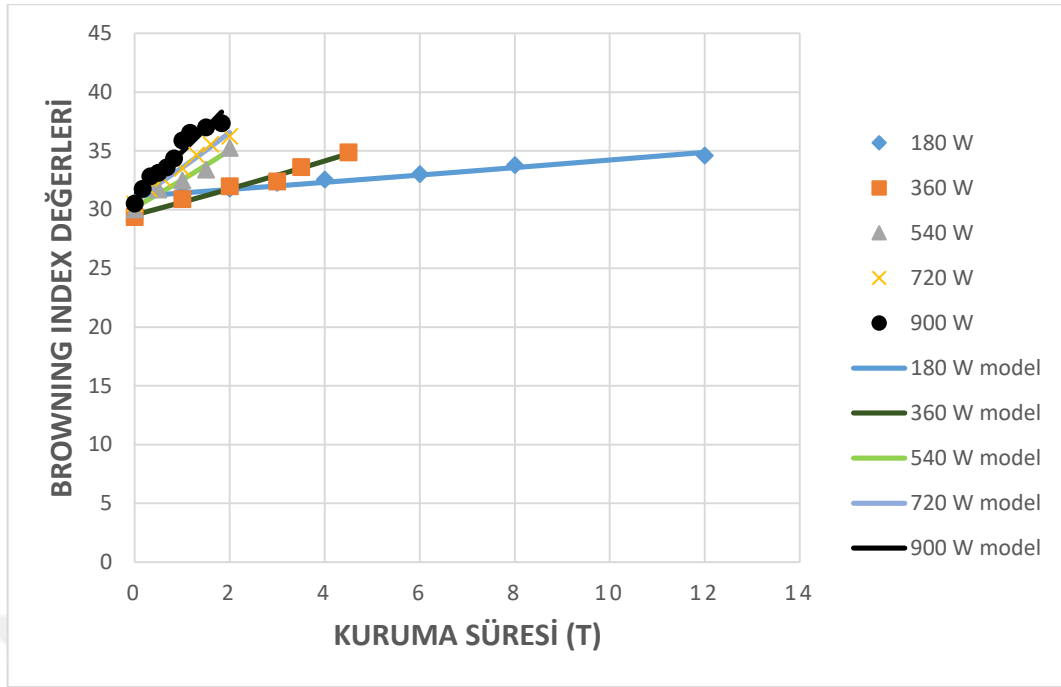
- **Kahverengileşme indeksi (BI) değişimi**

Denklem 7.11 ile hesaplanan BI değerlerinin kuruma zamanı ile değişimi Ek-5'te çizelge E5.1-E5-5'te verilmiştir. Çizelge incelendiğinde kuruma zamanıyla birlikte BI değerlerinin arttığı görülmektedir. 900W çıkış gücünde ise 180 W çıkış gücünden daha fazla kahverengileşme olduğu görülmektedir. Bunun sebebi olarak Dadalı [1], (2007) tarafından yapılan çalışmada, enzimatik ve enzimatik olmayan reaksiyonlar sonucu oluşan kahverengi pigmentler gösterilmiştir.

Çizelge 8.6: Kahverengileşme indeksi (BI) değeri modelleme çalışmasına ait farklı çıkış güçlerinde elde edilmiş veriler

0. Derece Kinetik Model		
Çıkış Gücü (W)	σ	R^2
180	0.4240	0.9728
360	0.0865	0.9990
540	0.1721	0.9977
720	0.3713	0.9901
900	0.6169	0.9781

Yapılan ölçüm ve hesaplamalar sonucu kahverengileşme indeksi (BI) değerine ait elde edilen veriler ve model verileri aşağıdaki şekilde görülebilir.



Şekil 8.9: Farklı çıkış güçlerinde browning index değerleri ve model değerleri

- **Toplam renk değişimi**

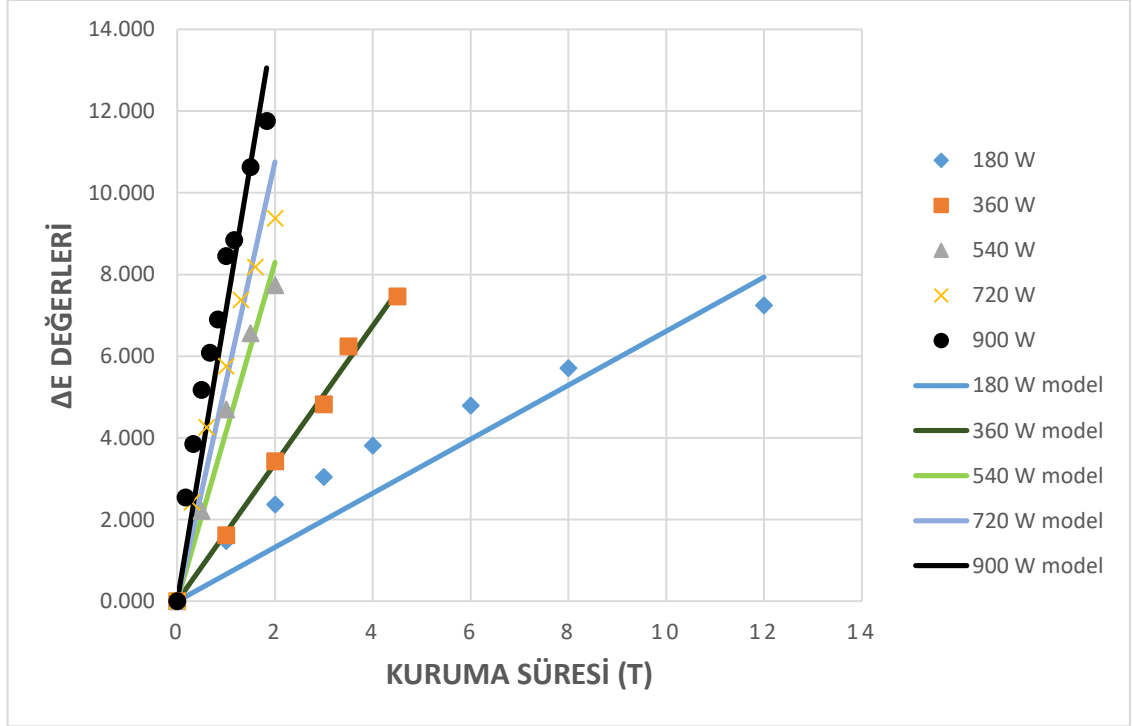
Toplam renk değişimi denklem 7.8 aracılığı ile hesaplanmıştır. Hesaplanan değerler Ek-5'teki çizelge E5.1-E5-5'te verilmiştir. Çizelgede de görüldüğü üzere toplam renk değişimi değeri 180 W çıkış gücünde, 900W çıkış gücünden daha küçüktür.

Çizelge 8.7: Toplam renk değişimi değeri modelleme çalışmasına ait farklı çıkış güçlerinde elde edilmiş veriler

0. Derece Kinetik Model

Çıkış Gücü (W)	σ	R^2
180	0.4740	0.9815
360	0.1953	0.9976
540	0.4353	0.9905
720	0.6919	0.9803
900	0.7247	0.9813

Yapılan ölçüm ve hesaplamalar sonucu toplam renk değişimi değerine ait elde edilen veriler ve model verileri aşağıdaki şekilde görülebilir.



Şekil 8.10: Farklı çıkış güçlerinde toplam renk değişimi değerleri ve model değerleri

- **Hue açısı değişimi**

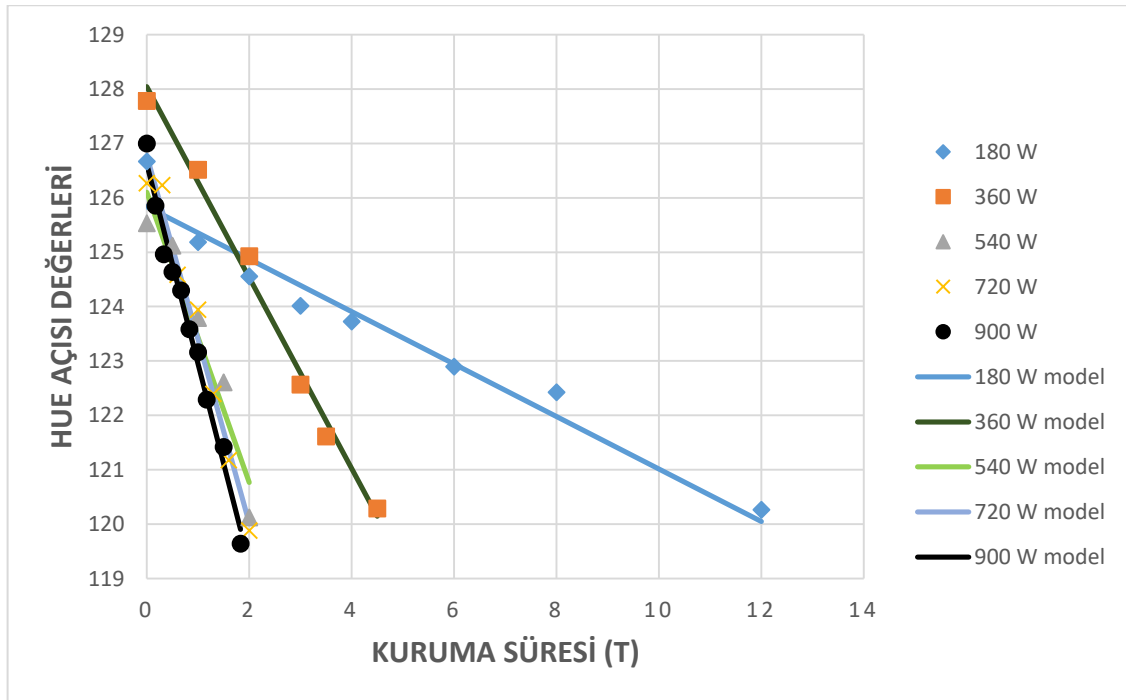
Hue açısı elde edilen tüm veriler için tek tek denklem 7.12 kullanılarak hesaplanmıştır. Hesaplanan değerler Ek-5'teki çizelge E5.1-E5-5'te verilmiştir. Yapılan modelleme çalışması da yine aynı çizelgelerde görülebilmektedir. Elde edilen verilere göre hue açısı mikrodalga fırının çıkış gücünden ve kurutma süresinden bağımsızdır.

Çizelge 8.8: Hue açısı değeri modelleme çalışmasına ait farklı çıkış güçlerinde elde edilmiş veriler

0. Derece Kinetik Model

Çıkış Gücü (W)	σ	R^2
180	0.4740	0.9815
360	0.1953	0.9976
540	0.4353	0.9905
720	0.6919	0.9803
900	0.7247	0.9813

Yapılan ölçüm ve hesaplamalar sonucu hue açısı değerine ait elde edilen veriler ve model verileri aşağıdaki şekilde görülebilir.



Şekil 8.11: Farklı çıkış güçlerinde hue açısı verileri ve modelleme değerleri

8.1.3 Mikrodalga Çıkış Gücünün Melisa Numunesinin Rehidratasyon Oranı Üzerindeki Etkisi

Kurutma deneyleri sonunda elde edilen numunelerin mikrodalga fırının çıkış gücünün rehidratasyona etkisinin görülmesi ve modellenmesi amacıyla 30 °C su sıcaklığında rehidratasyon deneyi yapılmıştır. Elde edilen veriler aşağıda verilen modeller üzerinde deneyerek, mikrodalga fırında kurutulmuş olan melisa officinalis l. yapraklarının rehidratasyonuna en uygun modelin Weibull modeli olduğu belirlenmiştir. Aşağıdaki çizelgelerde farklı çıkış gücünde kurutulmuş melisaların rehidratasyonu deneyi verilerine uygulanmış modellerden elde edilen veriler görülebilmektedir. Model verileri ve deney sırasında elde edilen veriler Ek-6 çizelge E6.1-6.5’da görülebilir.

Çizelge 8.9: Farklı çıkış güçlerinde elde edilen rehidratasyon modelleri katsayıları

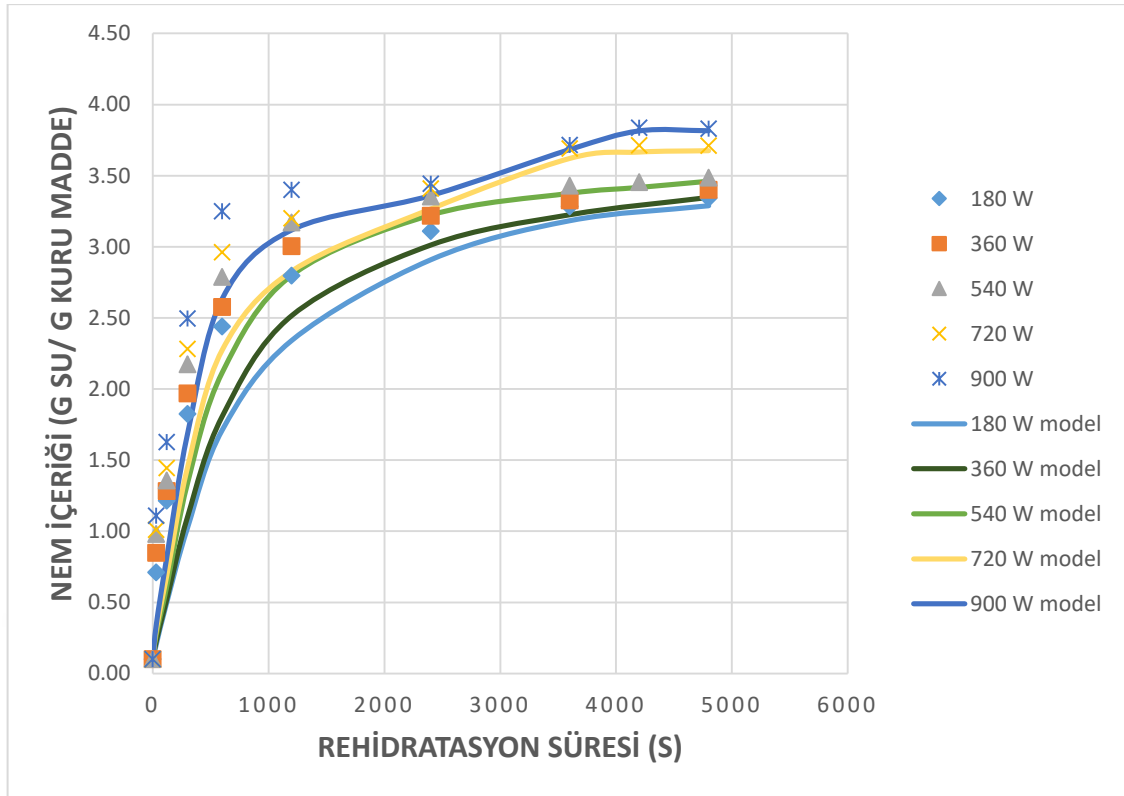
Peleg's Model		
Power (W)	σ	R ²
180	0.0984	0.9974
360	0.1285	0.9957
540	0.1231	0.9961
720	0.1531	0.9948
900	0.1801	0.9932

Weibull Model		
Power (W)	σ	R ²
180	0.0493	0.9994
360	0.0752	0.9985
540	0.0990	0.9974
720	0.1252	0.9965

Çizelge 8.9: Farklı çıkış güçlerinde elde edilen rehidratasyon modelleri katsayıları
(devamı)

900	0.1675	0.9940
First Order Rehydration Kinetic Model		
Power (W)	σ	R²
180	0.2165	0.9854
360	0.2248	0.9847
540	0.2258	0.9847
720	0.2716	0.9807
900	0.2763	0.9809
Exponential Association Model		
Power (W)	σ	R²
180	0.2492	0.9806
360	0.2587	0.9797
540	0.2566	0.9802
720	0.3011	0.9762
900	0.3034	0.9769

Aşağıda elde edilen veriler ve Weibull model değerleri ile hazırlanan grafikler görülebilir



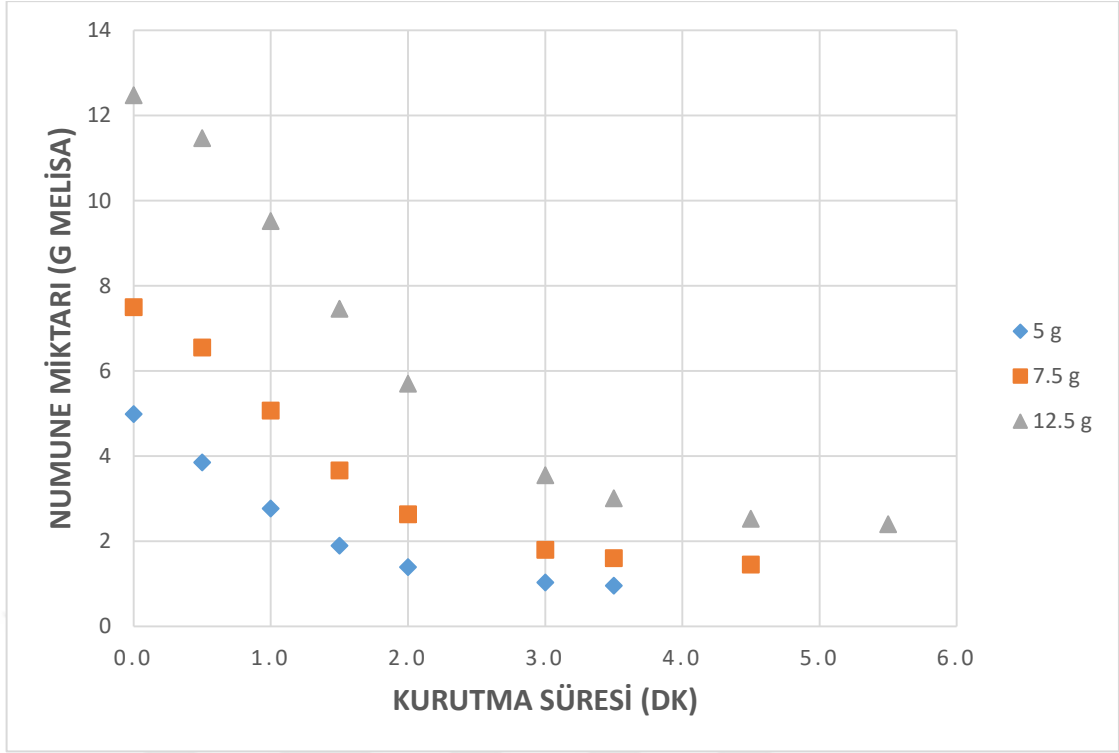
Şekil 8.12: Farklı çıkış güçlerinde nem içeriğinin rehidratasyon süresine bağlı değişimi

8.2 Sabit Mikrodalga Çıkış Gücünde Melisa Yapraklarının Kuruma, Renk Değişim ve Rehidratasyon Kinetiği

8.2.1 Melisa Numunesinin Ağırlığının Kuruma Kinetiğine Etkisi

8.2.1.1 Nem İçeriği Değişimi

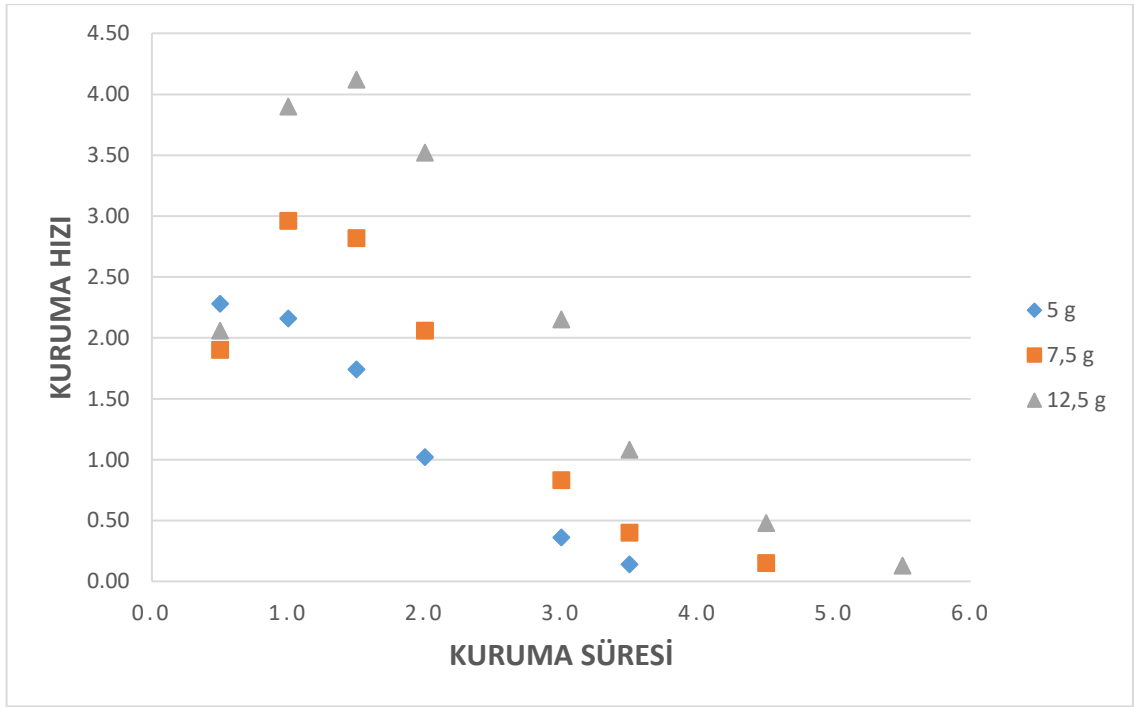
Numune miktarının kuruma yani nem içeriği değişimine etkisinin incelenmesi amacıyla 5-7.5 -12.5 g melisa yaprağı numunesi 360 W çıkış güçlerinde kurutulması sonucu elde edilen nem oranı değerlerinin kuruma zamanı ile birlikte değişimini içeren veriler logaritmik model ile modellenmiştir. Bu işlem için CurveExpert 1.4 basic yazılımı kullanılmıştır. Nem içeriği değişimine ait elde edilen veriler Ek-1 çizelge E1.6-1.8'te sırasıyla verilmiştir. Elde edilen sonuçlara göre numune miktarı arttıkça kurutma süresi de artmıştır.



Şekil 8.13: Yüksek gramajlarda elde edilen kuruma verileri

8.2.1.1 Kuruma Hızı Değişimi

Sabit 360 W çıkış gücünde 5, 7.5, 12.5 g numunelerin kurutulması sonucu elde edilen veriler denklem 7.2 ve 7.5 kullanılarak hesaplanmış ve Ek-2 de görülen veriler elde edilmiştir. Bu verilerden aşağıdaki grafikler elde edilmiştir.



Şekil 8.14: Yüksek gramajlı numunelerin kuruma hızı

Yüksek gramajlı numunelerde ise önce artan, ardından azalan hızda bir kuruma daha sonra azalan hızda bir kuruma görülmektedir. Numune miktarı arttıkça, kuruma hızı da artmış ancak uzaklaşması gereken su miktarının da daha fazla olması sebebiyle kuruma süresi artmıştır.

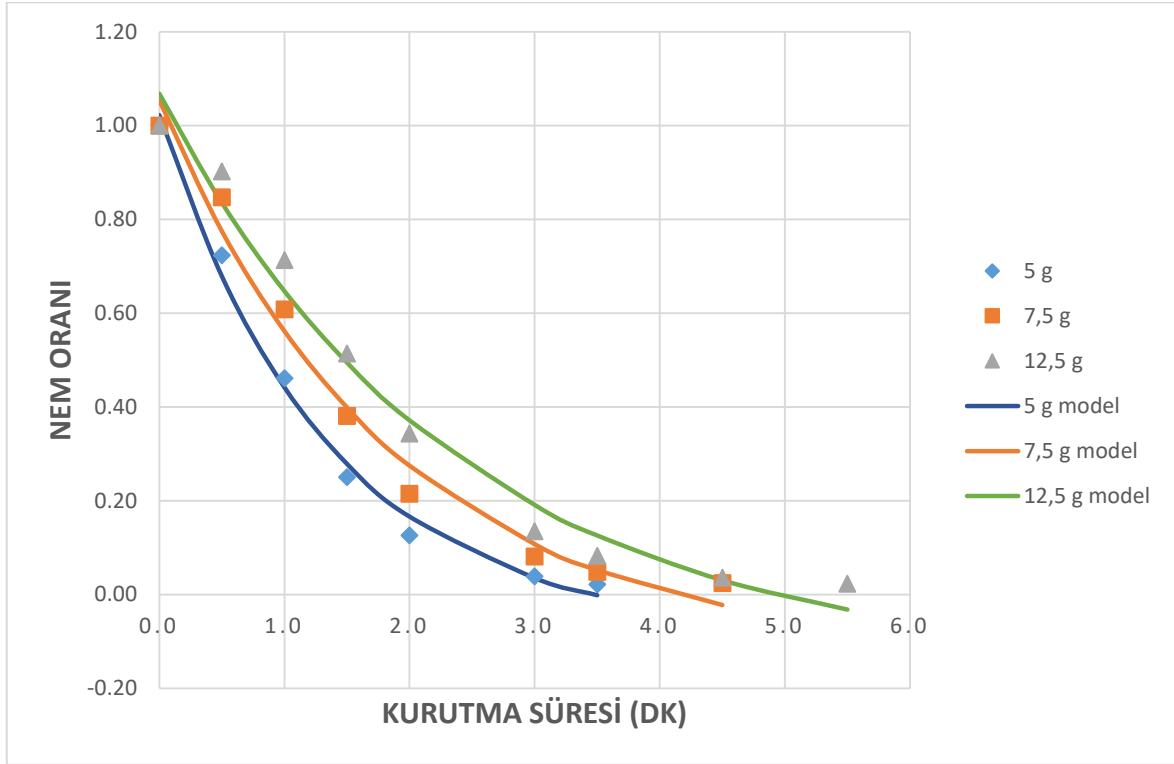
8.2.1.3 Kuruma Kinetiğine Ait Modelleme Çalışması

Mikrodalga tekniği ile kurutulan numunelerden deney sırasında elde edilen verilerin zaman ile değişimini içeren deneysel veriler, logaritmik ile modellenmiştir. Modellere ait istatistiksel veriler Çizelge 8.11 de görülebilir.

Çizelge 8.10: Mikrodalga tekniğiyle kurutma işleminden elde edilen verilerden yola çıkılarak yapılan modelleme çalışmalarına ait veriler

Model	Mikrodalga Çıkış Gücü	R	δ	a	b	c
Logaritmik	5	0.99689	0.03588	1.11E+00	7.45E-01	-8.33E-02
	7.5	0.99107	0.05999	1.18E+00	5.39E-01	-1.27E-01
	12.5	0.99026	0.06144	1.22E+00	4.24E-01	-1.51E-01

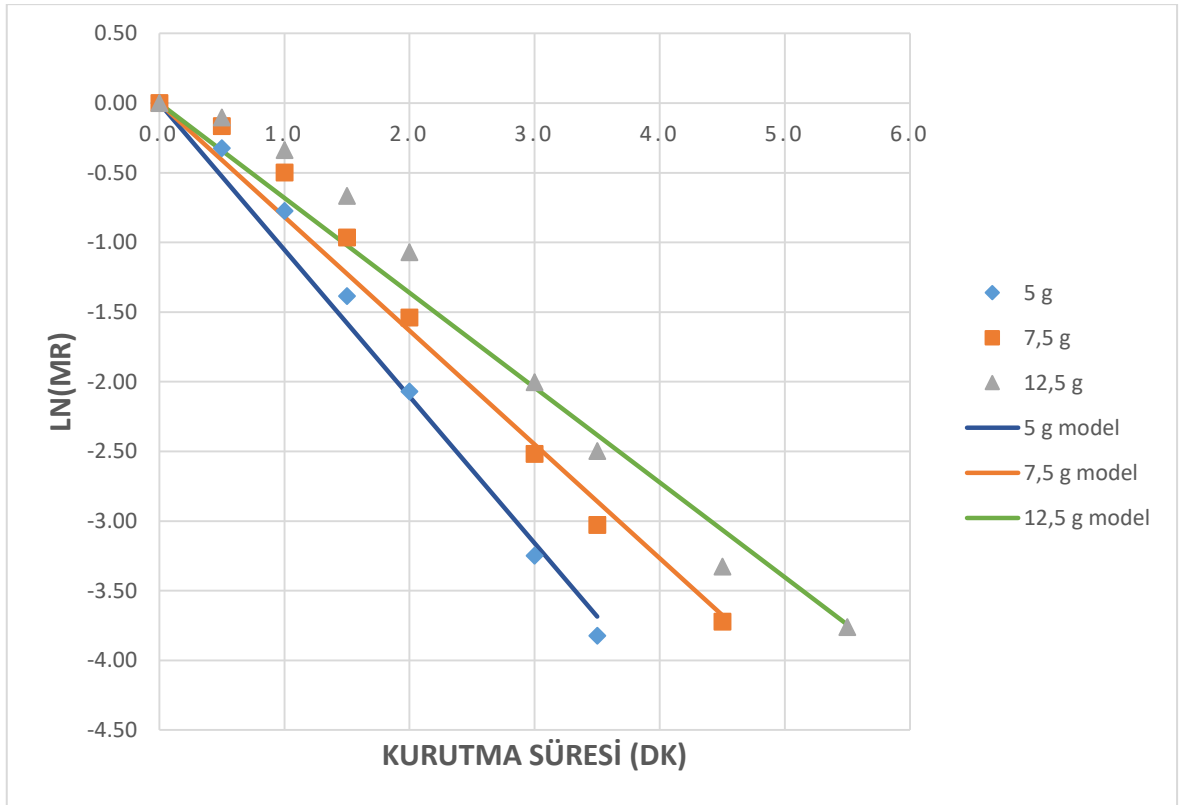
Deney sırasında elde edilen veriler ve bu verilerin model verileri ile birlikte bulunduğu grafik aşağıda görülebilir



Şekil 8.15: Yüksek gramajda elde edilen nem oranı verileri ve hesaplanan model verileri

8.2.1.4 Etkin Difüzivite Katsayısının Hesaplanması

Etkin difüzivite katsayısı için ince tabaka kabulü yapılan melisa yapraklarının farklı numune ağırlıklarında kurutulmaları sırasında meydana gelen kütle kaybı verileri kullanılmıştır ve eşitlik 7.5'te verilen eşitlik yardımıyla hesaplanmıştır.



Şekil 8.16: Yüksek gramajda elde edilen $\ln(MR)$ verileri ve hesaplanan model verileri

Şekilden de görüleceği üzere daha düşük numune miktarlarında daha yüksek etkin difüzivite katsayısı mevcuttur.

8.2.2 Numune Ağırlığının Renk Değişimine Etkisi

Numune miktarının renk değişimine etkisinin gözlenmesi amacıyla farklı gramajlarda numuneler hazırlanmış ve 360 W sabit çıkış gücünde kurutulmuş daha önce yapılan kurutma deneyinde belirlenen numune alma zamanlarında numune alınarak renk ölçüm cihazı analizi yapılmıştır. 3 noktadan alınan renk ölçümlerinin (L, a, b değerleri) ortalaması ile hesaplamalar yapılmıştır. Ek-4 te yer alan çizelgelerde ölçülen renk değerleri görülmektedir.

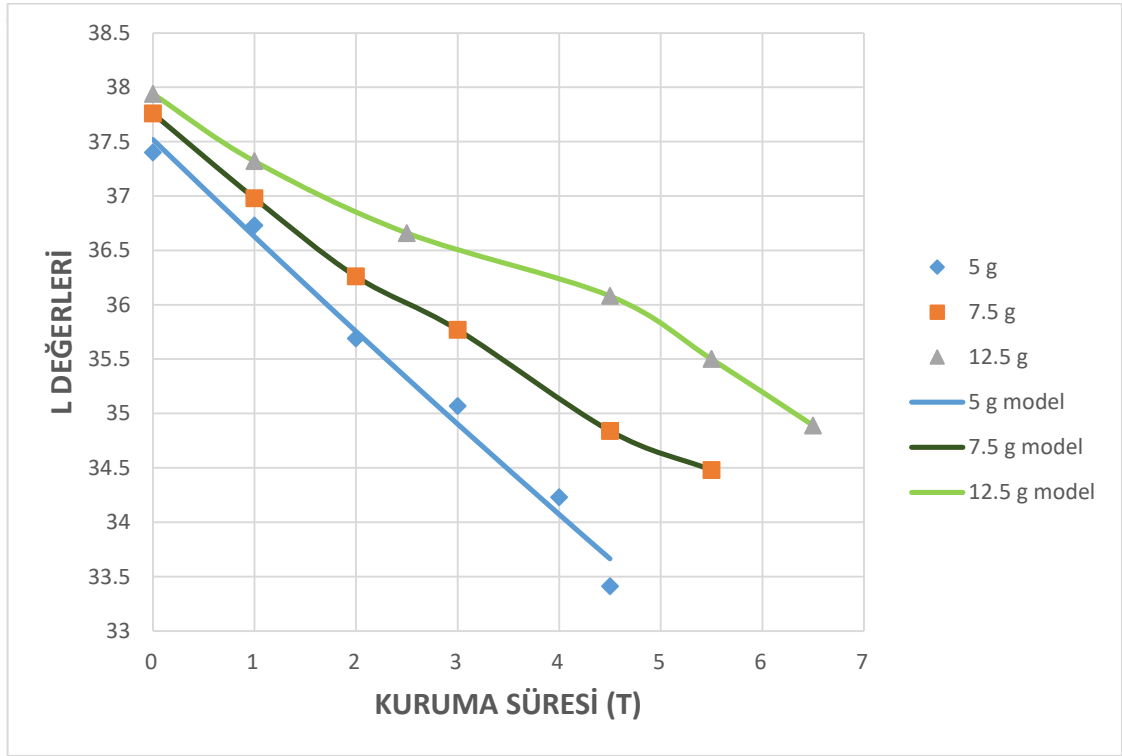
- **L değeri değişimi**

Farklı ağırlıklardaki numunelerin L değeri değişimi ve matematiksel model değerleri şekil 8.19 de, verileri ise Ek-4’te verilmiştir.

Çizelge 8.11: L değeri modelleme çalışmasına ait farklı gramajlarda elde edilmiş veriler

1. Derece Kinetik Model		
Gramaj	σ	R^2
5 g	0.1914	0.9935
7.5 g	0.1256	0.9959
12.5	0.1454	0.9934

Yapılan ölçüm ve hesaplamalar sonucu L değerine ait elde edilen veriler ve model verileri aşağıdaki şekilde görülebilir.



Şekil 8.17: Yüksek gramajda L değerleri ve model değerleri

Şekil incelendiğinde, kurumadan kaynaklı kahverengileşmeye bağlı olarak L değerleri azalmaktadır. Numune miktarı arttıkça L değerindeki düşüş azalmıştır. Bu da daha fazla numune olması durumunda yapraklardaki ısınmanın azalmasından kaynaklanmaktadır.

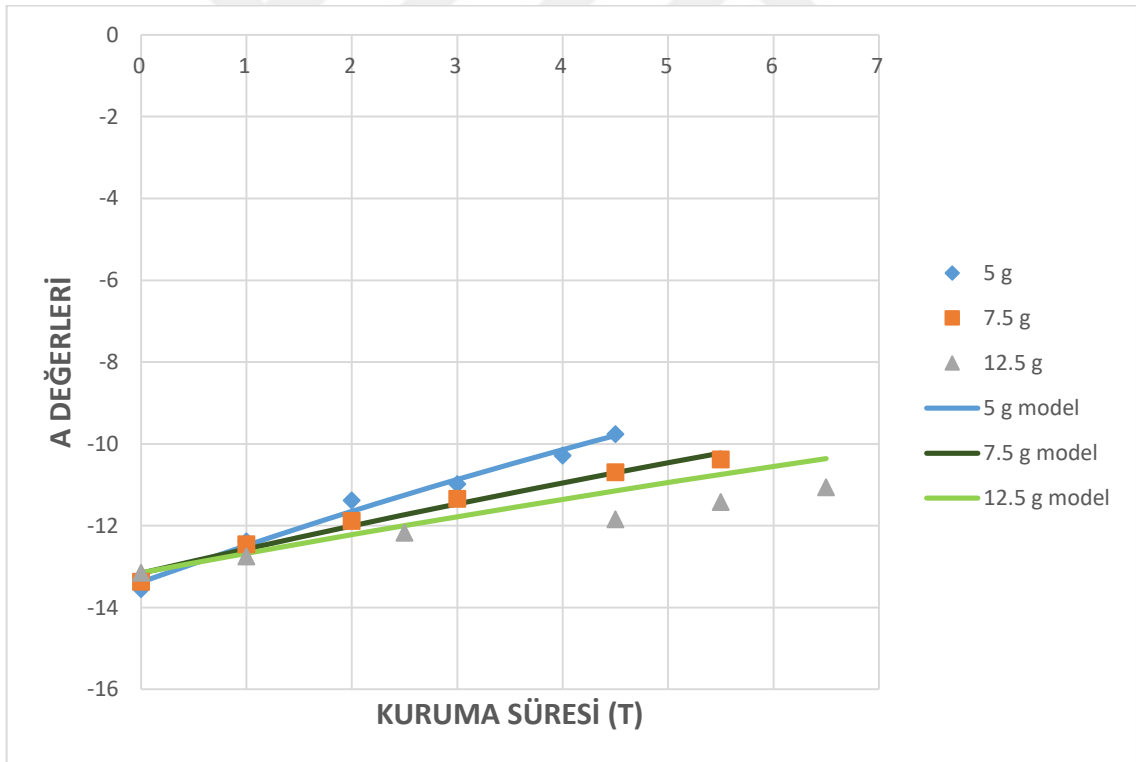
- a değeri değişimi

Farklı ağırlıklardaki numunelerin a değeri değişimi ve matematiksel model değerleri şekil 8.20 de, verileri ise Ek-4’te verilmiştir.

Çizelge 8.12: a değeri modelleme çalışmasına ait farklı gramajlarda elde edilmiş veriler

1. Derece Kinetik Model		
Gramaj	σ	R^2
5 g	0.1903	0.9925
7.5 g	0.1694	0.9908
12.5	0.1959	0.9877

Yapılan ölçüm ve hesaplamalar sonucu a değerine ait elde edilen veriler ve model verileri aşağıdaki şekilde görülebilir.



Şekil 8.18: Yüksek gramajda a değerleri ve model değerleri

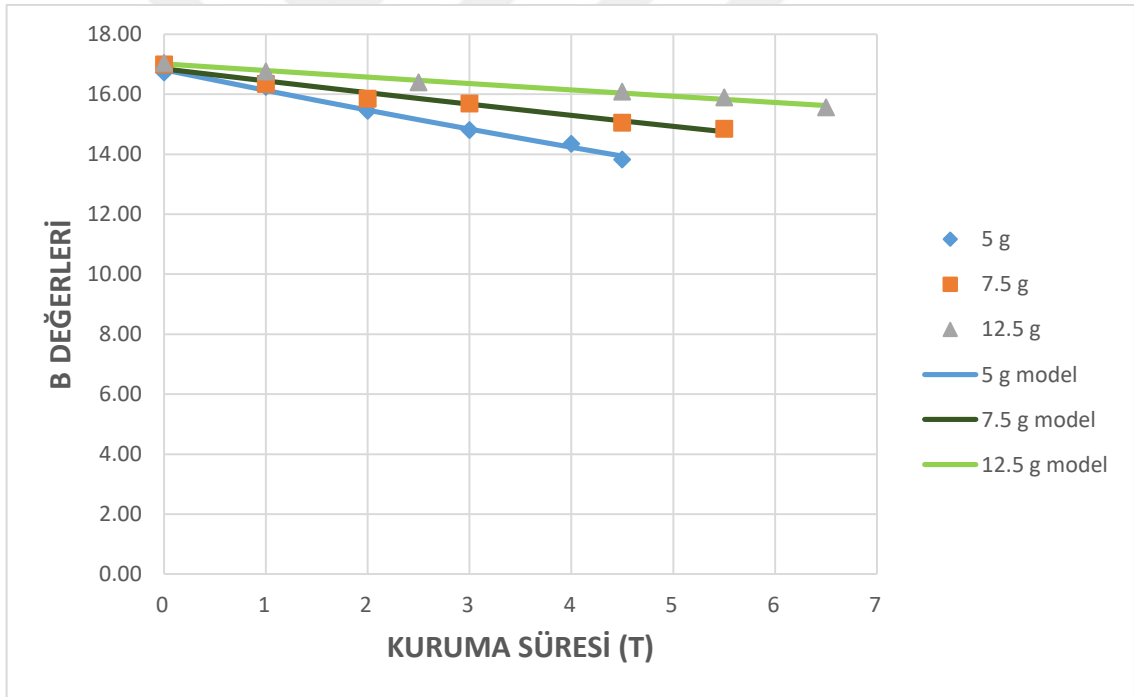
Şekil incelendiğinde kahverengileşmeye bağlı olarak a değerlerinde artış gözlenmektedir. En yüksek değişim 5 g, en düşük değişim ise 12.5 g numune miktarında gözlemlenmiştir.

- **b değeri değışimi**

Farklı ağırlıklardaki numunelerin b değeri değışimi ve matematiksel model değeri şekil 8.21 de, verileri ise Ek-4’te verilmiştir.

Çizelge 8.13: b değeri modelleme çalışmasına ait farklı gramajlarda elde edilmiş veriler

1. Derece Kinetik Model		
Gramaj	σ	R^2
5 g	1.11E-01	0.9961
7.5 g	1.18E-01	0.9912
12.5	6.74E-02	0.9941



Şekil 8.19: Yüksek gramajlarda b değeri ve model değeri

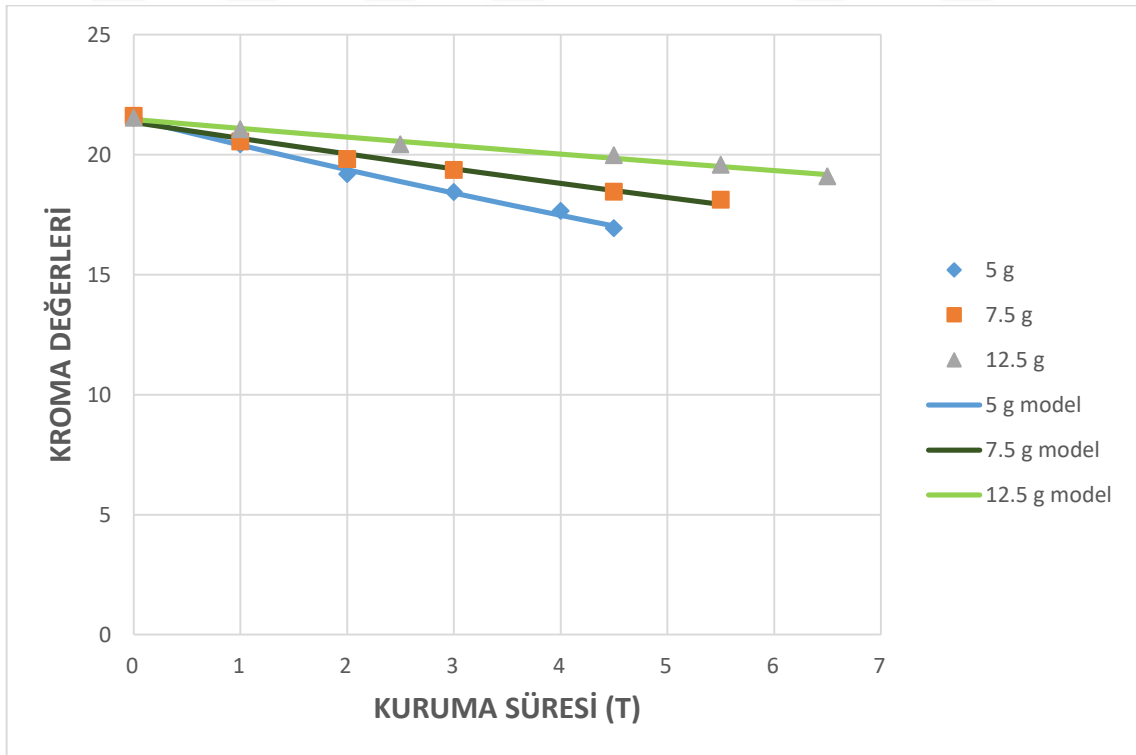
Şekil incelendiğinde, kurumadan kaynaklı kahverengileşmeye bağlı olarak b değeri azalmaktadır. Numune miktarı arttıkça b değeri azalmıştır.

- **Kroma (renk) açısı değişimi**

Denklem 7.10 kullanılarak elde edilen verilerin kuruma sırasında zaman ile değişimi Ek-5'teki çizelge çizelge E5.6-E5-8'de verilmiştir. Çizelge incelendiğinde renk açısının kuruma zamanı boyunca azaldığı gözlemlenmiştir. Oluşan bu açısal değişim kurutma sırasında meydana gelen renk değişiminden kaynaklanmaktadır. Aşağıdaki grafikte elde edilen sonuçlar görülebilir.

Çizelge 8.14: Kroma değeri modelleme çalışmasına ait farklı gramajlarda elde edilmiş veriler

1. Derece Kinetik Model		
Gramaj	σ	R^2
5 g	0.1423	0.9973
7.5 g	0.2152	0.9891
12.5	0.1119	0.9940



Şekil 8.20: Yüksek gramajda kroma değerleri ve model değerleri

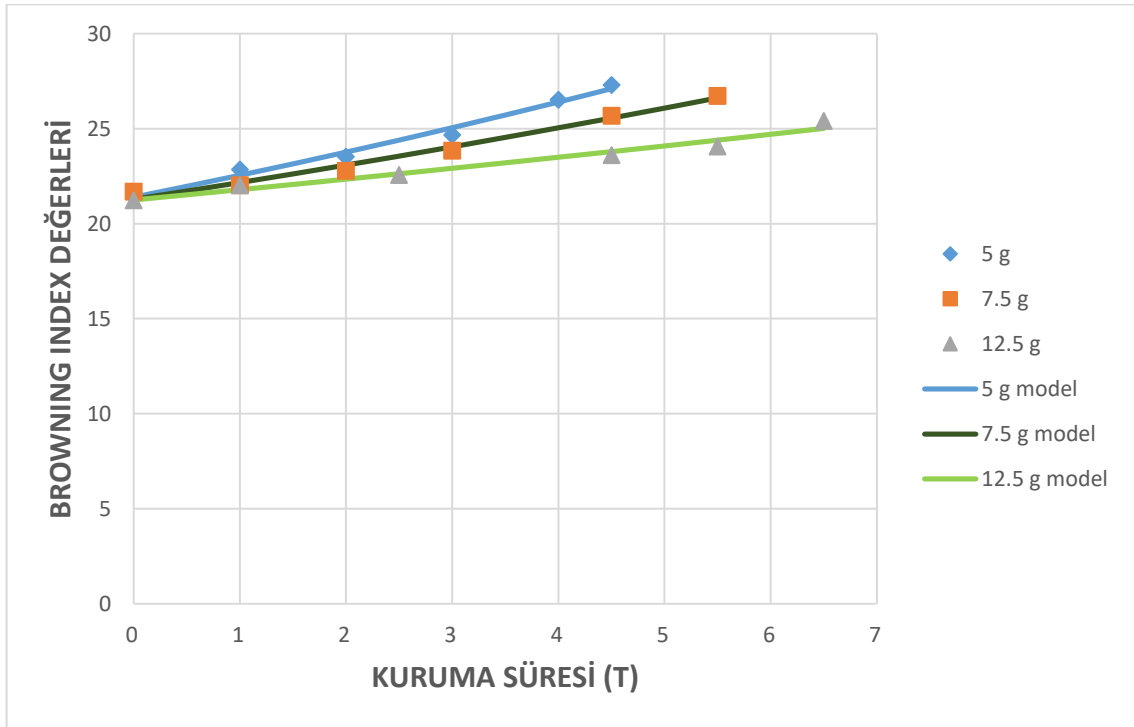
- **Kahverengileşme indeksi (BI) değişimi**

Denklem 7.11 ile hesaplanan BI değerlerinin kuruma zamanı ile değişimi Ek-5'te çizelge E5.6-E5-8'de verilmiştir. Çizelge incelendiğinde kuruma zamanıyla birlikte BI değerlerinin arttığı görülmektedir.

Çizelge 8.15: Kahverengileşme indeksi (BI) değeri modelleme çalışmasına ait farklı gramajlarda elde edilmiş veriler

1. Derece Kinetik Model		
Gramaj	σ	R²
5 g	0.1423	0.9973
7.5 g	0.2152	0.9891
12.5	0.1119	0.9940

Yapılan ölçüm ve hesaplamalar sonucu kahverengileşme indeksi (BI) değerine ait elde edilen veriler ve model verileri aşağıdaki şekilde görülebilir.



Şekil 8.21: Yüksek gramajda browning index değerleri ve model değerleri

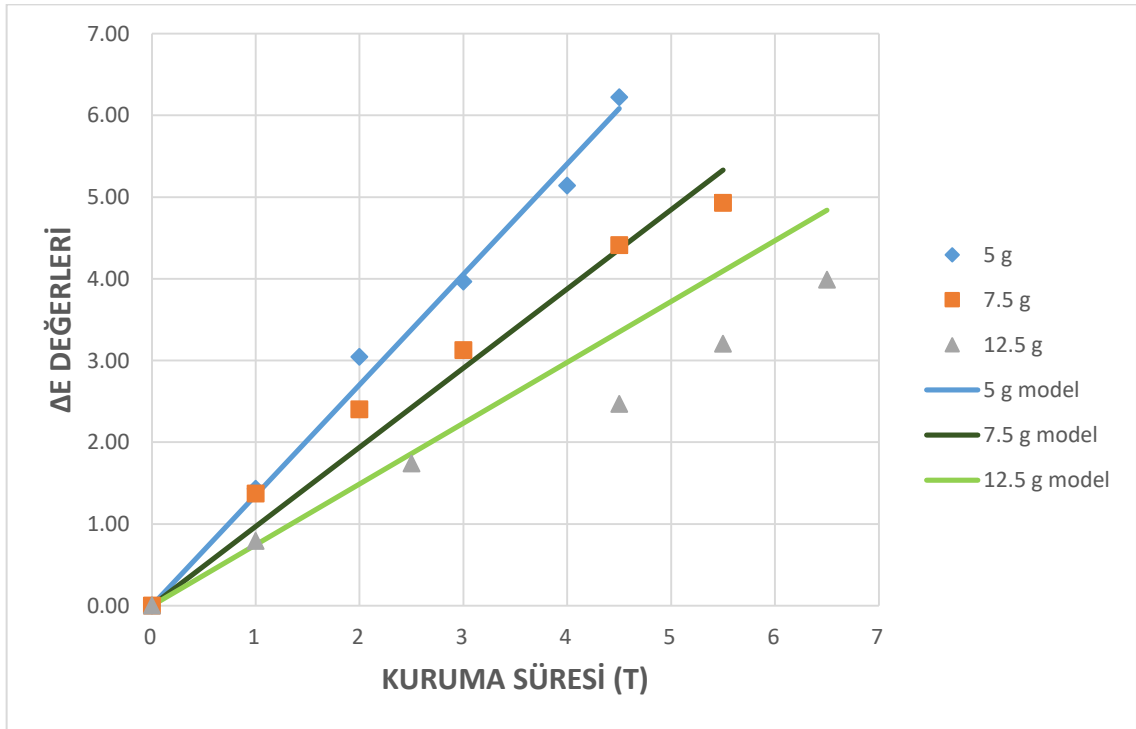
- **Toplam renk değışimi**

Toplam renk değışimi denklem 7.8 aracılığı ile hesaplanmıştır. Hesaplanan değler Ek-5'teki çizelge E5.6-E5-8'de verilmiştir. Çizelgede de görüldüğü üzere toplam renk değışimi değeri 12.5 g numune miktarında, 5 g'dan daha küçüktür.

Çizelge 8.16: Toplam renk değışimi değeri modelleme çalışmasına ait farklı gramajlarda elde edilmiş veriler

0. Derece Kinetik Model		
Gramaj	σ	R²
5 g	0.2091	0.9959
7.5 g	0.3424	0.9828
12.5	0.1758	0.9930

Yapılan ölçüm ve hesaplamalar sonucu toplam renk değışimi değeriine ait elde edilen veriler ve model verileri aşağıdaki şekilde görülebilir.



Şekil 8.22: Yüksek gramajda toplam renk değışimi değeri ve model değeri

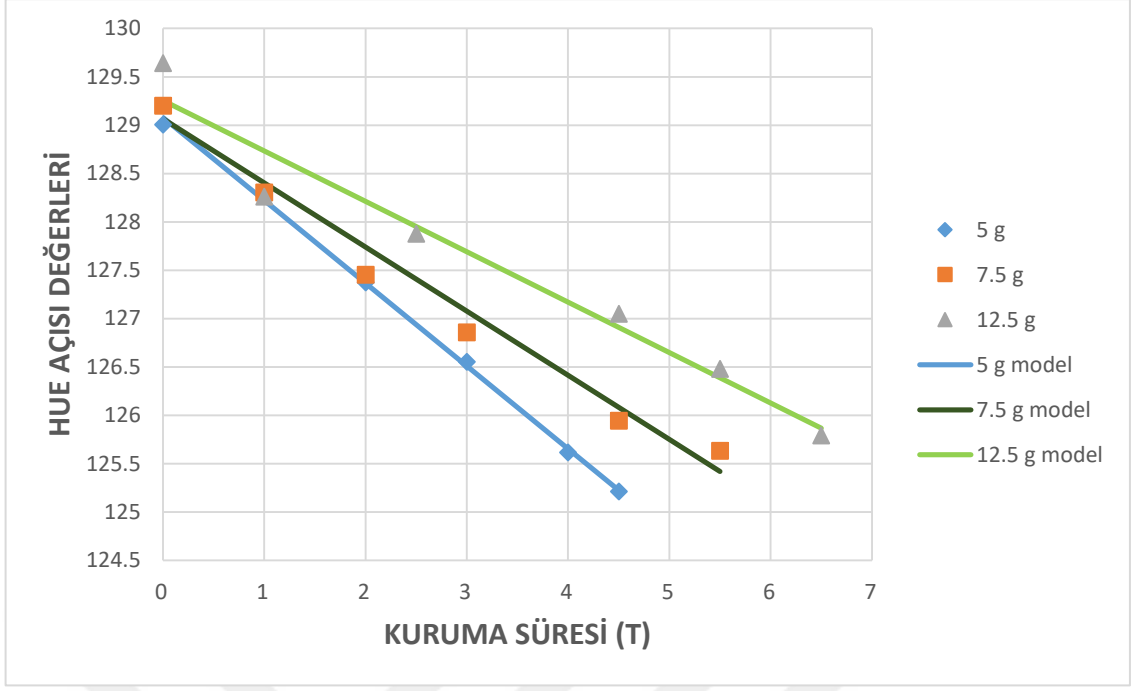
- **Hue açısı değişimi**

Hue açısı elde edilen tüm veriler için tek tek denklem 7.12 kullanılarak hesaplanmıştır. Hesaplanan değerler Ek-5'teki çizelge E5.6-E5-8'de verilmiştir. Yapılan modelleme çalışması da yine aynı çizelgelerde görülebilmektedir. Elde edilen verilere göre hue açısı numune miktarı arttıkça kısmen denebilecek kadar az bir miktarda daha az değişim göstermiştir.

Çizelge 8.17: Hue açısı değeri modelleme çalışmasına ait farklı gramajlarda elde edilmiş veriler

0. Derece Kinetik Model		
Gramaj	σ	R²
5 g	0.2091	0.9959
7.5 g	0.3424	0.9828
12.5	0.1758	0.9930

Yapılan ölçüm ve hesaplamalar sonucu hue açısı değerine ait elde edilen veriler ve model verileri aşağıdaki şekilde görülebilir.

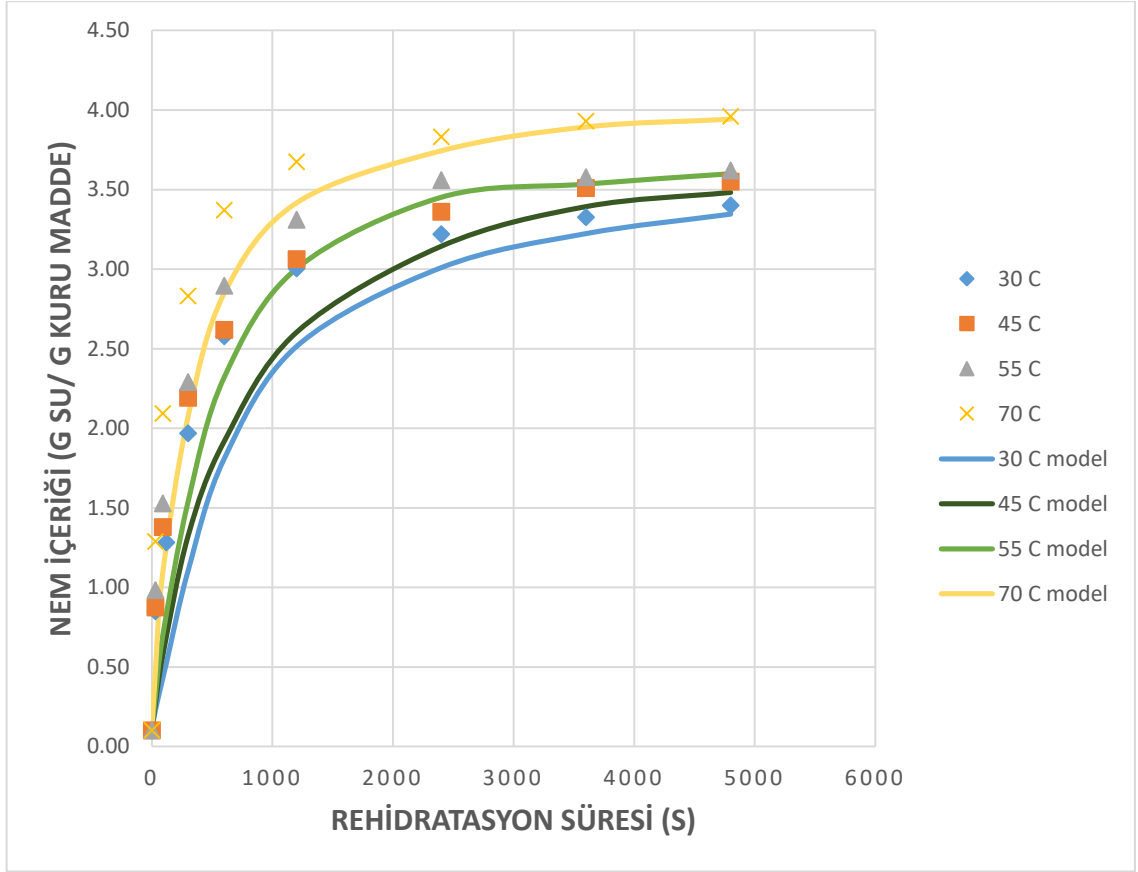


Şekil 8.23: Yüksek gramajda hue açısı verileri ve modelleme değerleri

8.2.4 Sıcaklığın Melisa Numunesinin Rehidratasyonuna Etkisi

Kurutma deneyleri sonunda elde edilen numunelerin farklı sıcaklıklarda suyu geri absorblama miktarının ölçülmesi amacıyla 30, 45, 55 ve 70 °C su sıcaklıklarında rehidratasyon deneyleri yapılmıştır. Elde edilen veriler aşağıda verilen modeller üzerinde denenerek, mikrodalga fırında kurutulmuş olan melisa officinalis l. yapraklarının rehidratasyonuna en uygun modelin Weibull modeli olduğu belirlenmiştir.

Elde edilen veriler ve model değerleri Ek-6 da ve aşağıdaki grafikte görülebilir



Şekil 8.24: Yüksek sıcaklıklarda nem içeriğinin rehidratasyon süresine bağlı değişimi

Rehidratasyon deneyinde gerçekleşen nem değişimi incelendiğinde en hızlı rehidratasyon 70 °C sıcaklıkta gerçekleşmiştir. Sıcaklık artışıyla beraber difüzivitenin artması buna sebep olarak gösterilebilir.

SONUÇ VE ÖNERİLER

Bu çalışmada *Melissa Officinalis* L. bitkisinin mikrodalga tekniği ile farklı çıkış güçleri ve ağırlıklarda kuruma, kuruma sırasındaki renk değişim kinetiği ve rehidratasyon kinetiği incelenmiştir. Elde edilen sonuçlar aşağıda verilmiştir:

Kurutma Hızlarının İncelenmesi:

Farklı mikrodalga ve farklı numune ağırlıklarında yapılan deneyler sonucu mikrodalga çıkış gücü arttıkça ve numune ağırlığı azaldıkça kuruma süresi azalmıştır. Elde edilen veriler literatürde de mevcut olan bilgilerde olduğu gibi diğer kurutma yöntemlerine kıyasla oldukça hızlı bir kuruma sağlandığını göstermektedir. Argyropoulos & Müller [38] tarafından yapılan araştırmada kullanılan sıcak hava akışlı fırında kuruma süresi yüksek sıcaklıklara bile çıkılsa birkaç saatin altına inmemiştir. Mikrodalga kurutmada ise en uzun kuruma süresi 6 dakika olarak belirlenmiştir. Bu da mikrodalga ile kurutma yönteminin en büyük avantajını ortaya koymaktadır.

Kurutma için kullanılan çıkış güçleri incelendiğinde hem kalite göstergesi olan renk değerlerinin en az değiştiği hem de enerji sarfiyatı ve kurutma süreleri göz önünde bulundurularak elde edilen en ideal mikrodalga çıkış gücü olarak 360 W belirlenmiştir.

Kuruma Kinetiğinin İncelenmesi:

5 farklı ince tabaka kurutma modeli, mevcut veriler üzerinde denenmiştir. Bu modeller:

- Henderson & Pabis modeli
- Wang & Shing modeli
- Logaritmik model

- Newton modeli
- Page modelidir.

Bu modeller içinde logaritmik model, tüm verilerde en yüksek R^2 , en düşük δ değerlerini ve gerçek verilere en yakın değerleri sağlayan model olmuştur. Bu sebeple de melissa officinalis L. bitkisinin kuruma kinetiğini en iyi açıklayan model olarak belirlenmiştir. Modele ait kinetik sabit olan k (dk^{-1}) sabiti, mikrodalga çıkış gücü arttıkça ve numune miktarı azaldıkça artış göstermiştir. Ayrıca kuruma sırasında a değerleri artış, b değerleri ve L değerleri azalış göstermiştir. Bu da kuruma sırasında oluşan kahverengileşme reaksiyonlarının sonucu olarak karşımıza çıkmaktadır.

Renk Değişiminin İncelenmesi

Melissa officinalis L. bitkisi yaprakları tüm mikrodalga çıkış güçlerinde renk değişimi göstermiş bir miktar rengi koyulaşmıştır. Elde edilen L , a , b verileri ve kahverengileşme indeksi de bu durumu sayısal olarak ortaya koymaktadır.

Kurutma için ideal çıkış gücü olarak belirlediğimiz 360 W değeri seçilirken bu değerler de göz önünde bulundurulmuştur.

Renk değişiminin modellenmesi amacı ile aşağıdaki iki model uygulanmıştır:

- Sıfırıncı dereceden kinetik model
- Birinci dereceden kinetik model

Yapılan modelleme çalışması sonucunda L , a ve b değerleri ile kroma açısı ve kahverengileşme indeksi verilerinin birinci dereceden kinetik modele uyduğu belirlenmiştir. Hue açısı ve toplam renk değişimi ise sıfırıncı dereceden kinetik modele uygunluk göstermiştir.

Elde edilen veriler L , a ve b değerlerinin kurutma sırasında oluşan reaksiyonlardan dolayı az da olsa kahverengileştiğini göstermektedir. Bu bilgi toplam renk değişimi ve kahverengileşme indeksi ile de doğrulanmıştır. Hue açısı ise kurutma hızı, süresi ve mikrodalga fırının çıkış değerinden bağımsız olarak yaklaşık aynı başlangıç ($t=0$ anı için) ve son değerlere sahip olmuştur

Rehidratasyon Kinetiğinin İncelenmesi:

Kurutulmuş *melissa officinalis* L. yaprakları rehidratasyon işlemine tabii tutulmuş ve geri absorbladığı su miktarı belirlenmiştir. Elde edilen verilerde melisa bitkisinin taze iken sahip olduğu nem içeriğine yakın değerlere kolayca geri dönebildiği gözlemlenmiştir. Buna sebep olarak melisa bitkisinin yapısal bozulmalara uğramadan hızlıca kuruması gösterilebilir. Modelleme çalışması için daha önce başlık 7.5.3'te formülizasyonları verilmiş olan Peleg, Weibull, 1. Derece kinetik model ve Exponential Association modelleri denenmiştir. Elde edilen sonuçlara göre verilere en uygun model Weibull modeli olmuştur. Yapılan hesaplama ve elde edilen verilere göre, melisa yaprakları önce sabit bir hızda suyu absorblamış ardından azalan hızda kütle artışı ile sabit kütleye ulaşmıştır. Kurutma sırasında oluşan yapısal bozulmalar dolayısıyla yapraklar kurutmadan önceki ağırlığa dönememiştir. Absorblanan su miktarı sıcaklıkla ve mikrodalga çıkış gücüyle birlikte bir miktar artmıştır.

Etkin Difüzivite Katsayının ve Aktivasyon Enerjisinin İncelenmesi

Yapılan deneyler ve hesaplamalar sonucunda etkin difüzivite katsayısının, numunenin içerdiği su miktarı azaldıkça azaldığı görülmüştür. Bu da gıdanın içerdiği su miktarı azaldıkça kurumanın zorlaştığını göstermektedir. Bu durum kuruma hızı ve kurumaya bağlı kütle azalış hızında da görülebilmektedir.

KAYNAKLAR

-
- [1] Dadalı, G. (2007). Bamyas ve Ispanağın Mikrodalga Tekniğı Kullanılarak Kurutulması, Doku ve Renk Özelliklerinin İncelenmesi ve Modellenmesi, Yüksek Lisans Tezi, Yıldız Teknik Üniversitesi, İstanbul, Türkiye.
 - [2] Erbay, B. Ve Küçüköner, E. (2008). Gıda Endüstrisinde Kullanılan Farklı Kurutma Sistemleri. Türkiye 10. Gıda Kongresi Bildirisi, Erzurum.
 - [3] Yoğurtçu, H. (2015). Determination of Drying Kinetics of Tunceli Garlic with Microwave Drying Technique. Tarım Bilimleri Dergisi, 22:237-248.
 - [4] Wilhelm, L. R. vd., (2005). Drying and Dehydration. Food & Process Engineering Technology, 7:259-284.
 - [5] Food and Agriculture Organization of United Nations. (2017). Food and Agriculture Organization of United Nations, <http://www.fao.org/docrep/V5030E/V5030E0b.htm>, Temmuz 1, 2017.
 - [6] Demiray, E. (2009). Kurutma İşleminde Domatesin Likopen, B-Karoten, Askorbik Asit Ve Renk Değişim Kinetiğinin Belirlenmesi, Gıda Teknolojileri Elektronik Dergisi, 7:1-10.
 - [7] Seçmeler, Ö. (2003). Comparison Of Microwave Drying And Microwave Mixed-Bed Drying Of Red Peppers, Doktora tezi, ODTÜ, Ankara, Türkiye.
 - [8] Maskan, M. (2010). Drying, shrinkage and rehydration characteristics of kiwifruits during hot air and microwave drying. Elsevier, 48:177-182.
 - [9] Ansari, S., vd., (2014). Kinetic of Color and Texture Changes in Rehydrated Figs. Journal of Agricultural Sciences, 21:108-122.
 - [10] Bonazzi, C., & Dumoulin, E. (2011). Quality Changes in Food Materials as Influenced by Drying Process. Modern Drying Technology, 3:1-20.
 - [11] UNIDO. (2014). Classification Of Dryers. <http://www.unido.org/search.html?q=classification%20of%20dryers#gsc.tab=0&gsc.q=classification%20of%20dryers&gsc.page=1>, Temmuz 20, 2017.
 - [12] Türk Tesisat Mühendisleri Derneğı. (2016). Endüstriyel Kurutma Sistemleri. Türk Tesisat Mühendisleri Derneğı Dergisi(13), 1-11.
 - [13] Osepchuk, J. M. (1984). A History of Microwave Heating Applications. IEEE Transactions on Microwave Theory and Techniques, 32(9): 1200-1224.

- [14] Madhvi, A. S. vd., (2012). A brief review: Microwave assisted organic reaction. Scholars Research Library, 4(1): 645-661.
- [15] Bingöl, G. vd., (2010). Üzümlerin mikrodalga kurutma eğrilerinin ve sıcaklık değişiminin modellenmesi. İtü Dergisi, 9(4): 63-71.
- [16] İstanbul Sanayi Odası-İstanbul Teknik Üniversitesi. (2010). Gıda İşlemede Kurutma Teknolojilerinin Temel İlkeleri (1 b.), Mürettebat Reklamcılık, İstanbul.
- [17] Konak, Ü. İ. vd., (2009). Gıda Sanayisinde Mikrodalga Uygulamaları. Gıda Teknolojileri Elektronik Dergisi, 4(3):20-31.
- [18] Çelen, S. (2010). Mikrodalga Ve Vakum Kurutucuda Bazı Gıda Ürünlerinin Kurutulması Ve Modellenmesi, Doktora Tezi, Trakya Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Edirne.
- [19] Gölcü, M. ve Şen, F. (2014). Mikrodalga İle Islak Viyolün Kurutulabilirliğinin Deneysel Olarak İncelenmesi. Pamukkale Üniversitesi Mühendislik Bilimleri Dergisi, 20(4): 111-115.
- [20] Fu, B. A. vd., (2017). Investigation on the Microwave Drying Kinetics and Pumping Phenomenon of Lignite Spheres. Applied Thermal Engineering, 20:371-380.
- [21] Pu, H. vd.,(2016). Effect of Relative Humidity on Microwave Drying of Carrot. Journal of Food Engineering 20:, 167-175.
- [22] Karaaslan, S. vd., (2016). Microwave Drying of Quince Slices. SDÜ Ziraat Fakültesi Dergisi, 11(1):27-33.
- [23] Soysal, Y. (2004). Microwave Drying Characteristics of Parsley, Elsevier, 89 (2): 167–173.
- [24] Kılıç Apar, D. vd., (2009). Rehydration Kinetics of Microwave-Dried Okras as Affected by Drying Conditions. Journal of Food Processing and Preservation 33: 618-634.
- [25] Demirhan, E. ve Özbek, B. (2009). Color Change Kinetics of Microwave-Dried Basil. Drying Technologies, 27:156-166.
- [26] Shih-Hang, L. vd., (2015). A medicinal herb, *Melissa officinalis* L. ameliorates depressive-like behavior of rats in the forced swimming test via regulating the serotonergic neurotransmitter, Elsevier, 175:266-272.
- [27] Süfer, Ö. vd.,(2017). Convective and Microwave Drying of Mushrooms (*A.bisporus* and *P.ostreatus*). Indian Journal of Pharmaceutical Education and Research, 51(3): 136-139.
- [28] Cuervo-Andrade, S. P. (2011). Quality oriented drying of Lemon Balm (*Melissa Officinalis* L.). 498. Witzhausen: Forschungsbericht Agrartechnik.
- [29] Augusti Boligon, A. vd., (2013). Chemical composition, antioxidant and anticholinesterase activity of *Melissa Officinalis*, Elsevier, 53:34-45.
- [30] Mimica-Dukic, N. vd., (2004). Antimicrobial and Antioxidant Activities of *Melissa officinalis* L. (Lamiaceae) Essential Oil. Novi Sad: Journal of Agriculture and Food Chemistry, 52:2485-2489.

- [31] Mahdhaoui, B. vd., (2014). Microwave Drying Kinetics Of Olive Fruit (*Olea europaea* L.). *International Food Research Journal*, 21(1): 67-72.
- [32] Wang, J. ve Sheng, K.,(2006). Far-Infrared And Microwave Drying Of Peach. *Food Science and Technology*, 39(3): 247-255.
- [33] Harnkamsujarit, M. vd., (2016). Effects of freezing on microstructure and rehydration properties of freeze-dried soybean curd. *Journal of Food Engineering*, 184: 10-20.
- [34] Konica Minolta. (2000). Konica Minolta, <http://www2.konicaminolta.eu/eu/Measuring/pcc/en/part4/05.html>, Eylül 12, 2017.
- [35] Zielinska, M. ve Markowski, M. (2016). The influence of microwave-assisted drying techniques on the rehydration behavior of blueberries (*Vaccinium corymbosum* L.). *Food Chemistry*, 196: 1188-1196.
- [36] Dadalı, G. vd., (2007). Color Change Kinetics of Okra Undergoing Microwave Drying. *Drying Technology*, 25(5): 925-936.
- [37] Ruiz Diaz, G. vd., (2003). Modelling of dehydration-rehydration of orange slices in combined microwave and air drying. *Innovative Food Science and Emerging Technologies*, 4: 203-209.
- [38] Argyropoulos, D. ve Müller, J. (2011). Effect Of Convective Drying On Quality Of Lemon Balm (*Melissa officinalis* L.). *Procedia Food Science*, 1: 1932-1939.

**MELISSA OFFICINALIS L. YAPRAKLARININ KURUTULMASI SIRASINDA
MİKRODALGA ÇIKIŞ GÜCÜ VE NUMUNE MİKTARININ NEM ORANINA
OLAN ETKİSİNE AİT DENEYSEL VERİLER**

Çizelge A.1 180 W çıkış gücünde 2.5 g melisanın kurutulmasına ait deney verileri

Zaman (dk)	Numune Miktarı (g)	Nem kütlesi (g su)	MR
0.0	2.48	2.05	1.00
1.0	1.35	0.92	0.45
2.0	0.9	0.47	0.23
3.0	0.64	0.21	0.10
4.0	0.53	0.1	0.05
6.0	0.48	0.05	0.02

Çizelge A.2 360 W çıkış gücünde 2.5 g melisanın kurutulmasına ait deney verileri

Zaman (dk)	Numune Miktarı (g)	Nem kütlesi (g su)	MR
0.0	2.5	2.06	1.00
1.0	1.18	0.74	0.36
2.0	0.7	0.26	0.13
3.0	0.5	0.06	0.03
3.5	0.49	0.05	0.02

Çizelge A.3 540 W çıkış gücünde 2.5 g melisanın kurutulmasına ait deney verileri

Zaman (dk)	Numune Miktarı (g)	Nem kütlesi (g su)	MR
0.0	2.5	2.05	1.00
0.5	1.3	0.86	0.42
1.0	0.78	0.34	0.17
1.5	0.58	0.14	0.07
2.0	0.51	0.07	0.03
2.5	0.49	0.05	0.02

Çizelge A.4 720 W çıkış gücünde 2.5 g melisanın kurutulmasına ait deney verileri

Zaman (dk)	Numune Miktarı (g)	Nem kütlesi (g su)	MR
0.0	2.51	2.06	1.00
0.3	1.42	0.97	0.47
0.6	0.98	0.53	0.26
1.0	0.69	0.24	0.12
1.3	0.57	0.12	0.06
1.6	0.53	0.08	0.04
2.0	0.51	0.06	0.03
2.4	0.5	0.05	0.02

Çizelge A.5 900 W çıkış gücünde 2.5 g melisanın kurutulmasına ait deney verileri

Zaman (sn)	Numune Miktarı (g)	Nem kütlesi (g su)	MR
0.0	2.51	2.06	1.00
0.2	1.89	1.44	0.70
0.3	1.55	1.1	0.53
0.5	1.11	0.66	0.32
0.7	0.85	0.4	0.19
0.8	0.68	0.23	0.11
1.0	0.57	0.12	0.06
1.2	0.53	0.08	0.04
1.5	0.5	0.05	0.02

Çizelge A.6 360 W çıkış gücünde 5 g melisanın kurutulmasına ait deney verileri

Zaman (dk)	Numune Miktarı (g)	Nem kütlesi (g su)	MR
0.0	4.99	4.12	1.00
0.5	3.85	2.98	0.72
1.0	2.77	1.9	0.46
1.5	1.9	1.03	0.25
2.0	1.39	0.52	0.13
3.0	1.03	0.16	0.04
3.5	0.96	0.09	0.02

Çizelge A.7 360 W çıkış gücünde 7.5 g melisanın kurutulmasına ait deney verileri

Zaman (dk)	Numune Miktarı (g)	Nem kütlesi (g su)	MR
0.0	7.5	6.20	1.00
0.5	6.55	5.25	0.85
1.0	5.07	3.77	0.61
1.5	3.66	2.36	0.38
2.0	2.63	1.33	0.21
3.0	1.8	0.5	0.08
3.5	1.6	0.3	0.05
4.5	1.45	0.15	0.02

Çizelge A.8 360 W çıkış gücünde 12.5 g melisanın kurutulmasına ait deney verileri

Zaman (dk)	Numune Miktarı (g)	Nem kütlesi (g su)	MR
0.0	12.48	10.32	1.00
0.5	11.47	9.31	0.90
1.0	9.52	7.36	0.71
1.5	7.46	5.3	0.51
2.0	5.7	3.54	0.34
3.0	3.55	1.39	0.13
3.5	3.01	0.85	0.08
4.5	2.53	0.37	0.04
5.5	2.4	0.24	0.02

**MELISSA OFFICINALIS L. YAPRAKLARININ KURUTULMASI SIRASINDA
MİKRODALGA ÇIKIŞ GÜCÜ VE NUMUNE MİKTARININ KURUMA HIZINA
OLAN ETKİSİNE AİT VERİLER**

Çizelge B.1: 180 W çıkış gücünde kuruma hızı

Zaman (dk)	DR
1.0	1.13
2.0	0.45
3.0	0.26
4.0	0.11
6.0	0.03

Çizelge B.2: 360 W çıkış gücünde kuruma hızı

Zaman (dk)	DR
1.0	1.30
2.0	0.48
3.0	0.20
3.5	0.02

Çizelge B.3: 540 W çıkış gücünde kuruma hızı

Zaman (dk)	DR
0.5	2.36
1.0	1.04
1.5	0.40
2.0	0.14
2.5	0.04

Çizelge B.4: 720 W çıkış gücünde kuruma hızı

Zaman (dk)	DR
0.3	3.63
0.6	1.47
1.0	0.73
1.3	0.40
1.6	0.13
2.0	0.05
2.4	0.03

Çizelge B.5: 900 W çıkış gücünde kuruma hızı

Zaman (sn)	DR
0.2	3.72
0.3	2.04
0.5	2.64
0.7	1.56
0.8	1.02
1.0	0.66
1.2	0.24
1.5	0.09

Çizelge B.6: 360 W çıkış gücünde 5 g numunenin kuruma hızı

Zaman (dk)	DR
0.5	2.28
1.0	2.16
1.5	1.74
2.0	1.02
3.0	0.36
3.5	0.14

Çizelge B.7: 360 W çıkış gücünde 7,5 g numunenin kuruma hızı

Zaman (dk)	DR
0.5	1.90
1.0	2.96
1.5	2.82
2.0	2.06
3.0	0.83
3.5	0.40
4.5	0.15

Çizelge B.8: 360 W çıkış gücünde 12,5 g numunenin kuruma hızı

Zaman (dk)	DR
0.5	2.06
1.0	3.90
1.5	4.12
2.0	3.52
3.0	2.15
3.5	1.08
4.5	0.48
5.5	0.13

**MELISSA OFFICINALIS L. YAPRAKLARININ KURUTULMASI SIRASINDA
MİKRODALGA ÇIKIŞ GÜCÜ VE NUMUNE MİKTARININ ETKİN DİFÜZİVİTE
KATSAYISINA ETKİSİNE AİT VERİLER**

Çizelge C.1: 180 W çıkış gücü için hesaplanan $\ln(MR)$ ve model değerleri

Zaman (dk)	$\ln(MR)$	$\ln(MR)_{model}$
0.0	0.00	0.00
1.0	-0.80	-0.68
2.0	-1.47	-1.36
3.0	-2.28	-2.04
4.0	-3.02	-2.72
6.0	-3.71	-4.08

Çizelge C.2: 360 W çıkış gücü için hesaplanan $\ln(MR)$ ve model değerleri

Zaman (dk)	$\ln(MR)$	$\ln(MR)_{model}$
0.0	0.00	0.00
1.0	-1.02	-1.10
2.0	-2.07	-2.19
3.0	-3.54	-3.29
3.5	-3.72	-3.84

Çizelge C.3: 540 W çıkış gücü için hesaplanan $\ln(MR)$ ve model değerleri

Zaman (dk)	$\ln(MR)$	$\ln(MR)_{model}$
0.0	0.00	0.00
0.5	-0.87	-0.81
1.0	-1.80	-1.62
1.5	-2.68	-2.43
2.0	-3.38	-3.24
2.5	-3.71	-4.05

Çizelge C.4: 720 W çıkış gücü için hesaplanan $\ln(MR)$ ve model değerleri

Zaman (dk)	$\ln(MR)$	$\ln(MR)_{model}$
0.0	0.00	0.00
0.3	-0.75	-0.55
0.6	-1.36	-1.09
1.0	-2.15	-1.82
1.3	-2.84	-2.36
1.6	-3.25	-2.91
2.0	-3.54	-3.63
2.4	-3.72	-4.36

Çizelge C.5: 900 W çıkış gücü için hesaplanan $\ln(MR)$ ve model değerleri

Zaman (dk)	$\ln(MR)$	$\ln(MR)_{model}$
0.0	0.00	0.00
0.2	-0.36	-0.43
0.3	-0.63	-0.86
0.5	-1.14	-1.29
0.7	-1.64	-1.73
0.8	-2.19	-2.16
1.0	-2.84	-2.59
1.2	-3.25	-3.02
1.5	-3.72	-3.88

Çizelge C.6: 360 W çıkış gücü ve 5 g numune için hesaplanan $\ln(MR)$ ve model değerleri

Zaman (dk)	$\ln(MR)$	$\ln(MR)_{model}$
0.0	0.00	0.00
0.5	-0.32	-0.53
1.0	-0.77	-1.05
1.5	-1.39	-1.58
2.0	-2.07	-2.11
3.0	-3.25	-3.16
3.5	-3.82	-3.69

Çizelge C.7: 360 W çıkış gücü ve 7,5 g numune için hesaplanan $\ln(MR)$ ve model değerleri

Zaman (dk)	$\ln(MR)$	$\ln(MR)_{model}$
0.0	0.00	0.00
0.5	-0.17	-0.41
1.0	-0.50	-0.82
1.5	-0.97	-1.23
2.0	-1.54	-1.63
3.0	-2.52	-2.45
3.5	-3.03	-2.86
4.5	-3.72	-3.68

Çizelge C.8: 360 W çıkış gücü ve 12,5 g numune için hesaplanan $\ln(MR)$ ve model değerleri

Zaman (dk)	$\ln(MR)$	$\ln(MR)_{model}$
0.0	0.00	0.00
0.5	-0.10	-0.34
1.0	-0.34	-0.68
1.5	-0.67	-1.02
2.0	-1.07	-1.36
3.0	-2.00	-2.04
3.5	-2.50	-2.38
4.5	-3.33	-3.06
5.5	-3.76	-3.74

**MELISSA OFFICINALIS L. YAPRAKLARININ KURUTULMASI SIRASINDA
MİKRODALGA ÇIKIŞ GÜCÜ VE NUMUNE MİKTARININ RENK DEĞİŞİMİNE
ETKİSİNE AİT VERİLER**

Çizelge D.1: 180 W çıkış gücü için ölçülen renk değerleri

t	L	a	b
0	37.66	-13.67	18.36
1	37.04	-12.42	17.88
2	36.79	-11.58	17.66
3	36.41	-11.09	17.33
4	35.79	-10.71	16.86
6	34.91	-10.44	16.14
8	34.05	-10.05	15.82
12	33.14	-9.18	15.12

Çizelge D.2: 360 W çıkış gücü için ölçülen renk değerleri

t	L	a	b
0	37.6	-13.31	17.17
1	36.43	-12.32	16.64
2	35.07	-11.25	16.11
3	34.36	-10.04	15.72
3.5	33.15	-9.38	15.24
4.5	32.72	-8.58	14.69

Çizelge D.3: 540 W çıkış gücü için ölçülen renk değerleri

t	L	a	b
0	37.17	-12.67	17.74
0.5	35.49	-11.71	16.65
1	33.75	-10.36	15.48
1.5	32.49	-9.32	14.57
2	31.96	-8.21	14.15

Çizelge D.4: 720 W çıkış gücü için ölçülen renk değerleri

t	L	a	b
0	35.87	-13.2	17.99
0.3	34.56	-11.98	16.35
0.6	33.21	-10.81	15.68
1	31.91	-10.17	15.11
1.3	30.62	-9.27	14.61
1.6	29.87	-8.81	14.56
2	29.15	-8.01	14.02

Çizelge D.5: 900 W çıkış gücü için ölçülen renk değerleri

t	L	a	b
0	36.05	-13.31	18.32
0.167	35.39	-11.46	16.70
0.33	34.67	-10.83	15.72
0.5	33.41	-10.38	14.97
0.67	33.1	-10.01	14.14
0.83	32.58	-9.71	13.57
1	31.03	-9.13	12.96
1.17	30.78	-8.94	12.72
1.5	29.79	-7.69	11.82
1.83	28.46	-7.54	11.44

Çizelge D.6: 360 W çıkış gücü ve 5 g numune miktarı için ölçülen renk değerleri

t	L	a	b
0	37.3998	-13.55	16.73
1	36.73	-12.38	16.25
2	35.69	-11.38	15.45
3	35.07	-10.98	14.81
4	34.23	-10.28	14.35
4.5	33.41	-9.76	13.83

Çizelge D.7: 360 W çıkış gücü ve 7.5 g numune miktarı için ölçülen renk değerleri

t	L	a	b
0	37.76	-13.37	16.99
1	36.98	-12.45	16.34
2	36.26	-11.88	15.85
3	35.77	-11.34	15.69
4.5	34.84	-10.69	15.05
5.5	34.48	-10.38	14.85

Çizelge D.8: 360 W çıkış gücü ve 12.5 g numune miktarı için ölçülen renk değerleri

t	L	a	b
0	37.94	-13.15	17.05
1	37.32	-12.75	16.76
2.5	36.66	-12.17	16.40
4.5	36.08	-11.84	16.09
5.5	35.5	-11.42	15.90
6.5	34.89	-11.06	15.56

**MELISSA OFFICINALIS L. YAPRAKLARININ KURUTULMASI SIRASINDA
MİKRODALGA ÇIKIŞ GÜCÜ VE NUMUNE MİKTARININ RENK DEĞİŞİMİNE
ETKİSİNE AİT VERİLER**

Çizelge E.1: 180 W çıkış gücünde elde edilen deney verileri

t	ΔE	HA	Chroma	BI
0	0.000	126.67	22.89014	30.5893
1	1.476	125.185	21.77041	31.4274
2	2.370	124.554	21.11805	31.7923
3	3.046	124.016	20.57467	32.2788
4	3.809	123.725	19.97408	32.5671
6	4.788	122.896	19.22221	33.0364
8	5.709	122.427	18.74233	33.7792
12	7.248	120.264	17.68861	34.6011

Çizelge E.2: 360 W çıkış gücünde elde edilen deney verileri

t	ΔE	HA	Chroma	BI
0	0.00	127.7825	21.72476	29.3687
1	1.62	126.5157	20.70440	30.90957
2	3.43	124.9275	19.64929	31.99366
3	4.83	122.5654	18.65261	32.38945
3.5	6.24	121.6117	17.89531	33.61784
4.5	7.46	120.288	17.01213	34.88159

Çizelge E.3: 540 W çıkış gücünde elde edilen deney verileri

t	ΔE	HA	Chroma	BI
0	0.00	125.5346	21.79992	30.02164
0.5	2.21	125.1188	20.35551	31.72361
1	4.70	123.7924	18.62686	32.48977
1.5	6.56	122.6059	17.29588	33.41646
2	7.73	120.1228	16.3593	35.26718

Çizelge E.4: 720 W çıkış gücünde elde edilen deney verileri

t	ΔE	HA	Chroma	BI
0	0.00	126.269	22.31323	30.48892
0.3	2.43	126.231	20.26926	31.76783
0.6	4.26	124.5829	19.04517	32.64705
1	5.76	123.9431	18.21376	33.52525
1.3	7.38	122.395	17.30275	34.65031
1.6	8.19	121.1774	16.17064	35.55492
2	9.37	119.8831	15.28661	36.24883

Çizelge E.5: 900 W çıkış gücünde elde edilen deney verileri

t	ΔE	HA	Chroma	BI
0	0.00	126.999	22.64461	30.52255
0.167	2.55	125.859	20.25393	31.76468
0.33	3.85	124.964	19.08946	32.82505
0.5	5.17	124.637	18.21662	33.12212
0.67	6.09	124.295	17.32454	33.59367
0.83	6.90	123.586	16.68619	34.34883
1	8.45	123.164	15.85303	35.8778
1.17	8.84	122.292	15.54741	36.55121
1.5	10.63	121.419	14.10137	37.00143
1.83	11.76	119.643	13.70128	37.36911

Çizelge E.6: 360 W çıkış gücü ve 5 g numune miktarı için ölçülen renk değerleri

t	ΔE	HA	Chroma	BI
0	0.00	129.005	21.52894	21.44532
1	1.43	128.302	20.42858	22.8383
2	3.04	127.374	19.18872	23.5091
3	3.96	126.553	18.43628	24.6694
4	5.14	125.617	17.65222	26.51249
4.5	6.22	125.211	16.92709	27.28423

Çizelge E.7: 360 W çıkış gücü ve 7.5 g numune miktarı için ölçülen renk değerleri

t	ΔE	HA	Chroma	BI
0	0.00	129.2	21.61983	21.68505
1	1.37	128.305	20.54259	22.0243
2	2.40	127.453	19.808	22.7756
3	3.13	126.858	19.35902	23.8355
4.5	4.41	125.944	18.46019	25.6716
5.5	4.93	125.631	18.11814	26.72481

Çizelge E.8: 360 W çıkış gücü ve 12.5 g numune miktarı için ölçülen renk değerleri

t	ΔE	HA	Chroma	BI
0	0.00	129.642	21.53195	21.22458
1	0.79	128.262	21.05849	22.0176
2.5	1.74	127.878	20.42226	22.5525
4.5	2.47	127.048	19.97683	23.5967
5.5	3.20	126.481	19.57617	24.0587
6.5	3.99	125.793	19.09024	25.40355

**KURUTULMUŞ MELISSA OFFICINALIS L. YAPRAKLARININ
REHİDRATASYONU SIRASINDA FARKLI MİKRODALGA ÇIKIŞ GÜCÜ VE
NUMUNE MİKTARLARINDA GÖZLENEN NEM İÇERİĞİ DEĞİŞİMİ
MİKTARLARI VE MODEL DEĞERLERİ**

Çizelge F.1: 180 W çıkış gücünde kurutulmuş melisa yapraklarının rehidratasyon sırasında nem içeriği değişimi ve model değerleri

t (sn)	Nem içeriği	Model değerleri
0	0.10	0.10
30	0.71	0.21
120	1.22	0.50
300	1.83	1.03
600	2.44	1.71
1200	2.80	2.34
2400	3.11	2.91
3600	3.28	3.18
4800	3.34	3.29

Çizelge F.2: 360 W çıkış gücünde kurutulmuş melisa yapraklarının rehidratasyon sırasında nem içeriği değişimi ve model değerleri

t (sn)	Nem içeriği	Model değerleri
0	0.10	0.10
30	0.85	0.23
120	1.28	0.52
300	1.97	1.10
600	2.58	1.81
1200	3.00	2.52
2400	3.22	3.01
3600	3.33	3.23
4800	3.40	3.35

Çizelge F.3: 540 W çıkış gücünde kurutulmuş melisa yapraklarının rehidratasyon sırasında nem içeriği değişimi ve model değerleri

t (sn)	Nem içeriği	Model değerleri
0	0.10	0.10
30	0.98	0.28
120	1.36	0.61
300	2.17	1.34
600	2.79	2.12
1200	3.17	2.80
2400	3.35	3.22
3600	3.43	3.38
4200	3.45	3.42
4800	3.49	3.46

Çizelge F.4: 720 W çıkış gücünde kurutulmuş melisa yapraklarının rehidratasyon sırasında nem içeriği değişimi ve model değerleri

t (sn)	Nem içeriği	Model değerleri
0	0.10	0.10
30	1.01	0.31
120	1.45	0.69
300	2.28	1.45
600	2.96	2.28
1200	3.20	2.83
2400	3.41	3.27
3600	3.69	3.62
4200	3.71	3.67
4800	3.71	3.68

Çizelge F.5: 900 W çıkış gücünde kurutulmuş melisa yapraklarının rehidratasyon sırasında nem içeriği değişimi ve model değerleri

t (sn)	Nem içeriği	Model değerleri
0	0.10	0.10
30	1.11	0.35
120	1.63	0.82
300	2.50	1.69
600	3.25	2.64
1200	3.40	3.12
2400	3.44	3.36
3600	3.72	3.68
4200	3.84	3.82
4800	3.83	3.82

Çizelge F.6: Kurutulmuş melisa yapraklarının 30 °C rehidratasyon sıcaklığı sırasında nem içeriği değişimi ve model değerleri

30°C	Nem içeriği	Model değerleri
0	0.10	0.10
30	0.85	0.23
120	1.28	0.52
300	1.97	1.10
600	2.58	1.81
1200	3.00	2.51
2400	3.22	3.01
3600	3.33	3.22
4800	3.40	3.35

Çizelge F.7: Kurutulmuş melisa yapraklarının 45 °C rehidratasyon sıcaklığı sırasında nem içeriği değişimi ve model değerleri

45°C	Nem içeriği	Model değerleri
0	0.10	0.10
30	0.87	0.27
90	1.38	0.57
300	2.19	1.32
600	2.62	1.92
1200	3.06	2.60
2400	3.36	3.14
3600	3.51	3.39
4800	3.55	3.48

Çizelge F.8: Kurutulmuş melisa yapraklarının 55 °C rehidratasyon sıcaklığı sırasında nem içeriği değişimi ve model değerleri

55°C	nem içeriği	model değerleri
0	0.10	0.10
30	0.98	0.32
90	1.53	0.69
300	2.29	1.54
600	2.89	2.32
1200	3.31	3.00
2400	3.56	3.45
3600	3.58	3.53
4800	3.62	3.60

Çizelge F.9: Kurutulmuş melisa yapraklarının 70 °C rehidratasyon sıcaklığı sırasında nem içeriği değişimi ve model değerleri

70°C	nem içeriği	model değerleri
0	0.10	0.10
30	1.29	0.48
90	2.09	1.09
300	2.83	2.07
600	3.37	2.85
1200	3.68	3.42
2400	3.83	3.74
3600	3.93	3.89
4800	3.96	3.94

ÖZGEÇMİŞ

KİŞİSEL BİLGİLER

Adı Soyadı :Ahmet Ergun DOĞAN
Doğum Tarihi ve Yeri :16/04/1992 Balıkesir
Yabancı Dili :İngilizce/İspanyolca
E-posta :ahmetdogan92@gmail.com

ÖĞRENİM DURUMU

Derece	Alan	Okul/Üniversite	Mezuniyet Yılı
Lisans	Kimya Mühendisliği	Yıldız Teknik Üniversitesi	2014
Lise	Sayısal	Sırrı Yırcalı And. Lis.	2010

İŞ TECRÜBESİ

Yıl	Firma/Kurum	Görevi
2016-Devam ediyor	Varaka Kağıt Sanayi A.Ş	Kimya Mühendisi

YAYINLARI

Bildiri

1. Doğan, A.E. (2017), Effects Of Microwave Output Power And Sample Amount On Drying Kinetics Of Melissa Officinalis, ICAFOF, Mayıs 2017, Nevşehir

