

**T.C.
İNÖNÜ ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

**YABAN MERSİNİ MEYVESİNİN KÜTLE TRANSFER KATSAYILARI VE BAZI
KALİTE PARAMETRELERİNİN BELİRLENMESİ**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

**Veciha ÜNAL
(36203615013)**

Kimya Mühendisliği Anabilim Dalı

Tez Danışmanı: Prof. Dr. Ayşe SARIMEŞELİ PAÇACI

ŞUBAT 2024

TEŞEKKÜR VE ÖNSÖZ

Tez çalışmalarımda benden hiçbir yardımını esirgemeyen, danışmanım Sayın Prof.Dr. Ayşe SARIMEŞELİ PAÇACI'ya teşekkür ederim.

Çalışma süresince bilgi ve tecrübesiyle yardımcı olan Hüseyin KARAKURT'a müteşekkirim.

Eğitim hayatım boyunca benden yardımlarını esirgemeyen aileme teşekkür ederim.

ONUR SÖZÜ

Yüksek lisans tezi olarak sunduğum “Yaban Mersini Meyvesinin Kurutulmasında Kütle Transfer Katsayıları ve Bazı Kalite Parametrelerinin Belirlenmesi” başlıklı bu çalışmanın bilimsel ahlak ve geleneklere aykırı düşecek bir yardıma başvurmaksızın tarafımdan yazıldığına ve yararlandığım bütün kaynakların hem metin içinde hem de kaynakçada yöntemine uygun biçimde gösterilenlerden oluştuğunu belirtir, bunu onurumla doğrularım.

Veciha Ünal

İÇİNDEKİLER

TEŞEKKÜR VE ÖNSÖZ.....	i
ONUR SÖZÜ	ii
İÇİNDEKİLER.....	iii
ÇİZELGE LİSTESİ	v
ŞEKİL LİSTESİ	viii
SEMBOLLER VE KISALTMALAR	x
ÖZET	xi
ABSTRACT	xii
1. GİRİŞ.....	1
2. KURAMSAL TEMELLER	2
2.1 Gıdaların Kurutularak Muhafazasının Tarihçesi	2
2.2 Kurutma Metodları	2
2.2.1 Doğal Kurutma Metodu.....	3
2.2.2 Yapay Kurutma Metodu	3
2.3 Kurutmanın İlkeleri	3
2.4 Kuruma Süresinin Belirlenmesinde Kullanılan Yöntemler	4
2.4.1 Davranış Testi.....	4
2.4.2 Yapay Madde Testi.....	4
2.4.3 Teorik Tahmin	4
2.5 Kurutma Prosesinin Aşamaları	4
2.5.1 Sabit kurutma hızı periyodu	6
2.5.2 Azalan kurutma hızı periyodu	6
2.6 Kurutma Hızını Etkileyen Etkenler	6
2.6.1 Nem	6
2.6.2 Sıcaklık	6
2.6.3 Madde Boyutu	7
2.6.4 Ürüne Özgü Özellikler	7
2.7 Gıdaların Kurutma Prosesinde Görülen Fiziksel ve Kimyasal Değişimler	7
2.8 Kurutma Sistemleri	7
2.8.1 Sıcak Havalı (konveksiyon) kurutucular	8
2.8.1.1 Fırın tipi kurutucular.....	8
2.8.1.2 Kabin tipi kurutucular.....	8
2.8.1.3 Tünel tipi kurutucular	8
2.8.1.4 Bant tipi kurutucular.....	9
2.8.1.5 Akışkan yatak tipi kurutucu.....	9
2.8.1.6 Sandık tipi kurutucular	10
2.8.1.7 Püskürtme tipi kurutucular	10
2.8.2 Vals tipi kurutucular	11
2.8.3 Vakum kurutucular	11
2.8.4 Dondurucu kurutucular.....	11
2.8.5 Mikrodalga tipi kurutucular.....	12
2.8.6 Morötesi radyasyon metodu ile kurutma	12

2.8.7 İletim metodu ile kurutma	12
2.8.8 İnfrared (kızılötesi) metodu ile kurutma.....	13
2.8.8.1 İnfraredin tarihçesi.....	13
2.8.8.2 İnfrared hakkında genel bilgiler	13
2.8.8.3 İnfrared yönteminde kurutma mekanizması	13
2.8.9 Ultrasonik yöntem ile kurutma	13
2.8.10 Hibrit sistemler ile kurutma.....	14
2.9 Ürünlerin Kurutulmasında Meydana Gelen Fiziksel ve Kimyasal Değişimler	14
3. YABAN MERSİNİ HAKKINDA GENEL BİLGİ	16
4. LİTERATÜR ÖZETİ.....	17
5. MALZEME VE YÖNTEM	20
5.1 Araştırmada Kullanılan Materyaller	20
5.2 Kullanılan cihazlar	20
5.2.1 İnfrared Kurutucu	20
5.2.2 Renk ölçüm cihazı	21
5.2.3 Su banyosu.....	22
5.3 Deney Yöntemi	22
5.3.1 Numunenin hazırlanması	22
5.3.2 Numunenin başlangıç nem içeriğinin tespit edilmesi.....	23
5.3.3 Numunenin kuruma zamanı ve hızının tespit edilmesi	23
5.4 Deneysel Veriler	24
5.4.1 Nem içeriğinin hesaplanması	24
5.4.2 Kuruma hızının hesaplanması	24
5.4.3 Nem oranlarının hesaplanması	24
5.4.4 Rehidrasyon kapasitesinin hesaplanması	25
5.5 Teorik hesaplamalar.....	25
5.5.1 Kinetik modeller.....	26
5.5.1.1 Regresyon analizleri	29
6. ARAŞTIRMA BULGULARI VE TARTIŞMA	30
6.1 Kuruma zamanı.....	30
6.2 Kuruma Hızındaki Değişimler.....	33
6.3 Teorik Hesaplamalar.....	35
6.3.1 Difüzyon Teorisi.....	35
6.3.1.1 Efektif Difüzyon Katsayıları	36
6.3.1.2 Kinetik modeller	42
6.4 İnfrared Kurutma Güçlerinde Yaban Mersini Meyvesinin Renk Analizine Etkisi ...	52
6.5 İnfrared Kurutma Gücünün Yaban Mersini Meyvesinin Rehidrasyon Kapasitesine Etkisi	54
7. SONUÇ VE ÖNERİLER	55
KAYNAKLAR.....	57
EKLER	61
ÖZGEÇMİŞ	86

ÇİZELGE LİSTESİ

Çizelge 6.1: 25 g yaban mersini numunelerinin farklı infrared kurutma güçlerinde hesaplanan D_{eff} değeri.....	40
Çizelge 6.2: 50 g yaban mersini numunelerinin farklı infrared kurutma güçlerinde hesaplanan D_{eff} değeri.....	41
Çizelge 6.3: 75 g yaban mersini numunelerinin farklı infrared kurutma güçlerinde hesaplanan D_{eff} değerleri	41
Çizelge 6.4: 100 g yaban mersini numunelerinin farklı infrared kurutma güçlerinde hesaplanan D_{eff} değerleri	41
Çizelge 6.5: 125 g yaban mersini numunelerinin farklı infrared kurutma güçlerinde hesaplanan D_{eff} değerleri	41
Çizelge 6.6: 25 g için farklı infrared kurutma güçlerinde kuruma hızının hesaplanmasında deneysel verilerin Page modeli ile kıyaslaması ve istatistiksel analiz.....	42
Çizelge 6.7: 50 g için farklı infrared kurutma güçlerinde kuruma hızının hesaplanmasında deneysel verilerin Page modeli ile kıyaslaması ve istatistiksel analiz ...	42
Çizelge 6.8: 75 g için farklı infrared kurutma güçlerinde kuruma hızının hesaplanmasında deneysel verilerin Page modeli ile kıyaslaması ve istatistiksel analiz ...	43
Çizelge 6.9: 100 g için farklı infrared kurutma güçlerinde kuruma hızının hesaplanmasında deneysel verilerin Page modeli ile kıyaslaması ve istatistiksel analiz ...	43
Çizelge 6.10: 125 g için farklı infrared kurutma güçlerinde kuruma hızının hesaplanmasında deneysel verilerin Page modeli ile kıyaslaması ve istatistiksel analiz ...	43
Çizelge 6.11: 25 g için farklı infrared kurutma güçlerinde kuruma hızının hesaplanmasında deneysel verilerin Verma modeli ile kıyaslaması ve istatistiksel analiz	43
Çizelge 6.12: 50 g için farklı infrared kurutma güçlerinde kuruma hızının hesaplanmasında deneysel verilerin Verma modeli ile kıyaslaması ve istatistiksel analiz	44
Çizelge 6.13: 75 g için farklı infrared kurutma güçlerinde kuruma hızının hesaplanmasında deneysel verilerin Verma modeli ile kıyaslaması ve istatistiksel analiz	44
Çizelge 6.14: 100 g için farklı infrared kurutma güçlerinde kuruma hızının hesaplanmasında deneysel verilerin Verma modeli ile kıyaslaması ve istatistiksel analiz	44
Çizelge 6.15: 125 g için farklı infrared kurutma güçlerinde kuruma hızının hesaplanmasında deneysel verilerin Verma modeli ile kıyaslaması ve istatistiksel analiz	44
Çizelge 6.16: 25 g için farklı infrared kurutma güçlerinde kuruma hızının hesaplanmasında deneysel verilerin Henderson-Pabis modeli ile kıyaslaması ve istatistiksel analiz	45
Çizelge 6.17: 50 g için farklı infrared kurutma güçlerinde kuruma hızının hesaplanmasında deneysel verilerin Henderson-Pabis modeli ile kıyaslaması ve istatistiksel analiz	45
Çizelge 6.18: 75 g için farklı infrared kurutma güçlerinde kuruma hızının hesaplanmasında deneysel verilerin Henderson-Pabis modeli ile kıyaslaması ve istatistiksel analiz	45
Çizelge 6.19: 100 g için farklı infrared kurutma güçlerinde kuruma hızının hesaplanmasında deneysel verilerin Henderson-Pabis modeli ile kıyaslaması ve istatistiksel analiz.....	45
Çizelge 6.20: 125 g için farklı infrared kurutma güçlerinde kuruma hızının hesaplanmasında deneysel verilerin Henderson-Pabis modeli ile kıyaslaması ve istatistiksel analiz	46

Çizelge 6.21: 25 g farklı infrared kurutma güçlerinde kuruma hızının hesaplanmasında deneysel verilerin Midilli ve ark modeli ile kıyaslaması ve istatistiksel analiz	46
Çizelge 6.22: 50 g için farklı infrared kurutma güçlerinde kuruma hızının hesaplanmasında deneysel verilerin Midilli ve ark modeli ile kıyaslaması ve istatistiksel analiz	46
Çizelge 6.23: 75 g farklı infrared kurutma güçlerinde kuruma hızının hesaplanmasında deneysel verilerin Midilli ve ark modeli ile kıyaslaması ve istatistiksel analiz	46
Çizelge 6.24: 100 g için farklı infrared kurutma güçlerinde kuruma hızının hesaplanmasında deneysel verilerin Midilli ve ark modeli ile kıyaslaması ve istatistiksel analiz.....	47
Çizelge 6.26: 25 g için farklı infrared kurutma güçlerinde kuruma hızının hesaplanmasında deneysel verilerin Logaritmik model ile kıyaslaması ve istatistiksel analiz	47
Çizelge 6.27: 50 g için farklı infrared kurutma güçlerinde kuruma hızının hesaplanmasında deneysel verilerin Logaritmik model ile kıyaslaması ve istatistiksel analiz	47
Çizelge 6.28: 75 g için 50 g için farklı infrared kurutma güçlerinde kuruma hızının hesaplanmasında deneysel verilerin Logaritmik model ile kıyaslaması ve istatistiksel analiz.....	48
Çizelge 6.29: 100 g için 50 g için farklı infrared kurutma güçlerinde kuruma hızının hesaplanmasında deneysel verilerin Logaritmik model ile kıyaslaması ve istatistiksel analiz.....	48
Çizelge 6.30: 125 g için 50 g için farklı infrared kurutma güçlerinde kuruma hızının hesaplanmasında deneysel verilerin Logaritmik model ile kıyaslaması ve istatistiksel analiz.....	48
Çizelge 6.31: 25 g için farklı infrared kurutma güçlerinde kuruma hızının hesaplanmasında deneysel verilerin Wang Sing modeli ile kıyaslaması ve istatistiksel analiz	48
Çizelge 6.32: 50 g için farklı infrared kurutma güçlerinde kuruma hızının hesaplanmasında deneysel verilerin Wang Sing modeli ile kıyaslaması ve istatistiksel analiz	49
Çizelge 6.33: 75 g için farklı infrared kurutma güçlerinde kuruma hızının hesaplanmasında deneysel verilerin Wang Sing modeli ile kıyaslaması ve istatistiksel analiz	49
Çizelge 6.34: 100 g için farklı infrared kurutma güçlerinde kuruma hızının hesaplanmasında deneysel verilerin Wang Sing modeli ile kıyaslaması ve istatistiksel analiz.....	49
Çizelge 6.35: 125 g için farklı infrared kurutma güçlerinde kuruma hızının hesaplanmasında deneysel verilerin Wang Sing modeli ile kıyaslaması ve istatistiksel analiz.....	49
Çizelge 6.36: 25 g için farklı infrared kurutma güçlerinde kuruma hızının hesaplanmasında deneysel verilerin Newton modeli ile kıyaslaması ve istatistiksel analiz.....	50
Çizelge 6.37: 50 g için farklı infrared kurutma güçlerinde kuruma hızının hesaplanmasında deneysel verilerin Newton modeli ile kıyaslaması ve istatistiksel analiz.....	50
Çizelge 6.38: 75 g için farklı infrared kurutma güçlerinde kuruma hızının hesaplanmasında deneysel verilerin Newton modeli ile kıyaslaması ve istatistiksel analiz.....	50
Çizelge 6.39: 100 g için farklı infrared kurutma güçlerinde kuruma hızının hesaplanmasında deneysel verilerin Newton modeli ile kıyaslaması ve istatistiksel analiz.....	50
Çizelge 6.40: 125 g için farklı infrared kurutma güçlerinde kuruma hızının hesaplanmasında deneysel verilerin Newton modeli ile kıyaslaması ve istatistiksel analiz.....	51
Çizelge 6.41: 25 g farklı infrared kurutma güçlerinde kuruma hızının hesaplanmasında deneysel verilerin Difüzyon yaklaşımı modeli ile kıyaslaması ve istatistiksel analiz.....	51
Çizelge 6.42: 50 g farklı infrared kurutma güçlerinde kuruma hızının hesaplanmasında deneysel verilerin Difüzyon yaklaşımı modeli ile kıyaslaması ve istatistiksel analiz.....	51

Çizelge 6.43: 75 g için farklı infrared kurutma güçlerinde kuruma hızının hesaplanmasında deneysel verilerin Difüzyon yaklaşımı modeli ile kıyaslaması ve istatistiksel analiz.....	51
Çizelge 6.44: 100 g için farklı infrared kurutma güçlerinde kuruma hızının hesaplanmasında deneysel verilerin Difüzyon yaklaşımı modeli ile kıyaslaması ve istatistiksel analiz.....	52
Çizelge 6.46: İnfrared kurutma gücünün 25 gr yaban mersini meyvesinin kurutulması esnasında meydana gelen renk değişim parametreleri.....	53
Çizelge 6.48: İnfrared kurutma gücünün 75 gr yaban mersini meyvesinin kurutulması esnasında meydana gelen renk değişim parametreleri.....	53
Çizelge 6.49: İnfrared kurutma gücünün 100 gr yaban mersini meyvesinin kurutulması esnasında meydana gelen renk değişim parametreleri.....	53
Çizelge 6.50: İnfrared kurutma gücünün 125 gr yaban mersini meyvesinin kurutulması esnasında meydana gelen renk değişim parametreleri.....	53
Çizelge 6.51: Farklı infrared kurutma güçlerinin R_k değerine etkisi	54



ŞEKİL LİSTESİ

Şekil 2.1: Kurutma hızının malzemenin nem içeriğine göre değişimi (Başaran,2006)	5
Şekil 2.2: Kurutma eğrisinin kurutma süresine göre değişimi (Başaran, 2006)	5
Şekil 2.3: Kabin tipi kurutucu (Tang ve Yang, 2003).....	8
Şekil 2.4: Tünel tipi kurutucu (Tang ve Yang, 2003)	9
Şekil 2.5: Bantlı kurutucu	9
Şekil 2.6: Akışkan yatak tipi kurutucu (McKetta, 1983)	10
Şekil 2.7: Püskürtme Tipi kurutucu (Tang ve Yang, 2003)	10
Şekil 2.8: Dondurucu kurutucu	12
Şekil 3.1: Yaban mersini (<i>vaccinium myrtillus</i>) bitkisi.....	16
Şekil 5.1: İnfrared kurutucu mekanizması	20
Şekil 5.2: İnfrared kurucunun genel şekli	21
Şekil 5.3: Konica Minolta CR-400 cihazı genel görünümü.....	22
Şekil 5.4: Nüve NB 9 su banyosu genel görünümü	22
Şekil 6.1: 25 g yaban mersini meyvesinin farklı infrared kurutma güçlerinde boyutsuz nem oranının kuruma süresi ile değişimi.....	31
Şekil 6.2: 50 g yaban mersini meyvesinin farklı infrared kurutma güçlerinde boyutsuz nem oranının kuruma süresi ile değişimi.....	31
Şekil 6.3: 75 g yaban mersini meyvesinin farklı infrared kurutma güçlerinde boyutsuz nem oranının kuruma süresi ile değişimi.....	32
Şekil 6.4: 100 g yaban mersini meyvesinin farklı infrared kurutma güçlerinde boyutsuz nem oranının kuruma süresi ile değişimi	32
Şekil 6.5: 125 g yaban mersini meyvesinin farklı infrared kurutma güçlerinde boyutsuz nem oranının kuruma süresi ile değişimi	33
Şekil 6.6: Farklı infrared kurutma güçlerinde 25 g yaban mersini meyvesinin kuruma hızının nem içeriği ile değişimi	33
Şekil 6.7: Farklı infrared kurutma güçlerinde 50 g yaban mersini meyvesinin kuruma hızının nem içeriği ile değişimi	34
Şekil 6.8: Farklı infrared kurutma güçlerinde 75 g yaban mersini meyvesinin kuruma hızının nem içeriği ile değişimi	34
Şekil 6.9: Farklı infrared kurutma güçlerinde 100 g yaban mersini meyvesinin kuruma hızının nem içeriği ile değişimi	34
Şekil 6.10: Farklı infrared kurutma güçlerinde 125 g yaban mersini meyvesinin kuruma hızının nem içeriği ile değişimi	35
Şekil 6.11: 25 g yaban mersini meyvesinin farklı infrared kurutma güçlerinde (a) $\ln(MR)$ değerlerinin kuruma süresi ile değişimi (b) m/P oranı ile $\ln(D_{eff})$ ile değişimi	36
Şekil 6.12: 50 g yaban mersini meyvesinin farklı infrared kurutma güçlerinde (a) $\ln(MR)$ değerlerinin kuruma süresi ile değişimi (b) m/P oranı ile $\ln(D_{eff})$ ile değişimi	37
Şekil 6.13: 75 g yaban mersini meyvesinin farklı infrared kurutma güçlerinde (a) $\ln(MR)$ değerlerinin kuruma süresi ile değişimi (b) m/P oranı ile $\ln(D_{eff})$ ile değişimi	38
Şekil 6.14: 100 g yaban mersini meyvesinin farklı infrared kurutma güçlerinde (a) $\ln(MR)$ değerlerinin kuruma süresi ile değişimi (b) m/P oranı ile $\ln(D_{eff})$ ile değişimi	39

Şekil 6.15: 125 g yaban mersini meyvesinin farklı infrared kurutma güçlerinde (a) $\ln(MR)$ değerlerinin kuruma süresi ile değişimi (b) m/P oranı ile $\ln(D_{eff})$ ile değişimi 40



SEMBOLLER VE KISALTMALAR

m_t	: Ölçüm anındaki örneğin ağırlığı
m_d	: Örneğin içerdiği kuru madde miktarı
M_t	: t anındaki nem içeriği
DR	: Kuruma hızı
M_{t+dt}	: t+dt anındaki nem içeriği
dt	: Zaman aralığı
MR	: Nem oranı
M_0	: Numunenin başlangıçtaki nem içeriği
M_e	: Denge nem miktarı
RK	: Rehidrasyon kapasitesi
m_{rehid}	: Rehidrasyon sonrası ürünün ağırlığı
D_{eff}	: Efektif difüzyon katsayısı
R_1	: Materyalin iç yarıçapı
R_2	: Materyalin dış yarıçapı
L	: Katıda difüzyonun olduğu boyutun yarı kalınlığı
t	: Kuruma zamanı
k	: Kinetik sabit (Page, Logaritmik, Midilli ve ark., Newton, Henderson and Pabis, Verma ve difüzyon yaklaşımı modellerinde kullanılan)
n	: Katsayı (Page modelinde kullanılan)
a	: Katsayı (Logaritmik, Midilli ve ark., Wang- Singh, Henderson and Pabis, Verma ve difüzyon yaklaşımı modellerinde kullanılan)
b	: Katsayı (Logaritmik ve Midilli ve ark., Wang-Singh ve difüzyon yaklaşımı modellerinde kullanılan)
RMSE	: Tahminin standart hatası
χ^2	: Ki-kare
R^2	: Belirleme katsayısı
MR_{den}	: Deneysel nem oranı değeri
MR_{tah}	: Tahmin edilen nem oranı değeri
N	: Deneysel veri sayısı
P	: Parametre sayısı (Page, Logaritmik, Midilli ve ark. ve Newton modellerinde kullanılan)
L	: Parlaklık (Renk ölçüm cihazında okunan parametreler)
a	: (+) kırmızılık, (-) yeşillik
b	: Sarılık

ÖZET

Yüksek Lisans Tezi

YABAN MERSİNİ MEYVESİNİN KURUTULMASINDA KÜTLE TRANSFER KATSAYILARI VE BAZI KALİTE PARAMETRELERİNİN BELİRLENMESİ

VECİHA ÜNAL

İnönü Üniversitesi
Fen Bilimleri Enstitüsü
Kimya Mühendisliği Anabilim Dalı

86+X sayfa

2024

Danışman: Prof. Dr. Ayşe SARIMEŞELİ PAÇACI

Bu çalışmada, infrared ışınları kullanılarak tasarlanmış bir kurutucuda taze yaban mersini meyvesinin kurutulması prosesinde kurutma gücünün, kuruma süresi, kuruma hızı ve kinetiği üzerine etkisi incelenmiştir. Ayrıca aynı şartlar altında rehidrasyon kapasitesi ve renk değişimi olmak üzere bazı kalite parametrelerinin değişimi de araştırılmıştır. Yapılan tüm incelemeler 250, 300, 350, 400 ve 500 W olmak üzere 5 farklı infrared kurutma gücü değerlerinde gerçekleştirilmiş olup numunelerdeki nem değerleri %10 (± 1) düzeyine ininceye kadar kurutma işlemine devam edilmiştir. Sonuçta numunelerin kuruma sürelerinin 50-275 dk arasında farklılık gösterdiği görülmüştür. Bununla birlikte infrared kurutma gücü arttıkça kuruma hızında, dolayısıyla etkin difüzyon katsayılarında artış, örnek miktarı artırıldığında ise kuruma hızında ve difüzyon hızında azalma kaydedilmiştir.

Anahtar Kelimeler: İnfrared kurutma, kinetik model, efektif difüzyon katsayısı, kuruma kinetiği, kütle transferi, rehidrasyon kapasitesi, renk değişimi.

ABSTRACT

Master Thesis

DETERMINATION OF MASS TRANSFER COEFFICIENTS AND SOME QUALITY PARAMETERS OF BLUEBERRIES

Veciha Ünal

Inonu University
Graduate School of Nature and Applied Sciences
Department of Chemical Engineering

86+X pages

2024

Supervisor: Prof. Dr. Ayşe Sarımeşeli Paçacı

In this study, the effects of drying power on drying time, rate, and kinetics were examined using an infrared dryer designed for drying fresh blueberries. Additionally, under the same conditions, changes in certain quality parameters such as rehydration capacity and color change were also investigated. All examinations were conducted at five different infrared drying power levels: 250, 300, 350, 400, and 500 watts. The drying process was continued until the moisture content of the samples was reduced to 10% (± 1). The results showed that the drying times of the samples varied between 50-275 minutes. Moreover, as the infrared drying power increased, there was an increase in the drying rate and consequently in the effective diffusion coefficients. Conversely, an increase in the sample quantity resulted in a decrease in both the drying rate and diffusion rate.

Key words: Infrared drying, kinetic model, effective diffusion coefficient, drying kinetics, mass transfer, rehydration capacity, color change.

1. GİRİŞ

Çeşitli maddelerin içeriğinde serbest halde bulunan nemin, açıkta veya kapalı sistemlerde kontrollü bir şekilde uzaklaştırılması ile gerçekleştirilen işleme genel olarak kurutma denir. Günümüzde kurutma işlemleri, bir çok alanda kaçınılmaz olarak yapılması gerekli bir uygulama olarak karşımıza çıkmaktadır. Bazı katılar bünyelerinde barındırdıkları nem miktarlarının belirli seviyelere indirilmesinden sonra satılabilir, bazıları ise depolama kolaylığı ve nakli esnasında soğutucu ekipmanlara gerek duyulmaması için kurutulurlar.

Geçmişten bu yana gıda ürünlerinin de uzun süre bozulmadan muhafaza edilmesinin en eski ve kolay yöntemi kurutma işlemi olmuştur. Gıda ürünlerinin taze olarak tüketilmelerinin yanısıra kurutularak farklı amaçlar için kullanılmaları, kolay muhafaza edilmeleri ve dolayısıyla maddi açıdan avantaj sağlamaları nedeniyle yaygın olarak uygulanmaktadır.

Kurutma işleminin sağladığı avantajlar kısaca şöyle sıralanabilir:

- Kurutma ile ürün içinde bulunan su, ürünün bozulmasına imkân vermeyecek bir düzeye kadar azaltıldığı için kesin bir muhafaza imkanı oluşmaktadır.
- Gıda hacmi küçülür, ağırlık azalır. Buna bağlı olarak ambalaj maliyeti azalır, taşınması kolay olur.
- Kuru gıdalar, konserve gıdalara göre daha az maliyetlidir.
- Kurutma işleminin uygulandığı gıdalar, fermentasyon, dondurma, kimyasal işlemlerle muamele gibi diğer yöntemlerle muamele edilenlere kıyasla besin öğeleri ve kalite parametreleri açısından daha zengin nitelik kazanmaktadır

Bu çalışmada yaban mersininin kurutulması prosesinde infrared gücünün, kurutma hızı ve kinetiği ve bazı kalite parametreleri üzerine etkilerinin araştırılması hedeflenmiştir. Elde edilen sonuçlardan yola çıkılarak matematiksel modelleme ve model parametrelerinin belirlenmesi ile tasarım prosesleri açısından faydalı olabilecek ifadelerin elde edilmesi için çalışmalar yapılmıştır.

2. KURAMSAL TEMELLER

2.1 Gıdaların Kurutularak Muhafazasının Tarihçesi

Kurutma işlemi, taze ürünlerdeki serbest halde bulunan suyun, küf, mantar ve çürüme gibi mikroorganizmaların faaliyetlerine sebep vermeyecek düzeylere düşürülene kadar uzaklaştırılması yöntemidir (Karaaslan ve Tunçer, 2009).

Meyve ve sebzelerin kurutularak muhafaza edilmesi yönteminin kullanımı 18. yy'ın başlarına dayanmaktadır. Daha sonraki yıllarda yaşanan çeşitli savaşlar sebebiyle, kurutulmuş gıdalara fazlaca ihtiyaç duyulması, kurutarak saklama metodunu daha da önemli kılmıştır. 1854–1856 seneleri arasında Kırım'da gerçekleşen savaşta, İngiliz süvarileri beraberlerinde kendi ülkelerinden kurutulmuş gıda ürünleri getirmişlerdir. 1899–1902 yıllarında gerçekleşen Boer Savaşı boyunca kurutulmuş ürünler kullanılmıştır. 1. Dünya Savaşı süresince 4500 ton kuru gıda tüketilmiştir. 1919'da ise Amerika'da ıspanak, taze fasulye, lahana, tatlı mısır, patates, şalgam, kereviz ve çorbaya kurutularak koyulan sebzeler üretilmeye başlanmıştır (Vega-Mercado vd., 2001).

Ülkemizde kurutulmuş gıdaların %63'ünün yurtdışına satışı yapılmakta olup bu miktar ihracat gelirimizin %80'ini kapsamaktadır. Kurutulmuş gıdalar, farklı şekillerde tüketilmekte olup, hazır çorba ve bebek mamaları, ilaç gibi çeşitli alanlarda kullanılmaktadır. Kuru gıda üretimi dünyada gün geçtikçe artmakta olup, üretimin büyük kısmı ABD ile Türkiye tarafından karşılanmaktadır.

2.2 Kurutma Metodları

Gıda maddelerinin muhafazası için en uygun, pratik ve ekonomik kurutma yönteminin seçilmesi oldukça önemlidir. Doğru kurutma yöntemi kuru gıda kalitesinin belirlenmesinde önemli rol oynar, aksi takdirde ürün kalitesinde büyük düşüşler yaşanır.

2.2.1 Doğal Kurutma Metodu

İnsanoğlu gıda maddelerini kurutarak muhafaza etme yöntemini yüzyıllardır kullanmaktadır. Marco Polo, yaptığı seyahatlerde, Moğollar'ın Uzak Doğu'da sütü güneşte kuruttuklarını görmüştür. Tahıllar, üzüm, kayısı, incir, kırmızı biber gibi çeşitli meyve ve sebzelerin güneş gören alanlara serilmek suretiyle kurutulması günümüzde hala yapılmaktadır (Saldamlı ve Saldamlı, 1990).

Doğal kurutma genel olarak güneşin ısısından yararlanılarak gıda maddesinin içindeki suyun uzaklaştırılması işlemidir. Fakat her gıda maddesinin bu şekilde kurutulması mümkün olmamaktadır ve bazı gıda maddelerinde bu metodun uygulanması olumsuz etkiye sebep olabilmektedir. Ürün kalitesi bakımından incelendiğinde; ürünün serilerek kurutulması nedeniyle açık havada tozlanması, böcek, kuş gibi hayvanların ürüne verecekleri zararlara açık olması önemli dezavantajlardandır. Ayrıca bu kurutma işleminin gerçekleşmesi için hem uzun süreye hemde geniş alanlara ihtiyaç duyulması nedeniyle ekonomik olmadığı görülmektedir.

2.2.2 Yapay Kurutma Metodu

Yapay kurutma genel olarak kapalı alan ve belli koşullar altında ürünlerin kurutulması olarak tanımlanabilir.

Yapay kurutma yöntemleriyle ürünlerin kuruma süresi kısılır, bozulmadan muhafaza süresi artar ve daha kaliteli ürün elde edilir. Yapay kurutucular, kurutma işlemi için gerekli olan ısıyı ortama sağlama şekline göre; kondüksiyon, konvektif ve radyasyonlu kurutma yöntemleri olmak üzere üçe ayrılır.

2.3 Kurutmanın İlkeleri

Kurutma genel olarak; katı maddelerin içindeki uçucu maddelerin ısı uygulanarak belirli bir nem derecesine kadar maddeden uzaklaştırılması işlemidir. Uygulanan bu ısı, katının gözeneklerindeki uçucu maddenin buharlaşmasını sağlar.

Kurutma işlemi esnasında eş zamanlı meydana gelen olaylar:

- Uçucu maddenin katıdan uzaklaştırılması için ısının maddeye transferi işlemi
- Katıdan suyun, buhar olarak uzaklaşmasıyla meydana gelen kütlenin aktarılması işlemi

Endüstriyel olarak kullanılması planlanan kurutucularda ise öncelikli kriter, ısının en tasarruflu biçimde kullanılmasını sağlamaktır. Bu ısı transfer yöntemi kurutucu türüne göre farklılık gösterir. Isı katının dış kısmından iç kısımlarına doğru hareket ederek transfer gerçekleşir. Bunlardan farklı olarak frekansı yüksek olan elektrik akımında gerçekleşen kurutmada sıcaklık kurutulan numunenin içinden başlayıp dış bölgeye doğru hareket eder böylece, kütle transferi ile birlikte kurutma meydana gelir (Başaran, 2006).

2.4 Kuruma Süresinin Belirlenmesinde Kullanılan Yöntemler

2.4.1 Davranış Testi

Ticari bir kurutucunun davranışlarının laboratuvar ortamında deneyler yapılarak ya da ticari kurutucu içersinde yapılan deneyler ile verimliliğinin bulunması yolu ile kuruma süresinin tespit edilmesidir.

2.4.2 Yapay Madde Testi

Kurutma işlemi yapılmak istenen numuneyi tedarik etmek güçse, davranış testleri numuneye benzer davranış sergileyen başka numune üzerinde yapılır.

2.4.3 Teorik Tahmin

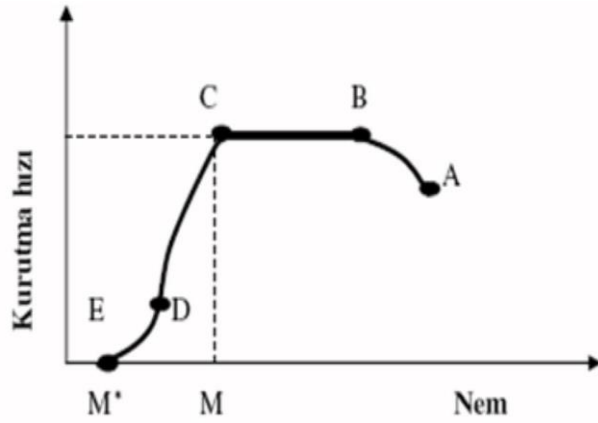
Teorik tahmin; ticari olarak kullanılması planlanan kurutucunun tasarımında, laboratuvarında kullanılan kurutucuda gerçekleşen davranış testi, tasarlanan diğer kurutucuyla aynı şartlarda benzer özellik göstermesi gerekir. Bunun yanında Laboratuvarında deney için kullanılan malzemelerin, tasarlanan kurutucudaki madde ile benzerliği şarttır. Yapılan deneyler sonucunda sonuçlar kıyaslanır, uygunluğu değerlendirilir (Özbalta ve Güngör, 1997).

2.5 Kurutma Prosesinin Aşamaları

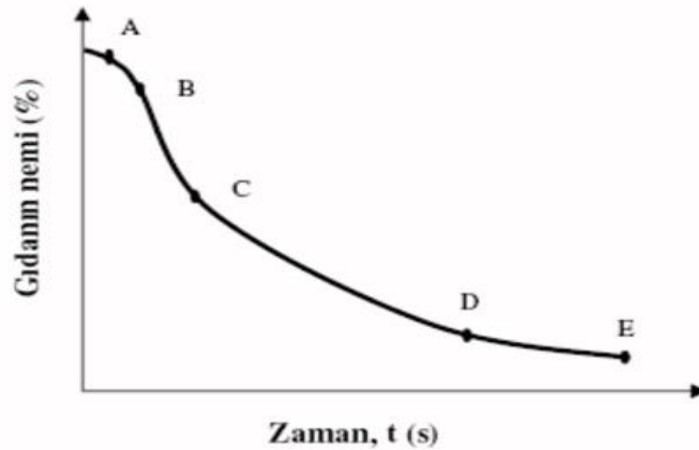
Değişik koşullarda kurutulan gıda maddelerinin kurutulmalarının sonunda belirlenen kuruma eğrileri birbirinden farklı ve iki periyot şeklinde gözlemlenir. İlk başta kurumanın hızla meydana geldiği periyot ve içindeki suyun önemli bir kesminin uzaklaştırıldığı hızın sabit olduğu periyot ardından hızın giderek yavaşladığı ve eskisine oranla daha az suyun buharlaştığı, uzun zamanda gerçekleşen gittikçe hızın azaldığı periyot olarak incelenir (Baker, 1997).

Kurutma yapılırken, numunenin kütlesi zamanın fonksiyonu şeklinde seçilerek nem miktarı bulunur. Şekil 2.1’de bu kuruma hızının değişimi gözlemlenebilir. Grafikte görülen C noktası kurutulması planlanan numunenin kritik nem kütlesini ifade eder. Yüzeyde gözlemlenen kurumanın görüldüğü ilk noktaya kritik nokta denir. AB bölgesi numunenin ne kadar zamanda ısındığını gösterir. BC bölgesinde ise buharlaşma ise numunenin yüzey bölgesinde yer alan sıvı film katmanında meydana gelir.

CD bölgesinde numunenin yüzey kısmında yeralan su buharlaşmaktadır. Bunlar göz önüne alındığında kurutma hızı BC bölgesinde sabit, CD bölgesinde ise değişkendir. Son olarak DE bölgesinde ise numunenin içindeki nemin uzaklaştırılma hızının giderek azaldığı bölümdür (Başaran, 2006).



Şekil 2.1: Kurutma hızının malzemenin nem içeriğine göre değişimi (Başaran,2006)



Şekil 2.2: Kurutma eğrisinin kurutma süresine göre değişimi (Başaran, 2006)

2.5.1 Sabit kurutma hızı periyodu

Bu kuruma evresinde, katı maddenin yüzey kısmında bir film tabakası meydana gelmiştir ve yüzey nemlidir. Ürünün içinde mevcut olan su, bu tabaka ile yüzeyden havaya iletilmiş olur (Baker, 1997).

2.5.2 Azalan kurutma hızı periyodu

Bu periyotta, yüzeydeki ıslak bölge giderek azalır. Bu periyot, maddenin gözenek yapısına, kurutma hızına, ürünün içindeki suyun yüzey bölgesine doğru akışına sebep olan etkenlere bağlıdır. Bu bölgede havanın hızı kurutma sürecini çok fazla etkilemez. Fakat maddenin iç yapısının özellikleri etkiler. Ürünün içindeki nem azalır, kuru yüzeyi arttığından dolayı, ıslak hava sıcaklığında durmaması beklenir. Bu yüzden, kurutma hızı tespit edilirken sıcaklık dağılımının da dikkate alınması gereklidir (Başaran, 2006).

2.6 Kurutma Hızını Etkileyen Etkenler

Maddenin içindeki nemin uzaklaştırılması kurutma metodu ile gerçekleştirilecekse “ısı ve kütle transferi” işlemleri ile maddeye ısı verilmesi ve maddeden suyun uzaklaştırılması şeklinde iki ana unsurun getirilmesi gerekir. Kurutma işleminin gerçekleşmesi için gereken bu transfer olaylarını hızlandırmak için gerekli olan kurutma sıcaklığı, hava hızı ve bağıl nemi, kurutmanın gerçekleştiği ortamın basıncı vb. fiziksel etkenler ve maddenin diğer özellikleri gibi faktörler üzerinde hassasiyetle durulmalıdır.

2.6.1 Nem

Kurutulan ürünün nem içeriği ortamda bulunan su buharı miktarına bağlı olarak farklılık göstermektedir. Ortamdaki nem artırılıp azaltıldığında ürünün nem değişimi farklı karakteristikler göstermektedir.

2.6.2 Sıcaklık

Kurutma işleminin başlarında kurutma hızını etkileyen en önemli etkenlerden biridir. Sıcaklığı yaşı termometre ile kuru hava termometresi arasındaki fark olarak tanımlanabilir. İlk başta farkın kurumayı hızlandırdığını görürüz sonradan bu farkın artmasına karşın aynı oranda kuruma hızını artırmadığı görülür.

Genellikle gıda maddeleri ısıya karşı duyarlıdır. Bu nedenle bazı bozulmalara ve kalite parametrelerinin düşmesine neden olur. Yapılan çalışmalar sonucunda maddelerin kısa süre yüksek ısıya maruz kalmasının uzun süre düşük sıcaklığa maruz kalmasından daha iyi sonuçlar doğurduğunu bulmuşlardır (Saldamlı ve Saldamlı, 1990).

2.6.3 Madde Boyutu

Kurutulacak maddenin olabildiğince geniş bir alana yayılmasını sağlamak kuruma süresini kısaltır. Maddeyi küçük parçalara ya da olabildiğince ince dilimlere ayırmak, ısının ürünün merkezine ulaşma süresini kısaltır ve dilimlenmemiş boyutuna kıyasla daha kısa sürede kuruma sağlanmış olur. Ürünün boyutu ile kuruma hızı doğru orantılı olduğu belirlenmiştir (Heldman ve Hartel, 1997).

2.6.4 Ürüne Özgü Özellikler

Gıdanın kimyasal bileşimi kurutma prosesi boyunca sürekli olarak değişir. Şeker gibi molekülleri küçük maddeleri yüksek oranda barındıran gıdaların, az miktarda bulunduran gıdalara oranla kuruma süresinin daha uzun olduğu belirlenmiştir. Bunun sebebi içindeki eriyik maddelerin suyun buhar basıncını etkileyerek basıncı düşürmesidir. Basıncı düşürünce suyun buharlaşması zorlaşır ve kuruma zamanı uzamış olur (Cemeroğlu ve Acar, 1986).

2.7 Gıdaların Kurutma Prosesinde Görülen Fiziksel ve Kimyasal Değişimler

Kurutulan maddelerde kurutma süresince gerçekleşen fiziksel ve kimyasal değişimler neticesinde kalite parametrelerinde bir miktar azalma kaydedilebilir ki böyle durumlar gıda maddeleri için istenmez. Kalite parametrelerini düşürecek etkenler; lipid oksidasyonu, çözünür madde geçişi, rehidrasyon kapasitesi, vitamin kayıpları, kabuk oluşumu, esmerleşme reaksiyonları, mikroorganizmaların inaktivasyonu ve çekme olarak sıralanabilir.

2.8 Kurutma Sistemleri

Kurutma yapılacak ürün için en uygun ekipman ve makinaların seçilmesi çok önemlidir. Kurutma sonunda kurutulan ürünün kaybının en az, kalitesinin en yüksek

olması arzu edilir. Ekonomik koşullar göz önünde bulundurularak, değişik prensiplerde çalışan kurutma sistemleri tasarlanmıştır (Saldamlı ve Saldamlı,1990).

2.8.1 Sıcak Havalı (konveksiyon) kurutucular

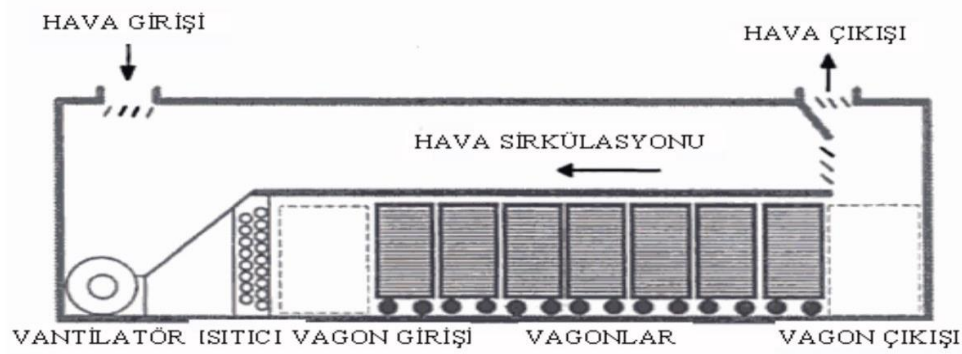
Bu kurutma çeşidinde sıcak gaz direkt olarak numunenin üzerine püskürtülerek kurutma sağlanmış olur. Bu kurutma yalnızca gazın ürüne zarar vermediği durumlarda kullanılabilir.

2.8.1.1 Fırın tipi kurutucular

Bu kurutucu iki katlı olup, alt katında havayı ısıtmak için fırın veya brülör bulunur. Sıcaklığın etkisiyle ısınan hava yükselir ve ikinci katta ızgaraya serilmiş ürünlere ulaşır. Bu kurutucunun kullanımına örnek olarak elma dilimlerinin kurutulmasını verebiliriz (Saldamlı ve Saldamlı, 1990).

2.8.1.2 Kabin tipi kurutucular

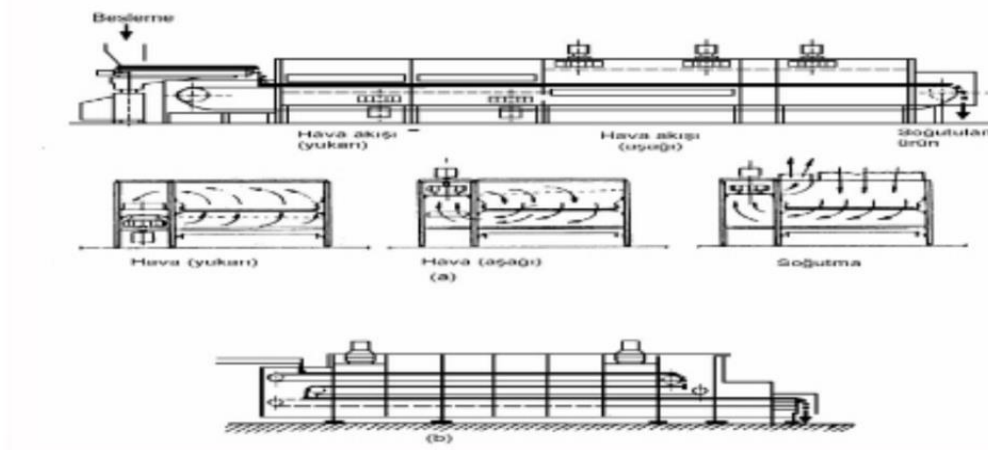
Kabinde kurutulmak istenen gıda maddeleri kabinin içindeki tepsilere sırasıyla sıcak havayla en yüksek temas alacak şekilde dizilir. Sonrasında ürün kurutma havasıyla etkileştiği, kurutucu ünitesine gönderilir (UNIDO, 2004b).



Şekil 2.3: Kabin tipi kurutucu (Tang ve Yang, 2003)

2.8.1.3 Tünel tipi kurutucular

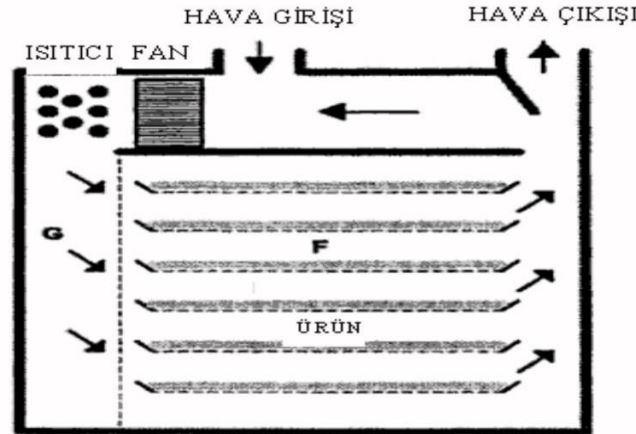
Bu kurutucu tipi tam zamanlı veya yarı zamanlı olarak çalışır. Sıcak hava tüm sistemde dolaşarak maddeyi kurutur. Ürünler raf veya bant üzerine serilerek kurutulur. Sıcak hava ürünle zıt yada paralel şekilde veya hibrit olarak prosesden geçebilir (Özbalta ve Güngör, 1997).



Şekil 2.4: Tünel tipi kurutucu (Tang ve Yang, 2003)

2.8.1.4 Bant tipi kurutucular

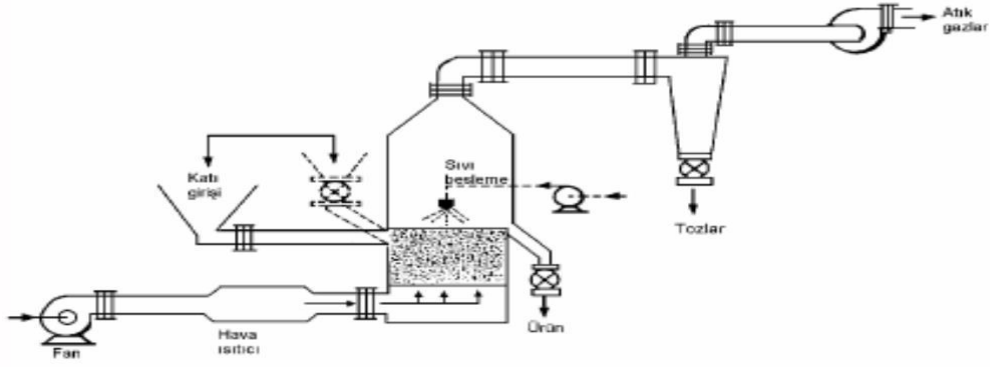
Bantlı kurutma makineleri, ürünle direkt temas halinde ve tam zamanlı çalışan bir kurutucu tipidir. Genel olarak bakıldığında sistemin sürekli hareket halinde bir banttandır meydana geldiği görülür. Bantlar tünelin içinde farklı konumlarda bulunabilirler. Kapalı, açık veya yarı açık şekilde bulunabilirler. Şekil 2.5’de bantlı bir kurutucu görülmektedir.



Şekil 2.5: Bantlı kurutucu

2.8.1.5 Akışkan yatak tipi kurutucu

Bu tip kurutucular tekne tipli kurutucunun gelişmiş modelidir. Aşağıdan ürüne çok kuvvetli bir ısı verilir ve ürün bu etkiyle askıda kalarak akışkan yatak meydana gelir (Şekil 2.6). Ürünlerin askıda ve akışkan yatakta durabilmesi için havanın hızının belli bir değerde olması gerekir. Yapılan bir çalışmada küp şeklindeki patates ve elma meyvelerinin havada akışkan olarak kalabilmesi için 19 m/s kadar yüksek hızlı bir havanın yollanmasının gerekli olduğu bulunmuştur (Cemeroğlu ve Acar,1986).



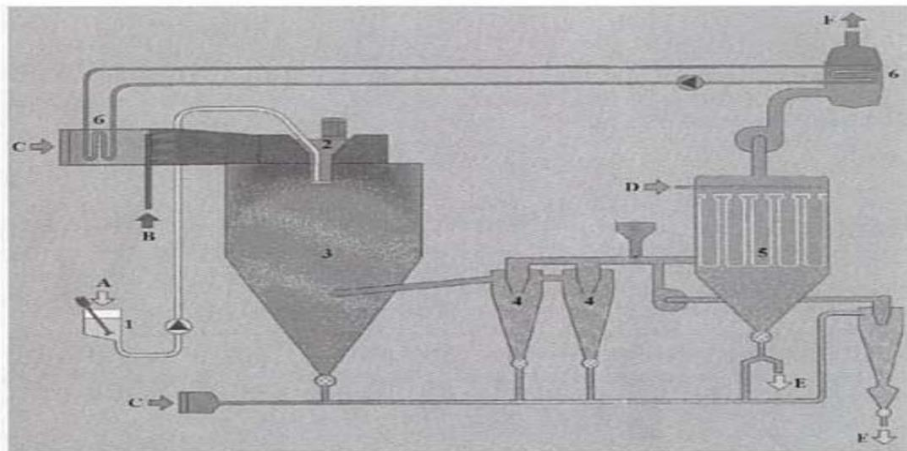
Şekil 2.6: Akışkan yatak tipi kurutucu (McKetta, 1983)

2.8.1.6 Sandık tipi kurutucular

Bu tip kurucunun çalışmasında iki husus önem ihtiva eder. Birincisi sisteme verilen havanın sıcaklık derecesi, diğeri ise bağıl nemin dikkatli seçilmesi gerekmektedir. Sandık kurutucularda kurutma havasının sıcaklık değeri ve bağıl nem miktarının doğru seçilmesi çok önemlidir.

2.8.1.7 Püskürtme tipi kurutucular

Bu kurutma tipinde ürün çok hızlı bir şekilde kısa zamanda kurur. Bu nedenle ısıya karşı duyarlılığı yüksek ürünlerinde kurumasına kolaylık sağlar. Maddenin parçacık boyutu, yoğunluğu, sistemde gezen havanın sıcaklığı çok önemlidir. Kuruma işlemi sonunda maddenin nemi, sistemden çıkan gazın nem oranına ve gazın sıcaklığına bakılarak bulunur (Özbalta ve Güngör, 1997).



Şekil 2.7: Püskürtme Tipi kurutucu (Tang ve Yang, 2003)

A: ürün girişi, B: doğalgaz beslemesi, C: hava beslemesi, D: basınçlı hava girişi, E: ürün çıkışı, F: hava çıkışı, 1: besleme tankı, 2: atomizör, 3: püskürtme kabini, 4: siklon, 5: filtre, 6: ısı değiştirici

2.8.2 Vals tipi kurutucular

Bu tip kurutucularda sıcak bir silindirin (valsın) yüzeyine lapa ya da sıvı durumda bulunan madde ince tabaka şeklinde sürülür ve 300 derecelik açı ile dönüşünü tamamladıktan sonra kazınmak suretiyle elde edilmiş olur. Tek ve çift silindirli olmak üzere iki çeşittir (Cemeroğlu ve Acar, 1986).

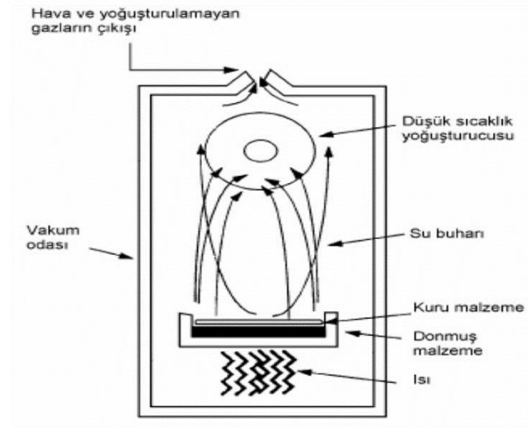
2.8.3 Vakum kurutucular

Vakum kurutma, özellikle meyve gibi kurutması uzun süren gıdalar için kullanılan önemli bir yöntemdir. Yapılan araştırmalar bu yöntemin, kurutma süresini diğer yöntemlere göre çok kısalttığını göstermiştir. Vakum, gıdada bulunan nem içeriğinin düşük sıcaklıklarda atmosferik koşullardan daha kolay buharlaşmasını sağlamaktadır. Daha da önemlisi, suyun uzaklaştırılması sırasında ortamda hava bulunmadığından oksidasyon reaksiyonları azalmaktadır. Vakum kurutucularda kurutulmuş olan gıdalarda tekstürel özellikler, renk ve aroma iyi bir şekilde korunmaktadır (Erbay ve Küçüköner, 2008).

2.8.4 Dondurucu kurutucular

Diğer kurutma yöntemleriyle kurutulamayan sıcaklığa duyarlı hassas gıda maddeleri ve ilaç gibi ürünlerin dondurulmak suretiyle kurutulması daha doğru olur. Şekil 2.10'da dondurarak kurutma şematik olarak gösterilmektedir.

Dondurarak kurutma yönteminde diğer işlemlere kıyasla tat kaybı yok denecek kadar azdır. Ayrıca sıcaklık düşük olduğu için protein bozulması en aza iner (Kayhan, 2008).



Şekil 2.8: Dondurucu kurutucu

2.8.5 Mikrodalga tipi kurutucular

Mikrodalga kurutucunun asıl amacı maddede bulunan suyun polarizasyonunu sağlayıp, molekülleri hızlandırmak suretiyle sürtünme enerjisinden ısı elde etmektir. Bu enerjinin maddenin en derin kısmına kadar yayılması gereklidir. Eğer yayılma iç kısımlara kadar ulaşmazsa maddenin yalnızca yüzey kısmı bu enerjiyle ısınır ve iç bölgede ısınma gözlenmez. Enerjinin etki ettiği alan; dalga boyuna, dielektrik sabitine, derinliğe ve kayıp etkenlerine bağlıdır (Erdem, 2007).

2.8.6 Morötesi radyasyon metodu ile kurutma

Bu kurutma metodunda elektromagnetik radyasyon ile kurutma sağlanır. Kullanım alanları momomer yapıya sahip kaplama çeşitleri ve boyalardır. Bu kurutma tipinin kullanılmasının en büyük engeli yatırımın çok büyük bütçe gerektiriyor olmasıdır.

2.8.7 İletim metodu ile kurutma

Bu kurutma tipinde, sıcak yüzey ile materyal temas halindedir. Materyalin temastayken fazla ısınmasını engellemek ve ısının materyal içinde homojen olarak dağılmasını sağlamak için tüm tedbirlerin alınması zorunludur. Genellikle kağıt gibi materyallerin elde edilmesinde kullanılır. Fakat kuruma hızının düşük olması sistemin kontrol edilmesinde yaşanan sorunlar ve yatırımın maliyetinin oldukça yüksek olması sebebiyle bu tür olumsuzluklara rastlanabilmektedir.

2.8.8 İnfrared (kızılötesi) metodu ile kurutma

2.8.8.1 İnfraredin tarihçesi

İnfrared bilimsel olarak 18.yy'da Frederic William Hearshel tarafından bulunmuştur. Beyaz ışığı oluşturan renk tayflarının hangi miktarda ısı taşıdığını bulmak için yaptığı deneylerde kırmızı ışığın en çok ısı taşıdığını tespit etmiştir. Sanayide 1980 yılından beri kullanılmaktadır. İnfaredden alınan verim sanayi sektöründe olumlu karşılanmış, sektörde tavlama, kurutma, pişirme gibi amaçlar için kullanılmıştır. Günümüzümüzde zor ısıtılan mekânları ucuz ve güvenilir bir şekilde ısıtmak amacıyla da infrared ısısı sıkça kullanılmaktadır.

2.8.8.2 İnfrared hakkında genel bilgiler

Evrendeki tüm maddeler atomlardan var olmaktadır. Atom çekirdeğinin yörüngesinde bulunan çeşitli sayıda elektronlar bulunmaktadır. Elektronlar kararlı bir halde olmakla beraber belli bir düzen içinde elektron çevresinde dönerler. Fakat bu düzen farklı dış etkilere kaynaklı olarak düzeni bozulur ve bir üst yörüngeye geçer. Bu düzeni sağlamak için tekrar aynı seviyesinin yerini alır. İşte bu iki seviye arasındaki fark bir enerji ortaya çıkar işte foton enerjisi böylece açığa çıkmış olur. Foton 0.76-300 mikrometre arasında bir dalga boyundaysa buna infrared (IR)denir.

2.8.8.3 İnfrared yönteminde kurutma mekanizması

Kurutma işlemi bu yöntemde gerekli olan ısıyı infrared enerjisinden sağlar. Bu ışın kurutulacak maddenin üzerine düşmesi sağlanarak yapılır. Böylece ısı madde içinde yayılarak kurutma işlemi meydana gelir.

2.8.9 Ultrasonik yöntem ile kurutma

Gıda endüstrisi işlemede ultrasonu, giderek daha fazla takdir edilen yeni ortaya çıkan bir teknoloji olarak kabul edilmektedir. Ultrasonik enerjinin kullanımı, ürünlerin ana özelliklerini ve kalitesini etkilemeden hareket edebildiği için çok umut vericidir. Özellikle ısıya duyarlı gıdaların kurutulmasında avantaj sağlayabilir, çünkü bunlar geleneksel sıcak hava kurutucularına göre daha hızlı ve daha düşük sıcaklıklarda kurutulabilir. Bu, ultrasonik kurutmanın ürünü önemli ölçüde ısıtmadan nemi giderme yeteneğine sahip olduğu ve sonuç olarak kütle transfer işlemlerinin hızlandırılabileceği anlamına gelir. Hava kaynaklı ultrasonu, gaz/sıvı arayüzlerinde basınç değişimleri meydana getirir ve bu nedenle nemin buharlaşma oranını artırır. Akustik enerji ayrıca

difüzyon sınır tabakasını etkileyebilecek arayüzlerde salınım hızlarına ve mikro akışa neden olur. Ayrıca, ultrasonik dalgalar aynı zamanda, içinde seyahat ettikleri materyalde hızlı bir dizi alternatif büzülme ve genişleme (sünger etkisi) üretir; bu değişken stres, nemin uzaklaştırılmasını kolaylaştırabilecek mikroskobik kanallar oluşturur. Ek olarak, yüksek yoğunluklu akustik dalgalar, katı matris içinde su moleküllerinin kavitasyonunu üretir ve bu, güçlü bir şekilde bağlanmış nemin çıkarılması için faydalı olabilir. Bu değişken stres, nemin uzaklaştırılmasını kolaylaştırabilecek mikroskobik kanallar oluşturur.

2.8.10 Hibrit sistemler ile kurutma

Hibrit sistem ile kurutmada, birden fazla metod kullanarak hem daha az enerji kullanmak hemde daha iyi bir sonuç elde etmek için yapılmaktadır. Genel olarak bu hibrit sistem, akışkan yatak + ısı pompası, vakumlu + püskürtmeli kurutma vb. çeşitli kurutma sistemleri ve türevleri ile gerçekleştirilmektedir. Hibrit sistemlerin amacı düşük maliyet, kaliteli ürün ve enerji tasarrufu sağlamaktır.

2.9 Ürünlerin Kurutulmasında Meydana Gelen Fiziksel ve Kimyasal Değişimler

Ürünler, kurutma işlemi sırasında birçok fiziksel ve kimyasal değişime uğrar. Bu değişimler ürünlerin kalite parametrelerini olumsuz etkileyebilir. Bu kalite parametrelerini etkileyen değişimler; protein kaybı, rehidrasyon kapasitesi, esmerleşme tepkimeleri ve renk değişimleri vb. diyebiliriz. Kısaca değinecek olursak;

- Protein kayıpları; Kurutma esnasında gerçekleşen değişimlerden proteinler etkilenebilir. İçindeki su miktarının azaltılması stabiliteyi yükseltir ve protein kaybını en aza indirir (G. Dadalı, B. Özbek, 2008).

Rehidrasyon kapasitesi; Kurutulmuş ürünün içine su alarak tekrar eski haline gelme oranı olarak tanımlanır. Su alma oranı ne kadar yükselirse rehidrasyon kapasitesi de yükselir. Rehidrasyon kapasitesini etkileyen en önemli unsurlar; suyun sıcaklığı ve ürünün su içinde bekleme süresidir (T.C. Millî Eğitim Bakanlığı, 2007).

- Esmerleşme tepkimeleri; Kimyasal tepkimelerdir. Karamelizasyon ve Maillard tepkimeleri ile gerçekleşir.

Karamelizasyonda sıcaklıkla birlikte ürünün içindeki şeker gıdanın erime noktasını aşarak karamelize bir hal alır (G. Dadalı, B. Özbek, 2008). Maillard

tepkimelerinde ise; bu tepkime ürünün içinde sıcaklıkla birlikte aminoasit ve şeker arasında gerçekleşir. Tepkime sonunda şeker, melanoide dönüşmüş olur (G. Dadalı, B. Özbek, 2008).

-Renk değişimleri; Gıda için en önemli etkenlerden biri olan renk kalitesi tüketici için çok önemlidir. Renk değişiminin gözlenmesinin en büyük sebepleri arasında, gıdanın uzun süre kurutma işlemine maruz kalması ve yüksek sıcaklık değeridir. Yüksek sıcaklıklarda maddeye rengini veren karoten pigmenti tepkimeye girer ve oksitlenir (Onin, 2012).



3. YABAN MERSİNİ HAKKINDA GENEL BİLGİ

Yaban mersini fundagiller familyasından olup, *vaccinium* cinsindendir. Dünyada organik ve asidik olarak zengin iklim bölgelerinde yetiştirilir. Ticari olarak yetiştirilen yaban mersini türleri ise tavşan gözü (*vacciniumashei*) ve yüksek çalı formulu yaban mersini (*vaccinium corybosum*) dur.

Yaban mersini bol miktarda fenolik asit ve farklı türlerde flavanoidler içerir. Flavanoidler bir çok kanser tipi için tümör oluşumunu engelleyicidir. Bunlara ek olarak proantisiyanin ve tanninlerdende oluşmaktadır. Daha önce yapılan araştırmalar sonucunda proantisiyaninlerde aktif ajan olduğunu ve idrar yolları enfeksiyonlarını azalttığını tespit etmişler (Smith vd.2000).

Yaban mersininde bulunan antosiyaninler, antioksidan özelliğini taşımaları ve kan damarındaki duvara pozitif tesiri sebebiyle çok ilgi görmektedir. Mavi, mor ve kırmızı renkleriyle önemli ölçüde antosiyanin kaynağını oluşturduğu bilinmektedir. Antosiyaninler gıda renklendirmede kullanılabilmesi ve antioksidan olması yaban mersinine olan ilgiyi epey artırmıştır. Antosiyanin ise en çok alçak çalı türünde bulunur (Kahkönen vd.2003).



Şekil 3.1: Yaban mersini (*vaccinium myrtillus*) bitkisi

Türkiye’de en çok Karadeniz bölgesi olmak üzere Marmara ile Doğu Anadolu bölgesinde yabani çeşitleri (*vaccinium uliginosum*, *vaccinium vitis-idea*, *vacciniumarctostabhylos* ve *vaccinium myrtillus*) yetiştirilmektedir (Çelik, 2006).

4. LİTERATÜR ÖZETİ

İbrahim Doymaz'ın yaptığı bir çalışmada (Doymaz 2004); Bamyanın kurutma kinetiği, laboratuvar ölçekli bir sıcak havalı kurutucuda, 1.0 m/s sabit hava hızında ve 50-70°C sıcaklık aralığında incelenmiştir. Elde edilen sonuçların Page modeli ile temsil edilebileceği ve hesaplanan etkin difüzivite değerlerinin $4,27 \times 10^{-10}$ ile $1,30 \times 10^{-9} \text{ m}^2/\text{s}$ arasında değiştiği bulunmuştur. Sıcaklığın artmasıyla diffüzyon katsayısının da arttığı ve bu bağımlılığın Arrhenius tipi olduğu kaydedilmiştir.

İbrahim Doymaz tarafından yapılan başka bir çalışmada, ince tabaka halinde serilmiş nane yapraklarının kuruma davranışlarının incelendiği çalışmada (Doymaz, 2005), hava sıcaklığındaki artışın yaprakların kuruma süresini önemli ölçüde azalttığı görülmüştür. Nane kuruma eğrileri, kuruma prosesi boyunca yalnızca azalan kuruma periyodu göstermiştir. 35–60°C kurutma sıcaklığında ve 4,1 m/s hava hızında, etkin difüzivite değerlerinin 3.067×10^{-9} ile $1.941 \times 10^{-8} \text{ m}^2/\text{s}$ arasında değiştiği kaydedilmiştir. Kuruma kinetiğinin Logaritmik ampirik model ile uyum sağladığı bulunmuştur.

Ayşe Sarımeşeli'nin kişniş yapraklarının mikrodalga kurutucuda kurutulması ile ilgili yaptığı çalışmasında (Sarımeşeli, 2011) kişniş yapraklarının 180-900 W mikrodalga kurutucu gücü değerlerinde kuruma hızı, kuruma kinetiği ve bazı kalite parametreleri incelenmiştir. Tüm mikrodalga güç değerlerinde nem oranının zamanla değişiminin Midilli tarafından önerilen denklemle başarılı bir şekilde modellenebileceği bulunmuştur. Ayrıca etkin difüzivite değerlerinin 4.1×10^{-9} ile $2.02 \times 10^{-8} \text{ m}^2/\text{s}$ arasında değiştiği kaydedilmiştir.

Meltem Onin'in, infrared kurutucuda bazı meyve ve sebzelerin kuruma davranışını incelediği çalışmasında (Onin, 2012); 300, 400, 500 W infrared kurutma güçlerinde maydonoz, çilek, yeşilbiber, kırmızıbiber örneklerinin kurutulmasında infrared gücünün ve ön işlemin etkileri araştırılmıştır. İnfrared gücü arttıkça kuruma süresinin kısaldığı görülmüştür.

Hakan Yoğurtçu'nun mikrodalga yöntemi ile limon meyvesinin kurutulmasını modellediği çalışmasında; (Yoğurtçu, 2013), çeşitli mikrodalga güçlerinde gerçekleştirilen limonu kurutma ve her farklı güç için numunelerin nem değerlerinin zamana karşı değişimini tespit etmiştir. İnfrared çıkış gücü arttıkça kuruma süresinin kısaldığı görülmüştür.

Ayşegül Banı kızılılık meyvesinin infrared ısıyı kullanılarak kurutulması sürecindeki kütle transfer katsayılarını ve C vitamini kayıplarını incelemiştir (Banı, 2014). Bu çalışmada infrared gücü arttıkça kuruma süresinin azaldığı, rehidrasyon kapasitesinin arttığı fakat C vitamini kayıplarının taze örneğe göre daha düşük olduğu belirlenmiştir. Kuruma süreleri sırasıyla 275, 235, 185, 135, 105, 85, 67, 50 dk arasında değiştiğini bulmuştur. Efektif difüzyon değerlerinin ise infrared kurutma gücünün artması ile birlikte arttığını ve 250-600 W aralığında sırasıyla 9.93×10^{-11} m²/s, 1.17×10^{-10} m²/s, 1.48×10^{-10} m²/s, 1.98×10^{-10} m²/s, 2.56×10^{-10} m²/s, 3.21×10^{-10} m²/s, 4.01×10^{-10} m²/s, 5.39×10^{-10} m²/s aralığında değiştiği tespit edilmiştir. Uygulanan matematiksel modellerden en uygun model Page modeli olduğu bulunmuştur.

Engin Demiray havuç ve kırmızıbiberin farklı kurutma yöntemleri ile kurutulması sırasında kuruma özelliklerinde ve kalite parametrelerindeki değişimleri modellemiştir (Demiray, 2015). Vakum ve sıcak havanın kullanıldığı bu kurutma çalışmada, sistemdeki havanın sıcaklığı arttıkça kurumanın daha hızlı gerçekleştiği tespit edilmiştir. Kurutmanın vakum ile yapıldığı prosesde ise sistemdeki mutlak basıncın yükselmesiyle birlikte kuruma hızının azaldığı görülmüştür. Bu kurutma 780 W mikrodalga çıkış gücünde gerçekleştirilmiş olup, kırmızıbiber ve havucun kuruma hızları hemen hemen aynı olduğu tespit edilmiştir. Uygulanan matematiksel kinetik modellerden en uygun modellerin Page ve Modifiye Page olduğunu tespit etmiştir.

Dilara Yıldız'ın farklı yöntemler ile balkabağı dilimlerinin kurutulmasını incelediği çalışmasında ultrasound destekli ozmotik kurutma yöntemini kullanmıştır (Yıldız, 2019). Çeşitli ön işlemlere tabii tutulan örneklerin kuruma sürelerinin, mikro yapının ve rehidrasyon değerlerini etkilediği ön işlem ve kurutucu gücünden önemli ölçüde etkilendiği kaydedilmiştir.

Seda Günaydın kuşburnu meyvesini farklı kurutma yöntemleri kullanarak incelemiş, kurutma kinetiğini, renk ve besin değişimini belirlemiştir (Günaydın, 2020). Mikrodalga ile gerçekleştirilen çalışmanın, konvektif ve gölgede yapılan kurutmadan

daha hızlı bir kurutma yöntemi olduğu bulunmuştur. Ayrıca, mikrodalga ile yapılan kurutmanın kurutucu gücüne bağlı olarak değiştiği, güç arttıkça kuruma süresinin azaldığı belirlenmiştir. Ortalama kuruma hızının düşmesiyle birlikte ortalama kuruma zamanının yükseldiği görülmüştür.

Begüm Arkain'in muşmula meyvesini farklı yöntemler ile kurutarak kalite parametrelerini incelediği çalışmasında (Arkain, 2021); Muşmulayı kurutmak için yapılan bütün kurutma metodlarında meyveye en az zararlı kurutan, kalite parametrelerinin en yüksek olduğu 600W-50°C ve 400W-40°C de gerçekleştirilmiş olan kombine mikrodalga-konvektif metod olduğu tespit edilmiştir. Diğer taraftan gölgede yapılan konvektif metodlarla gerçekleşen kuruma işleminin sonunda muşmulada renk değişimleri olumsuz olmuştur.

5. MALZEME VE YÖNTEM

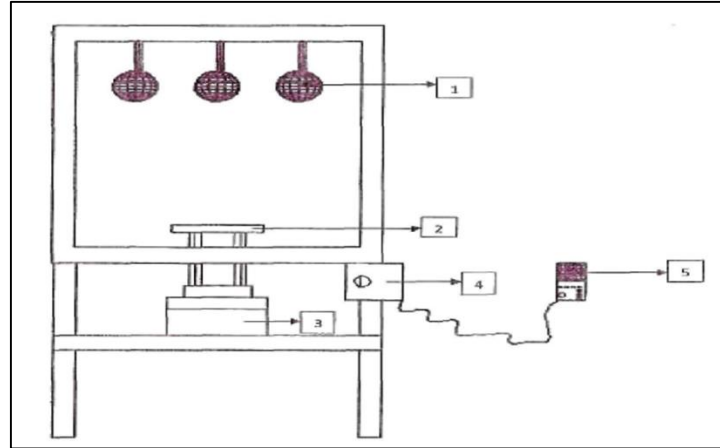
5.1 Araştırmada Kullanılan Materyaller

Bu tez kapsamında Bursa ili İnegöl ilçesine bağlı Tuzla Köyü çiftçilerinden temin edilen yaban mersini örnekleri araştırma materyali olarak kullanılmıştır. Taze örnekler 25-125 g aralıklarında poşetlenerek muhafaza edilmek üzere derin dondurucuya koyulmuştur. Deneye başlamadan önce taze meyveler derin dondurucudan çıkarılarak, 25 g yaban mersininin başlangıç nem miktarını belirlemek için 100°C’de 24 saat etüvde bekletilmiştir.

5.2 Kullanılan cihazlar

5.2.1 İnfrared Kurutucu

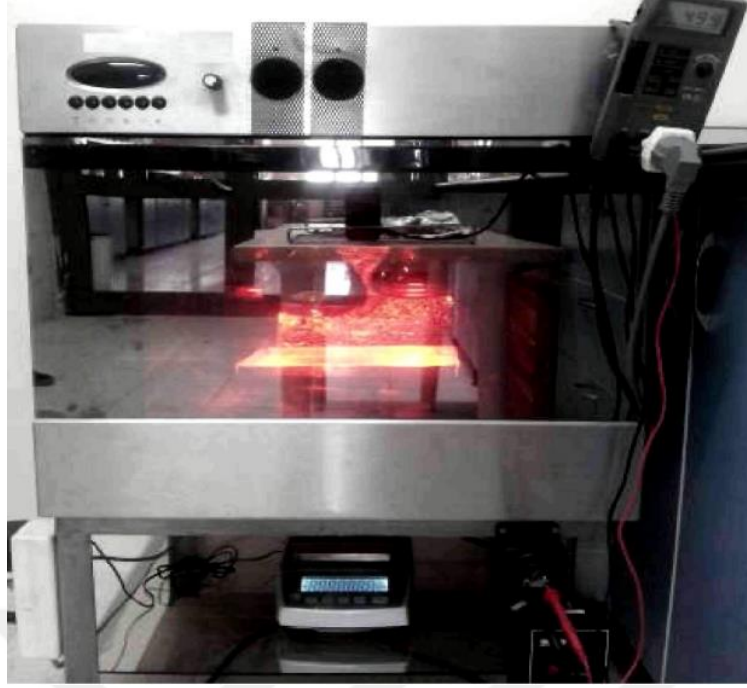
Birçok yaş materyalin kurutulmasında kullanılabilecek şekilde tasarladığımız laboratuvar tipi infrared kurutucu Şekil 5.1 de gösterilmiştir.



Şekil 5.1: İnfrared kurutucu mekanizması

1-İnfared lamba, 2-Kurutma tepsisi, 3-Hassas terazi, 4-Dimmer, 5-Wattmetre

İnfrared kurutmanın genel görünümü Şekil 5.2 de gösterilmiştir.



Şekil 5.2: İnfrared kurucunun genel şekli

Şekil 5.2 de gösterilen bu kurutucunun eni 53.5 cm, boyu 54 cm, yüksekliği ise 57 cm dir. İç bölmede kaplama olarak ışığı yansıtan alüminyum folyo kullanılmıştır. Kurutma gerçekleştirilen odanın ön tarafında bulunan kapı açılıp kapanabilir. Kurutma duvarına 3 tane infrared lamba takılmıştır. Bu lambalar 250 W gücündedir. Lambalarda Dimmer (Promed) kullanılarak farklı güçlerde infrared sağlanır. Dimmer sayesinde ayarlanan infrared güçleri bir Wattmetre (Lutron DV6060) aracılığıyla gerçekleştirilmiştir. Ürün içerisindeki buharlaştırılan suyu uzaklaştırmak için tek fan kullanılmıştır.

Ürünleri kurutma işlemi esnasında üzerinde kurutmak amacıyla 26.5x18.5 cm boyutlarda tel malzemeden oluşan ızgara şeklinde bir tane kurutma tepsisi kullanılarak kurutma işlemi gerçekleştirilmiştir. Kurutma sırasında üründe gerçekleşen kütle kaybını bulmak için kurutma tepsisi dijital terazi (Kern PCB) üzerine konulmuştur.

5.2.2 Renk ölçüm cihazı

Bu çalışmada, farklı infrared kurutucu güçlerinde kurutulan kuru örneklerin renk değişimlerini tespit etmek için kullanılan renk ölçüm cihazı Şekil 5.3'te gösterilmiştir.



Şekil 5.3: Konica Minolta CR-400 cihazı genel görünümü

5.2.3 Su banyosu

Yaban mersini meyvesinin infrared ısısı ile gerçekleştirilen kurutma işleminden sonraki rehidrayon kapasitesini belirleyebilmek için Şekil 5.4’te gösterilen su banyosu kullanılmıştır.



Şekil 5.4: Nüve NB 9 su banyosu genel görünümü

5.3 Deney Yöntemi

5.3.1 Numunenin hazırlanması

Öncelikle kurutma yapılacak yaban mersini numuneleri derin dondurucudan çıkarılarak içi alüminyum folyo ile kaplanmış tepsinin üzerine tek sıra halinde tepsiye dizilmiştir. Örneklerin elektronik mikrometre (flexbar,15752) ile ölçülen çapları yaklaşık 0.85-0.90 cm civarındadır. Kurutma denemeleri 250, 300, 350, 400 ve 500 W infrared güçlerinde yapılmıştır. Deneyden önce arzu edilen kurutma gücünde kararlı halde çalışması için, kurutucu boş halde 5 dk çalıştırılmıştır.

5.3.2 Numunenin başlangıç nem içeriğinin tespit edilmesi

Başlangıç nem miktarının hesaplanabilmesi için yaban mersini örneklerinden 25 g numune alınarak, tepsiye tek sıra halinde olacak şekilde dizilmiştir. Örneğin, 100°C sıcaklığa ayarlanan etüv içerisinde 24 saat sonunda sabit tartıma geldikten sonraki kütlesi ve kurutma işleminden önceki kütlesi arasındaki farktan yararlanarak yüzde nem miktarı tespit edilmiştir. Bu işlem sonucunda yaban mersini numunelerinin başlangıç nem miktarı %95 olarak ölçülmüştür.

5.3.3 Numunenin kuruma zamanı ve hızının tespit edilmesi

Kuruma zamanı, yaban mersisini örneklerinin başlangıç nem miktarından yaklaşık olarak %10($\pm$ 1) nem miktarına denk gelinceye kadar geçen zaman olarak belirlenmiştir.

Bu çalışmada yaban mersini örneklerinden 25-125 g alınarak 250, 300, 350, 400 ve 500 W olmak üzere beş farklı infrared güçlerinde kurutma işlemi gerçekleştirilmiştir. Numunelerin nem oranlarının %10 değerine kadar kurutulması, tartım kaydının ise 5 dakika aralıklarla yapılmasına özen gösterilmiştir.

5.3.4. Renk değişimlerinin belirlenmesi

Kullanılan kurutma yönteminin yaban mersini örnekleri üzerindeki renk değişimine etkisini incelemek için taze ve 250, 300, 350, 400 ve 500 W infrared kurutucu güçlerinde kurutulmuş örneklerin renk değişim parametreleri Konica Minolta CR-400 markalı ölçüm cihazı ile belirlenmiştir. Ölçüm esnasında bütün numunenin renk değişimi dikkate alınarak renk ölçümü yedi farklı noktadan yapılmış ve elde edilen değerlerin ortalaması alınmıştır.

5.3.5. Rehidrasyon kapasitesinin belirlenmesi

İnfrared ışıyım ile kurutma yönteminin kuru yaban mersini rehidrasyon kapasitesi üzerine olan etkisini incelemek için 250, 300, 350, 400, 450, 500 W infrared çıkış güçlerinde kurutulmuş yaban mersini örnekleri soğutulduktan sonra 10' ar gram tartılarak su banyosunda, 100 ml 60°C deki distile suda 5'er dakika bekletilip soğuk distile sudan geçirilerek iyice süzölmüştür. Daha sonra kurutulmuş örnekler tarafından absorplanan su miktarları tartılarak belirlenmiştir.

5.4 Deneysel Veriler

5.4.1 Nem içeriğinin hesaplanması

Yaban mersini numunelerinin kuruma işlemi esnasındaki nemi Denklem (5.1) ile hesaplanarak bulunmuştur (Apar, Dadalı ve Özbek,2007).

$$M_t = \frac{m_t - m_d}{m_d} \quad (5.1)$$

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

m_t : t anındaki numunenin kütlesi (g)

m_d : numunenin içerdiği kuru madde kütlesi (g).

5.4.2 Kuruma hızının hesaplanması

Numunenin kuruma hızları Denklem (5.2) ile bulunmuştur.

$$DR = \frac{M_{t+dt} - M_t}{dt} \quad (5.2)$$

DR: kuruma hızı (g su/ g kuru madde dk)

M_{t+dt} : t+dt anındaki nem miktarı

M_t : t anındaki nem miktarı

dt : zaman aralığı(dk) dır.

5.4.3 Nem oranlarının hesaplanması

Boyutsuz nem oranları Denklem (5.3) ile bulunmuştur (Doymaz,2007).

$$MR = \frac{M_t - M_e}{M_0 - M_e} \quad (5.3)$$

MR: boyutsuz nem oranı

M_t : t anındaki nem miktarı (g su / g kuru madde)

M_e : denge anındaki nemiçeriği (g su / g kuru madde)

M_0 : başlangıçtaki nem içeriği (g su / g kuru madde) dir.

5.4.4 Rehidrasyon kapasitesinin hesaplanması

Yaban mersini meyve numunelerinin Rehidrasyon kapasitesi Denklem (5.4) ile hesaplanmıştır (Doymaz,2008; Kocabıyık ve Tezer 2009).

$$R_k = \frac{m_{rehid}}{m_{kuru}} \quad (5.4)$$

Burada;

RK: rehidrasyon kapasitesi

m_{rehid} : rehidrasyon sonrası ürünün miktarı (g)

m_{kuru} : numunedeki kuru maddenin kütlesi (g) dir.

5.5 Teorik hesaplamalar

Difüzyon teorisine göre katının iç kısımlarındaki nemin yüzeye hareketi katı içi difüzyonla gerçekleşir. Birinci Fick yasası madde içerisinde difüze olan maddenin yerel konsantrasyonunun zamanla birlikte azalmasını göz önüne almaz. Bu tür durumlarda difüzyonu ifade etmek için ikinci Fick yasası kullanılır. İkinci Fick yasası bir materyal içerisinde difüze olan maddenin konsantrasyonunun zamanla değişiminin yerel difüzyon akısındaki değişime eşit olduğunu ifade eder. Difüzyon modeli kütle transferinin yalnızca moleküler difüzyonla gerçekleştiği kabulüne dayanır. Bununla birlikte genellikle kütle transferi için başka mekanizmalar da önemli rol oynar. Bu durumda diğer transfer mekanizmalarının etkilerinin de difüzyon katsayısı içinde yer alacağı göz önünde bulundurulmalıdır. Böylece difüzyon katsayısı Denklem (5.5)' te gösterildiği gibi efektif bir parametre halinde ifade edilmelidir (Uysal, 2003).

$$\frac{\partial M}{\partial t} = d_{eff} \nabla^2 M \quad (5.5)$$

Difüzyon katsayısını belirlemek için aşağıda verilen Denklem (5.6)' dan yararlanılmıştır. Bu denklem küresel koordinatlarda bir boyutlu Fick'in ikinci difüzyon yasasının matematiksel ifadesidir (Uysal,2003).

$$\frac{\partial M}{\partial t} = D_{eff} \frac{\partial^2 M}{\partial r^2} \quad (5.6)$$

Difüzyon denkleminin birkaç basit geometrik şekiller için çözümü aşağıda gösterilen ilkeler kabul edilerek hesaplanmıştır.

-Numunenin başlangıç nem dağılımı numune boyunca değişmez.

-Kütle aktarımına karşı görülen dış direnç bu difüzyonda iç direncin yanında ($Bi \gg 1$) ihmal edilebilir.

- Difüzyon katsayısı değişmez, büzülme ise ihmal edilebilir (Soysal, Öztekin ve Eren, 2006; Dadalı, Demirhan ve Özbek, 2007; Demirhan ve Özbek, 2010; Sarimeseli, 2011).

Değişkenlerine ayırma yöntemi kullanılarak küresel koordinatlar için aşağıdaki denklemler bulunur (Crank, 1975).

$$MR = \frac{M_t - M_e}{M_0 - M_e} = \frac{M_t}{M_0} = \frac{6}{\pi^2} \sum_{n=0}^{\infty} \exp\left(-\frac{n^2 \pi^2 D_{eff}}{r_0^2} t\right) \quad (5.7)$$

$$MR = \frac{6}{\pi^2} \exp\left(-\frac{\pi^2 D_{eff}}{r_0^2} t\right) \quad (5.8)$$

$$\ln(MR) = \ln\left(\frac{6}{\pi^2}\right) - \left(\frac{\pi^2 D_{eff}}{r_0^2} t\right) \quad (5.9)$$

Burada;

D_{eff} : efektif difüzyon katsayısı (m^2/s)

MR: boyutsuz nem oranı

M_t : t anındaki nem miktarı (g su / g kuru madde)

M_e : denge anındaki nemiçeriği (g su / g kuru madde)

M_0 : başlangıçtaki nem içeriği (g su / g kuru madde) dir.

n: katsayı

r_0 : radius (m)

t: kuruma zamanı (s) olarak belirtilmiştir.

5.5.1 Kinetik modeller

- **Page modeli**

Bu model özellikle gıda maddelerinin kuruma kinetiğinin bulunmasında en sık test edilen modellerden biridir (Dadalı, Demirhan ve Özbek, 2007; Apar, Dadalı ve Özbek, 2007; Doymaz 2008). Modelin matematiksel ifadesi aşağıda verilmiştir:

$$MR = \exp(-kt^n) \quad (5.10)$$

Burada;

k: kinetik sabit (dk^{-1})

t: kuruma süresi (dk)

n: Page modeline ait bir katsayıdır.

• Logaritmik model

Kurutma kinetiğinde kullanılan Logaritmik model Denklem (5.11)' de gösterilmiştir (Dadalı, Demirhan ve Özbek, 2007; Doymaz, 2008).

$$MR = a \cdot \exp(-k \cdot t) + b \quad (5.11)$$

Burada;

a, b: katsayılar (dk^{-1})

k: kinetik sabit (dk^{-1})

t: kuruma zamanı (dk) dır.

• Midilli ve ark. modeli

Bu model, Denklem (5.12) ile ifade edilmiştir (Dadalı, Demirhan ve Özbek, 2007; Doymaz ve Pala, 2002).

$$MR = a \cdot \exp(-k \cdot t^n) + b \cdot t \quad (5.12)$$

Burada;

a, b, n: katsayılar

k: kinetik sabit (dk^{-1})

t: kuruma zamanı (dk)

• Newton modeli

Bu model, Denklem (5.13) ile ifade edilmiştir (Dadalı, Demirhan ve Özbek, 2007)

$$MR = \exp(-k \cdot t) \quad (5.13)$$

Bu denklemde; k: kinetik sabit (dk^{-1})

t: kuruma zamanı (dk) dır.

- **Wang-Singh modeli**

Wang-Singh modeli için, Denklem (5.14) verilmiştir (Dadalı, Demirhan ve Özbek, 2007; Dadalı ve Özbek 2008).

$$MR = 1 + a \cdot t + b \cdot t^2 \quad (5.14)$$

Bu denklemde;

a, b: katsayılar

t: kuruma zamanı (dk) dır.

- **Henderson and Pabis modeli**

Bu model için, Denklem (5.15) gösterilmiştir. (Dadalı, Demirhan ve Özbek, 2007; Dadalı ve Özbek, 2008; Apar, Dadalı ve Özbek, 2007).

$$MR = a \cdot \exp(-k \cdot t) \quad (5.15)$$

Bu denklemde;

a: katsayı

k: kinetik sabit (dk^{-1})

t: kuruma zamanı (dk)dır.

- **Verma modeli**

Bu modele ait denklem, Denklem (5.16) ile ifade edilmiştir. (Dadalı, Demirhan ve Özbek, 2007; Arslan ve Özcan, 2011)

$$MR = a \cdot \exp(-k \cdot t) + (1 - a) \cdot \exp(-g \cdot t) \quad (5.16)$$

Bu denklemde;

a, g: katsayılar

k: kinetik sabit (dk^{-1})

t: kuruma zamanı (dk)dır.

- **Difüzyon yaklaşımı modeli**

Bu model için, Denklem (5.17) verilmiştir (Arslan ve Özcan, 2011).

$$MR = a \cdot \exp(-k \cdot t) + (1 - a) \cdot \exp(-k \cdot b \cdot t) \quad (5.17)$$

Bu denklemde;

a, b: katsayılar

k: kinetik sabit (dk^{-1})

t: kuruma zamanı (dk) dır.

5.5.1.1 Regresyon analizleri

Regresyon analizleri Microsoft Office Excel programının çözücü (solver) eklentisi ile hesaplanmıştır. Bu analiz ile belirleme katsayısı (R^2) numune kuruma eğrilerini ifade eden denklemleri belirlemek için baz olarak seçilmiştir. Tahminin standart hatası (RMSE) ile ki kare (χ^2) değerleri ile seçilen modelin uygunluğu tespit edilmiştir. En düşük RMSE ve χ^2 ile en yüksek R^2 değerleri numunenin kuruma prensibini ifade eden modelin en iyisi olduğu bulunur (Onin, 2012). Denklem 5.18 ve Denklem 5.19 kullanılarak RMSE ile χ^2 değerleri tespit edilmiştir (Doymaz, 2008).

$$RMSE = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^N (MR_{tah} - MR_{den})^2}{N}} \quad (5.18)$$

$$\chi^2 = \frac{\sum_{i=1}^N (MR_{den} - MR_{tah})^2}{N - P} \quad (5.19)$$

Denklem 5.18 ve Denklem 5.19'de;

RMSE: tahminin standart hatası

χ^2 : Ki-kare

MR_{den} : deneysel nem oranı değeri

MR_{tah} : tahmin edilen nem oranı değeri

N: deneysel veri sayısı

P: kullanılan parametre sayısı' dır.

6. ARAŞTIRMA BULGULARI VE TARTIŞMA

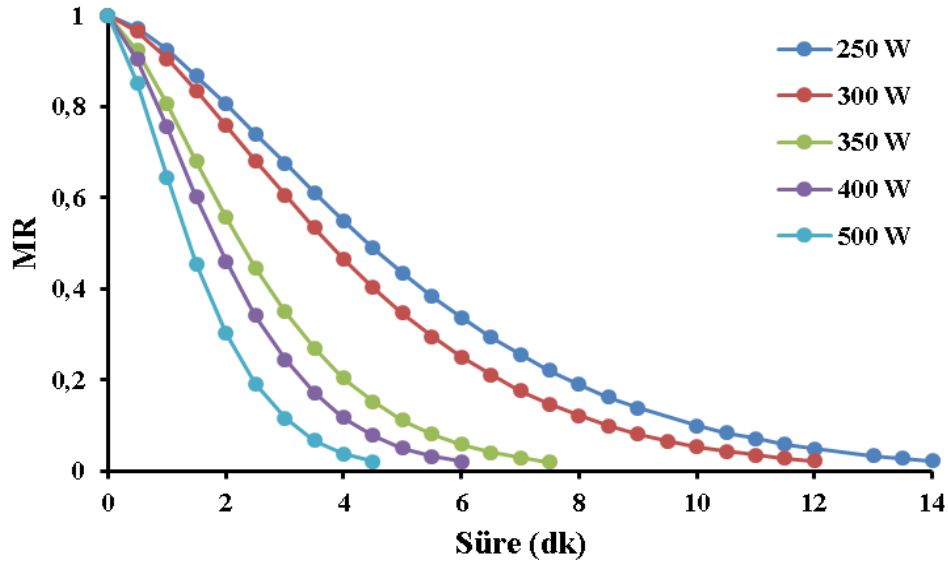
6.1 Kuruma zamanı

Yaban mersini numunelerinin 250, 300, 350, 400 ve 500 W infrared güçlerinde %95 başlangıç nem içeriğinden yaklaşık olarak %10 son nem içerğine ulaşana kadar kaydedilen kuruma zamanı sırası ile 275, 235, 185, 135, 106, 86, 67 ve 50 dk olarak tespit edilmiştir. İnfrared ısısı ile yapılan kurutmada kurutma gücü arttıkça kuruma hızının arttığı görülmüştür. Öte yandan madde miktarının artması ise kuruma süresini uzatmıştır. Numunelerin kuruma sürelerinin 50-275 dk arasında farklılık gösterdiği görülmüştür. Yapılan deneyler sonucunda infrared gücü arttıkça kuruma hızında da artış yaşandığı belirlenmiştir. Kurutma işlemi sırasında kısa süren bir ısınma periyodunu takip eden azalan kurutma hızı periyodu gözlemlenmiştir. İnfrared gücünün artmasıyla birlikte efektif difüzyon katsayısında da artış gözlenir. 250-500 W aralıkları için sırasıyla 25, 50, 75, 100, 125 g için $2.60 \times 10^{-8} - 8.30 \times 10^{-8} \text{ m}^2/\text{s}$, $2.23 \times 10^{-8} - 6.32 \times 10^{-8} \text{ m}^2/\text{s}$, $1.88 \times 10^{-8} - 4.44 \times 10^{-8} \text{ m}^2/\text{s}$, $1.53 \times 10^{-8} - 3.30 \times 10^{-8} \text{ m}^2/\text{s}$, $1.36783 \times 10^{-8} - 2.73 \times 10^{-8} \text{ m}^2/\text{s}$ aralığında olduğu bulunmuştur.

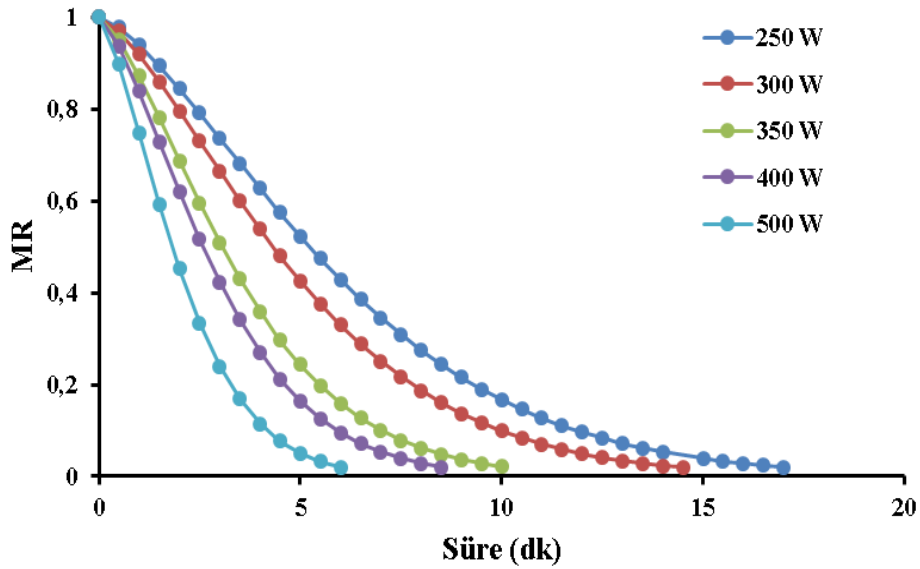
Benzer şekilde Pavkov Ivan ve arkadaşları (Pavkov ve Ark. 2019), yaban mersini örneklerini sıcak havalı bir kurutucuda 60-80 °C aralığında kurutmuşlar ve kuruma sıcaklığı arttıkça kuruma süresinin azaldığını bulmuşlardır. Bununla birlikte kullandıkları sıcaklık aralığında yaklaşık olarak 10-30 saat arasında değişen kurutma süreleri kaydetmişlerdir. Buradan görüleceği üzere infrared kurutma sayesinde konvektif kurutmaya kıyasla kuruma süresi açısından önemli ölçüde avantaj elde edilmiştir. Benzer şekilde Bani, kızılılık için infrared gücü arttıkça numunelerin kuruma süresinin azaldığını ve dolayısıyla da kuruma hızında artış tespit etmiştir (Bani, 2014). Nasıroğlu ise pırasa, elma ve kırmızıbiber için (Nasıroğlu, 2007), Onin; çilek, kırmızıbiber, yeşilbiber ve maydanoz için infrared gücünün veya infrared yoğunluğunun artmasıyla kuruma süresinin azaldığını tespit etmişlerdir (Onin, 2012).

Nem Oranının Değişimi

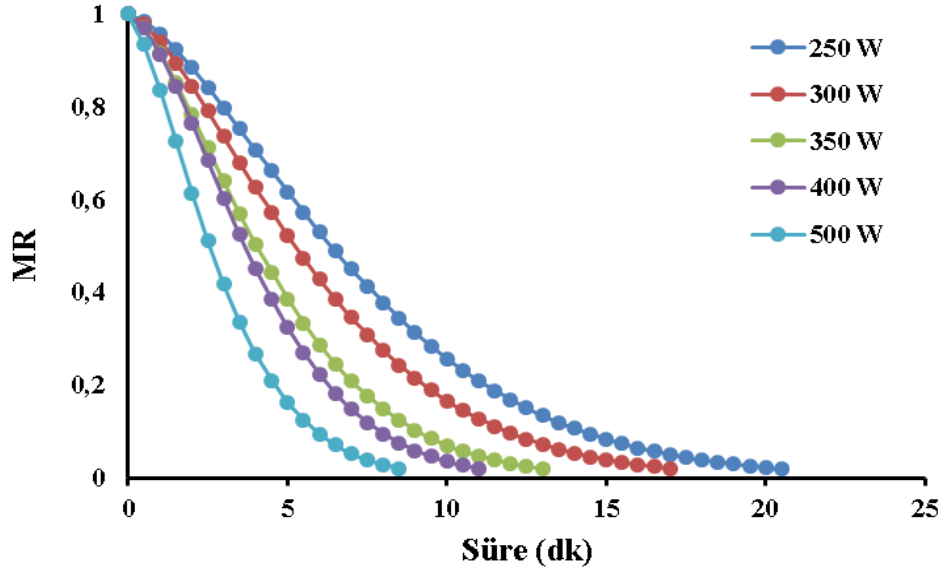
Bu çalışma kapsamında materyal olarak seçilen yaban mersini numunelerinin nem oranları Denklem (5.3) ile bulunmuştur. Boyutsuz nem oranı değerlerine karşı kuruma süreleri Şekil 6.1-6.5’de gösterilmektedir.



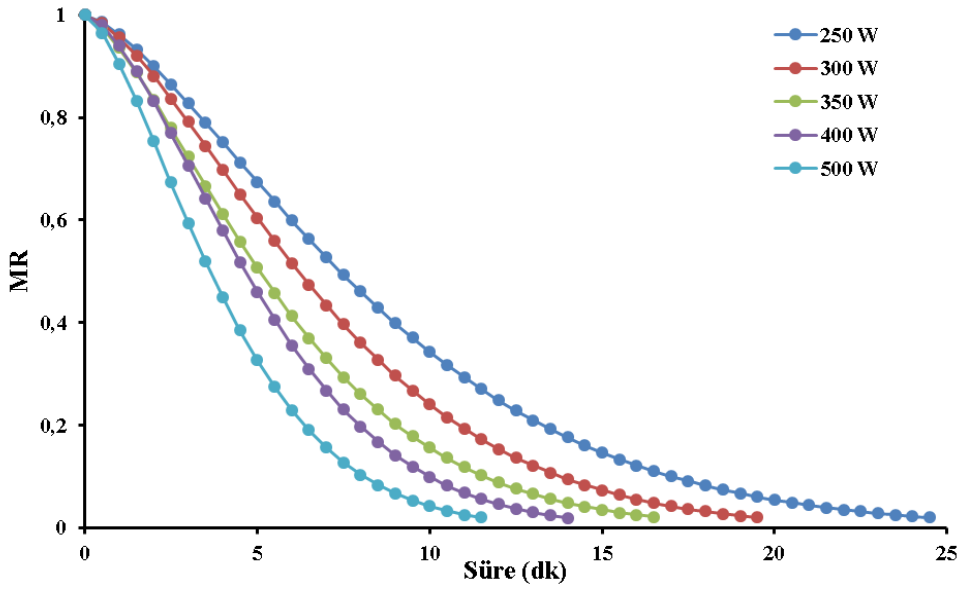
Şekil 6.1: 25 g yaban mersini meyvesinin farklı infrared kurutma güçlerinde boyutsuz nem oranının kuruma süresi ile değişimi



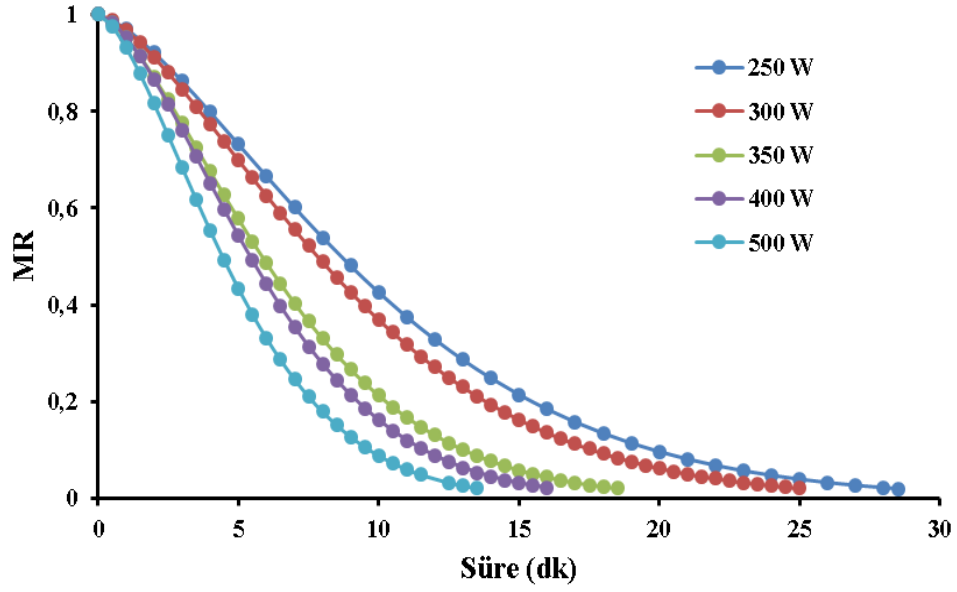
Şekil 6.2: 50 g yaban mersini meyvesinin farklı infrared kurutma güçlerinde boyutsuz nem oranının kuruma süresi ile değişimi



Şekil 6.3: 75 g yaban mersini meyvesinin farklı infrared kurutma güçlerinde boyutsuz nem oranının kuruma süresi ile değişimi



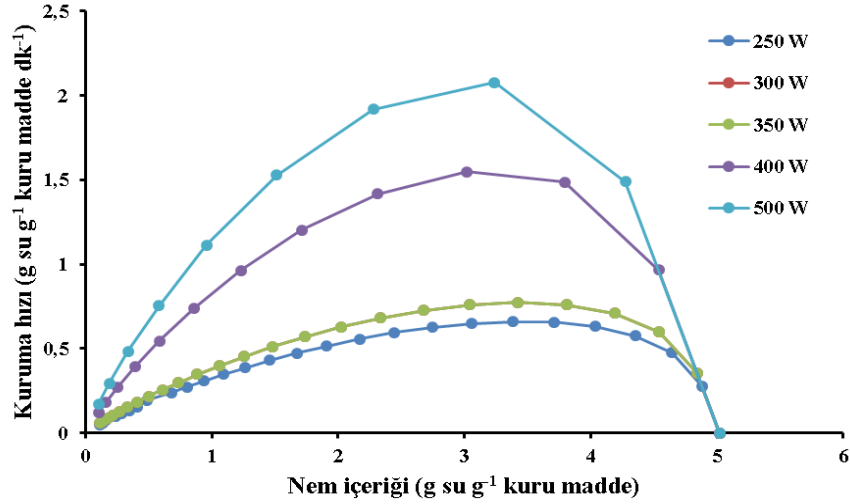
Şekil 6.4: 100 g yaban mersini meyvesinin farklı infrared kurutma güçlerinde boyutsuz nem oranının kuruma süresi ile değişimi



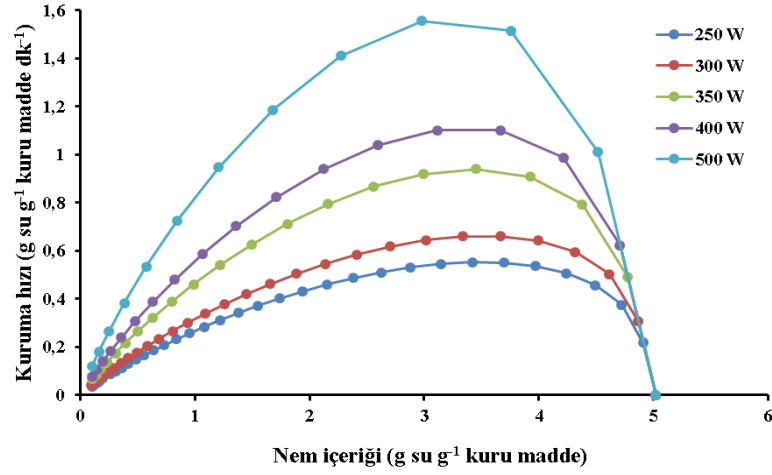
Şekil 6.5: 125 g yaban mersini meyvesinin farklı infrared kurutma güçlerinde boyutsuz nem oranının kuruma süresi ile değişimi

Şekil 6.1- 6.5 incelendiğinde farklı ağırlıktaki yaban mersini numunelerinin nem miktarının giderek azalması infrared kurutma gücünün artışı ile doğru orantılı olduğu görülmüştür.

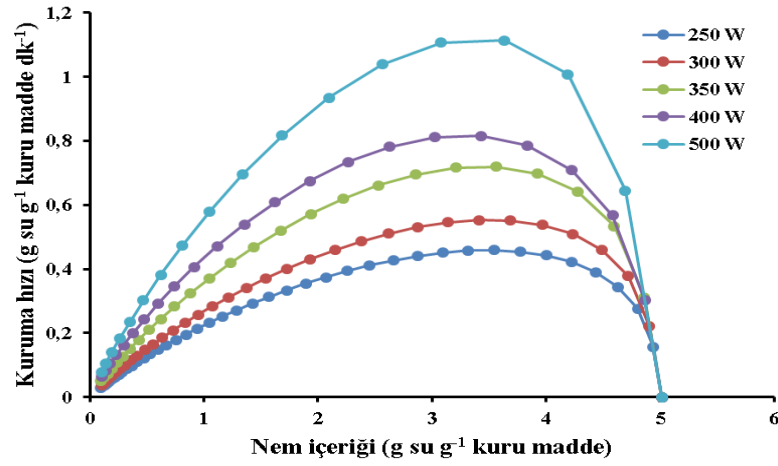
6.2 Kuruma Hızındaki Değişimler



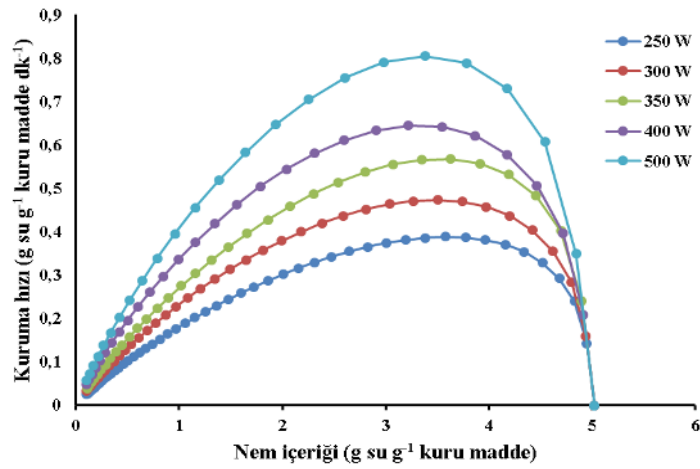
Şekil 6.6: Farklı infrared kurutma güçlerinde 25 g yaban mersini meyvesinin kuruma hızının nem içeriği ile değişimi



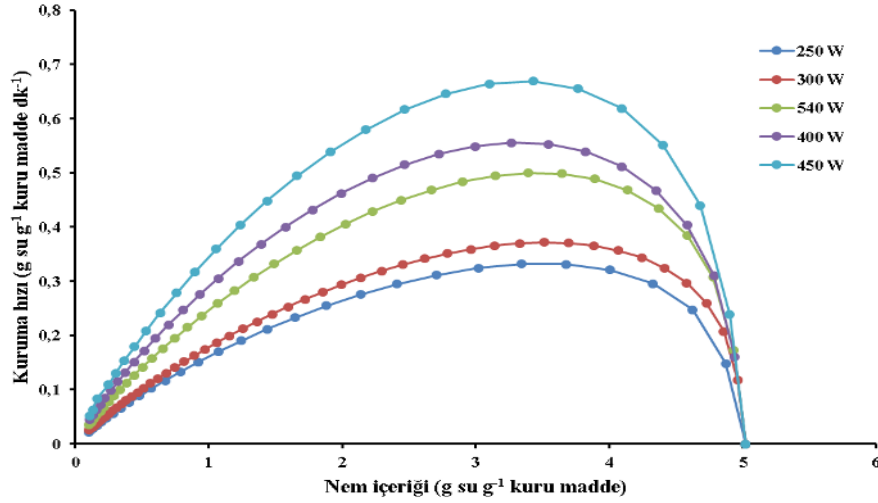
Şekil 6.7: Farklı infrared kurutma güçlerinde 50 g yaban mersini meyvesinin kuruma hızının nem içeriği ile değişimi



Şekil 6.8: Farklı infrared kurutma güçlerinde 75 g yaban mersini meyvesinin kuruma hızının nem içeriği ile değişimi



Şekil 6.9: Farklı infrared kurutma güçlerinde 100 g yaban mersini meyvesinin kuruma hızının nem içeriği ile değişimi



Şekil 6.10: Farklı infrared kurutma güçlerinde 125 g yaban mersini meyvesinin kuruma hızının nem içeriği ile değişimi

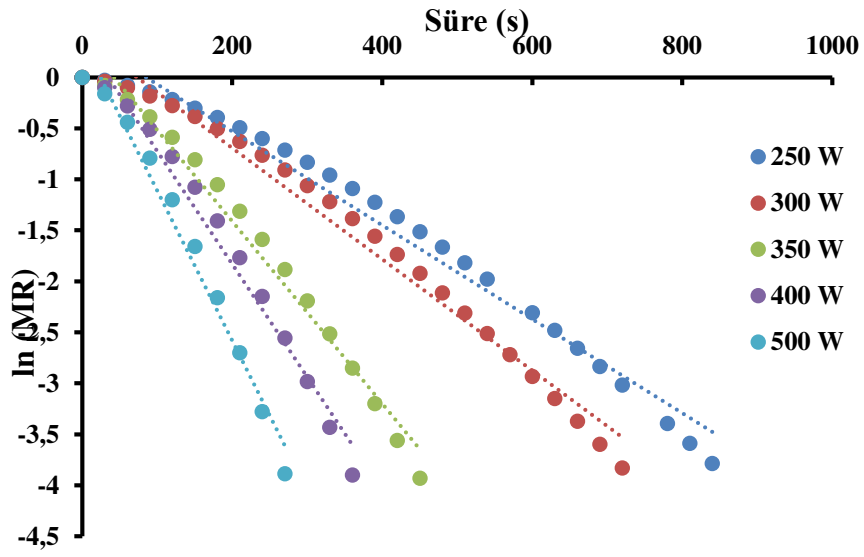
Yaban mersini numunelerini farklı infrared güçlerinde kurutuma işlemi sırasında Şekil 6.6-6.10 incelendiğinde kısa süren bir ısınma periyodunun ardından sabit kuruma hızını takip eden azalan hızda kuruma periyodu görülmüştür. Sabit kuruma periyodunun uzunluğunun ise infrared gücünün artması ile giderek azalmıştır. Örnek ağırlığının artması ise kuruma hızında azalmayla sonuçlanmıştır.

6.3 Teorik Hesaplamalar

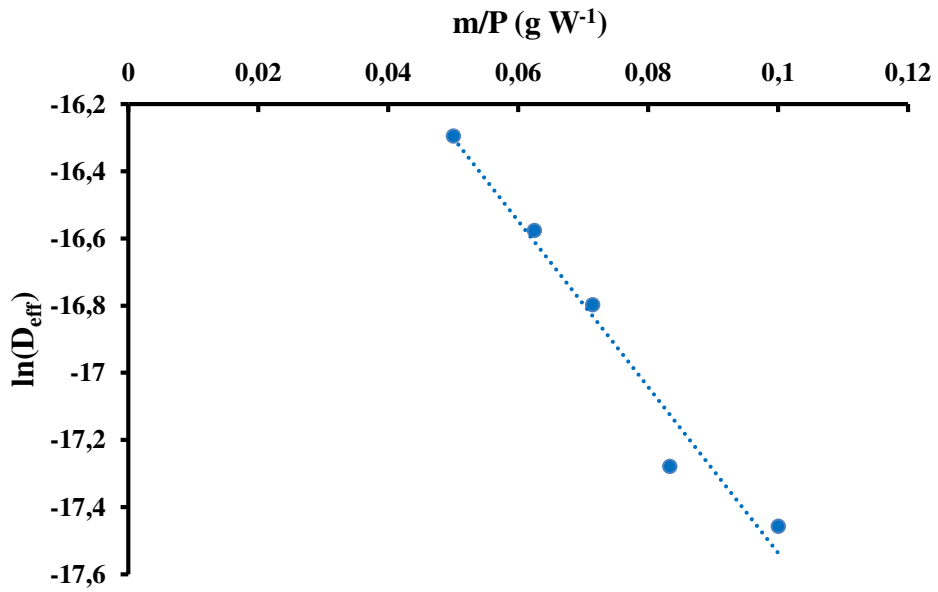
6.3.1 Difüzyon Teorisi

Efektif difüzyon katsayısı, yaban mersini numunelerinin 250-500 W infrared kurutma güçlerinde kurutulmaları esnasında Denklem (5.9)'da verilen doğrusal denklemin eğiminden hesaplanmaktadır.

6.3.1.1 Efektif Difüzyon Katsayıları

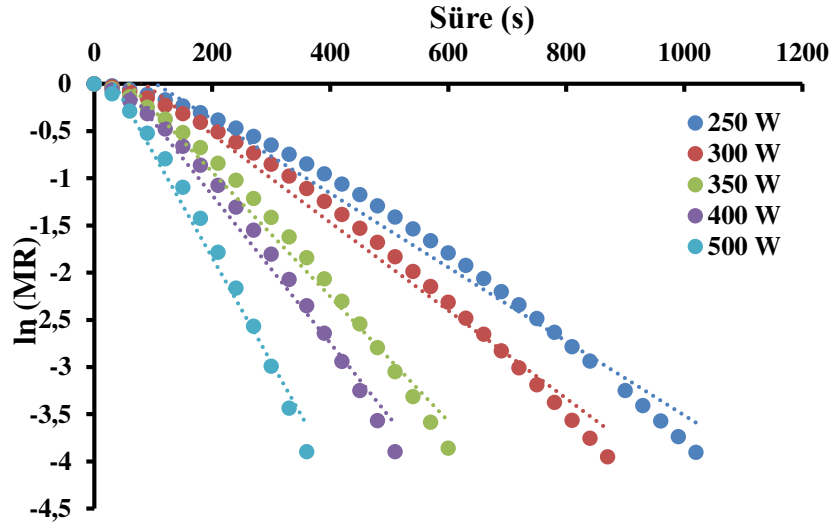


(a)

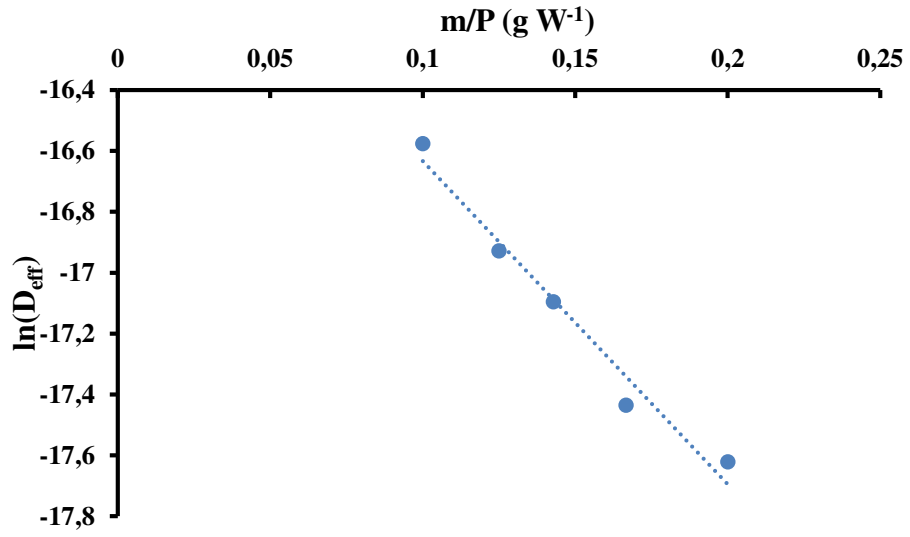


(b)

Şekil 6.11: 25 g yaban mersini meyvesinin farklı infrared kurutma güçlerinde (a) $\ln(MR)$ değerlerinin kuruma süresi ile değişimi (b) m/P oranı ile $\ln(D_{eff})$ ile değişimi

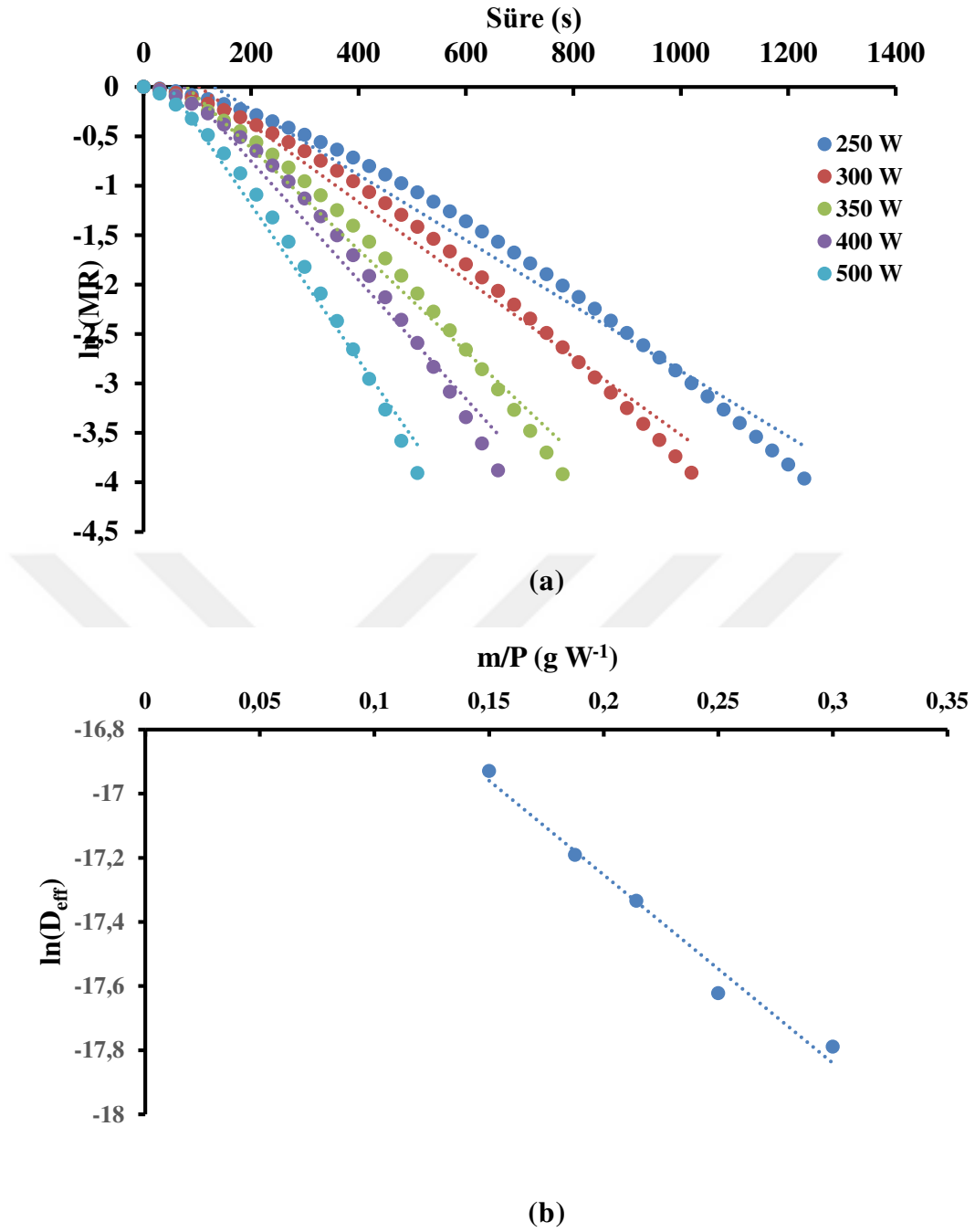


(a)

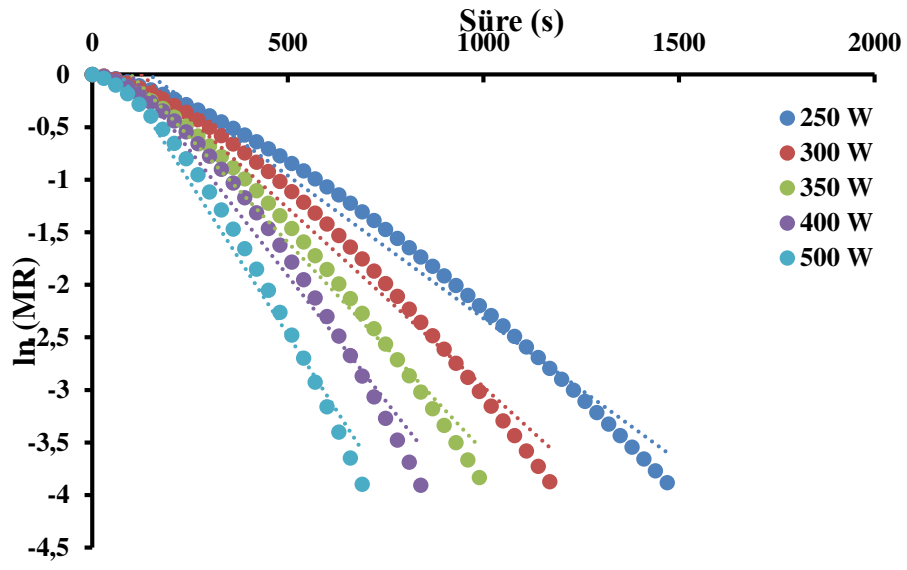


(b)

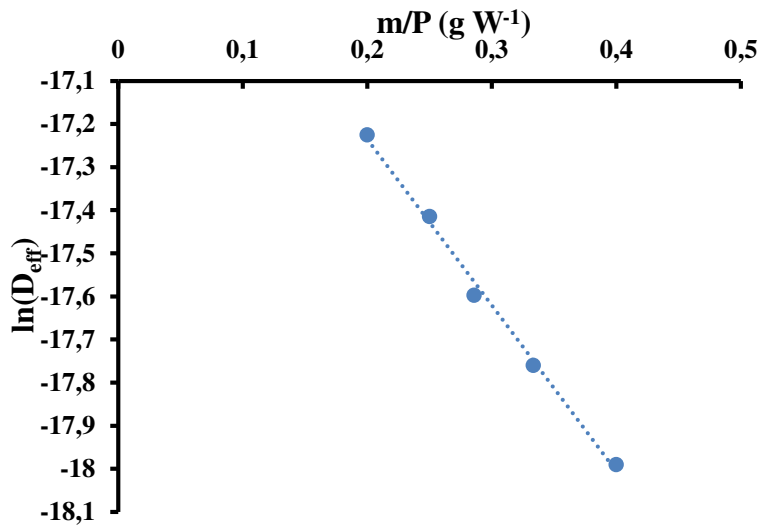
Şekil 6.12: 50 g yaban mersini meyvesinin farklı infrared kurutma güçlerinde (a) $\ln(MR)$ değerlerinin kuruma süresi ile değişimi (b) m/P oranı ile $\ln(D_{eff})$ ile değişimi



Şekil 6.13: 75 g yaban mersini meyvesinin farklı infrared kurutma güçlerinde (a) $\ln(MR)$ değerlerinin kuruma süresi ile değişimi (b) m/P oranı ile $\ln(D_{eff})$ ile değişimi

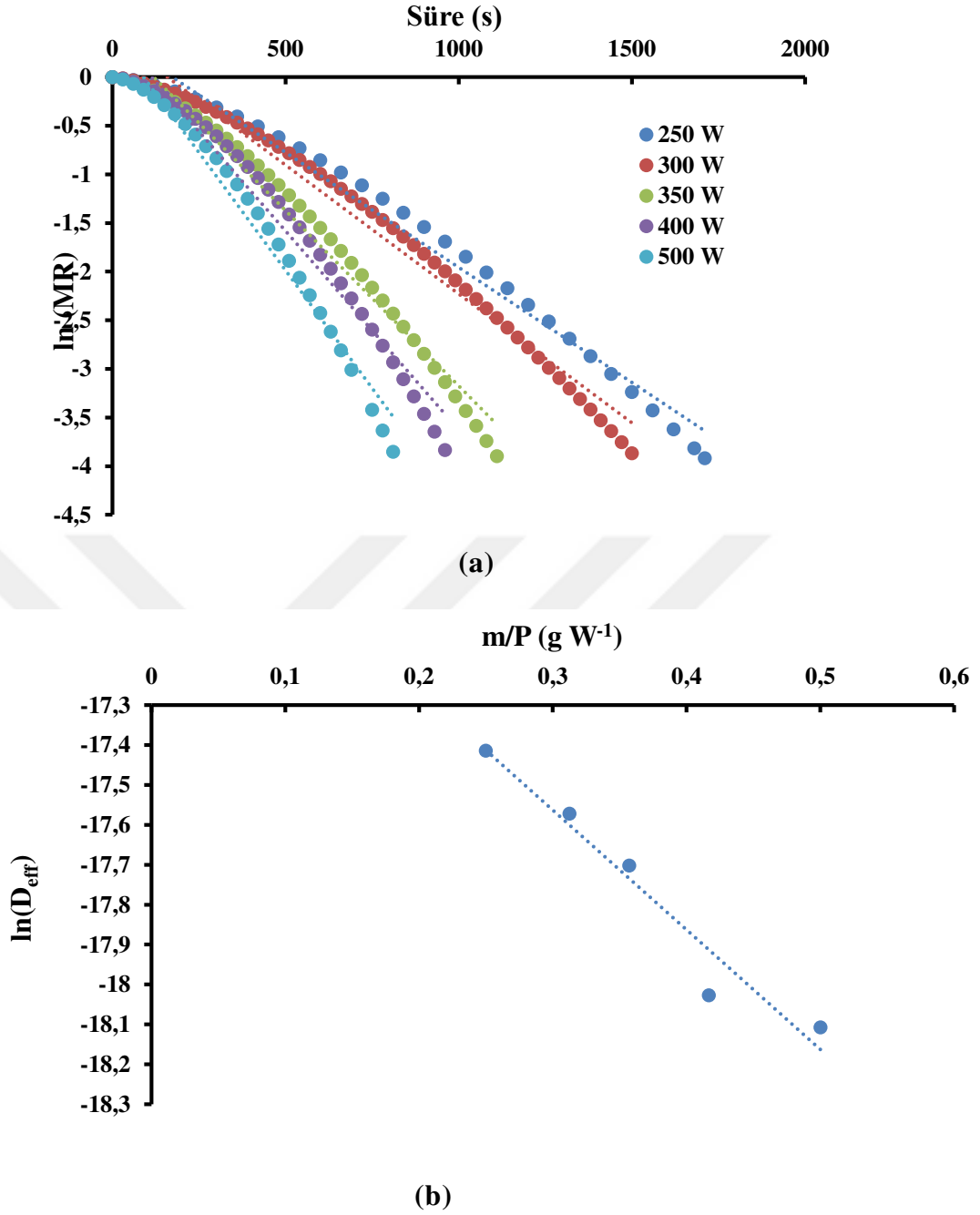


(a)



(b)

Şekil 6.14: 100 g yaban mersini meyvesinin farklı infrared kurutma güçlerinde (a) $\ln(MR)$ değerlerinin kuruma süresi ile değişimi (b) m/P oranı ile $\ln(D_{eff})$ ile değişimi



Şekil 6.15: 125 g yaban mersini meyvesinin farklı infrared kurutma güçlerinde (a) $\ln(MR)$ değerlerinin kuruma süresi ile değişimi (b) m/P oranı ile $\ln(D_{eff})$ ile değişimi

Çizelge 6.1: 25 g yaban mersini numunelerinin farklı infrared kurutma güçlerinde hesaplanan D_{eff} değeri

Infrared gücü(w)	Eğim	D_{eff} (m ² /s)	R ²
250	0.04	2.6×10^{-8}	0.97
300	0.05	3.1×10^{-8}	0.97
350	0.08	5.07×10^{-8}	0.98
400	0.11	6.3×10^{-8}	0.97
500	0.14	8.3×10^{-8}	0.97

Çizelge 6.2: 50 g yaban mersini numunelerinin farklı infrared kurutma güçlerinde hesaplanan D_{eff} değeri

Infrared gücü(w)	Eğim	$D_{eff} (m^2 /s)$	R^2
250	0.04	2.22×10^{-8}	0.97
300	0.04	2.67×10^{-8}	0.98
350	0.06	3.76×10^{-8}	0.98
400	0.07	4.44×10^{-8}	0.98
500	0.11	6.32×10^{-8}	0.97

Çizelge 6.3: 75 g yaban mersini numunelerinin farklı infrared kurutma güçlerinde hesaplanan D_{eff} değerleri

Infrared gücü(w)	Eğim	$D_{eff} (m^2 /s)$	R^2
250	0.03	1.88×10^{-8}	0.98
300	0.04	2.22×10^{-8}	0.98
350	0.05	2.96×10^{-8}	0.97
400	0.06	3.41×10^{-8}	0.97
500	0.07	4.44×10^{-8}	0.98

Çizelge 6.4: 100 g yaban mersini numunelerinin farklı infrared kurutma güçlerinde hesaplanan D_{eff} değerleri

Infrared gücü(w)	Eğim	$D_{eff} (m^2 /sn)$	R^2
250	0.02	1.53×10^{-8}	0.9827
300	0.03	1.93×10^{-8}	0.9782
350	0.04	2.28×10^{-8}	0.9816
400	0.04	2.73×10^{-8}	0.9723
500	0.05	3.31×10^{-8}	0.9773

Çizelge 6.5: 125 g yaban mersini numunelerinin farklı infrared kurutma güçlerinde hesaplanan D_{eff} değerleri

Infrared gücü(w)	Eğim	$D_{eff} (m^2 /s)$	R^2
250	0.02	1.36×10^{-8}	0.98
300	0.02	1.48×10^{-8}	0.98
350	0.03	2.051×10^{-8}	0.97
400	0.04	2.33×10^{-8}	0.96
500	0.05	2.73×10^{-8}	0.97

Çizelge 6.1, 6.2, 6.3, 6.4 ve 6.5’ ten görüldüğü gibi 250, 300, 350, 400 ve 500 W olmak üzere 5 farklı infared gücünde D_{eff} değerleri kaydedilmiştir. İnfrared güçlerinin artması ile D_{eff} değerinin de arttığı tespit edilmiştir. Bunun sebebi şöyle açıklanabilir. İnfrared kurutma gücü arttıkça gıda maddesi içinde absorplanan ısısında artması ile birlikte kütle aktarımının artması ve kuruma zamanının kısalması diyebiliriz. Düşük infrared güçleri için efektif difüzyon katsayılarının daha düşük olmasının sebebi ise numunelerin kuruma zamanının artması ile birlikte kütle aktarımının yavaşlamasıdır. Doymaz, bezelye numuneleri için 50 ve 70°C arasında

ölçtüğü D_{eff} değerinin 2.641×10^{-9} - 5.711×10^{-9} m²/s arasında olduğunu hesaplamıştır. Bunun sonucunda D_{eff} değerinin sıcaklık birlikte arttığını bulmuştur (Doymaz, 2005). Onin, çilek, kırmızıbiber ve yeşilbiber için yaptığı çalışmada efektif difüzyon katsayılarının infrared kurutma gücünün artması ile birlikte D_{eff} değerlerinin 3.126×10^{-11} - 6.212×10^{-10} m²/s aralığında olduğunu hesaplamıştır (Onin, 2012). Banı çalışmasında infrared kurutma güçlerinin artmasıyla birlikte D_{eff} değerlerinin arttığını belirtmiştir. Bu değerlerin 9.93×10^{-11} ve 5.39×10^{-10} m²/s arasında değiştiğini bulmuştur (Banı, 2014).

6.3.1.2 Kinetik modeller

Infrared metodu ile yaban mersini numunelerinin 250-500 W infrared güçlerinde kurutulması ile bulunan nem oranı değerlerinin kuruma süresi ile değişimini veren deneysel veriler, literatürde en sık kullanılan 8 kurutma modeli ile modelleme yapılmıştır. Matematiksel modellemeler ile istatistiksel veriler sırasıyla Çizelge 6.2-6.11’de verilmiştir.

Çizelge 6.6: 25 g için farklı infrared kurutma güçlerinde kuruma hızının hesaplanmasında deneysel verilerin Page modeli ile kıyaslaması ve istatistiksel analiz

Güç(W)	Model değişkenleri ve sabitleri		R^2	χ^2	RMSE
	k	n			
250	0.0781	1.4700	0.99	1.06×10^{-11}	3.13×10^{-6}
300	0.0999	1.4670	0.98	1.45×10^{-12}	1.13×10^{-6}
350	0.2159	1.4400	0.95	9.30×10^{-13}	8.95×10^{-7}
400	0.2799	1.4700	0.96	4.39×10^{-13}	6.09×10^{-7}
500	0.4389	1.4500	0.99	4.34×10^{-15}	5.882×10^{-8}

Çizelge 6.7: 50 g için için farklı infrared kurutma güçlerinde kuruma hızının hesaplanmasında deneysel verilerin Page modeli ile kıyaslaması ve istatistiksel analiz

Güç(W)	Model değişkenleri ve sabitleri		R^2	χ^2	RMSE
	k	n			
250	0.0609	1.4679	0.99	1.37×10^{-12}	1.13×10^{-6}
300	0.0839	1.4400	0.97	1.84×10^{-11}	4.15×10^{-6}
350	0.1369	1.4500	0.95	1.30×10^{-12}	1.08×10^{-6}
400	0.1749	1.4500	0.95	1.45×10^{-11}	1.26×10^{-6}
500	0.2899	1.4500	0.99	4.96×10^{-13}	6.48×10^{-7}

Çizelge 6.8: 75 g için farklı infrared kurutma güçlerinde kuruma hızının hesaplanmasında deneysel verilerin Page modeli ile kıyaslaması ve istatistiksel analiz

Güç(W)	Model değişkenleri ve sabitleri		R ²	χ^2	RMSE
	k	n			
250	0.0439	1.4900	0.98	1.14×10^{-11}	3.30×10^{-6}
300	0.0614	1.4649	0.99	9.93×10^{-13}	9.60×10^{-7}
350	0.0879	1.4799	0.97	7.66×10^{-13}	8.42×10^{-7}
400	0.09075	1.5660	0.96	1.40×10^{-11}	3.56×10^{-6}
500	0.17997	1.4380	0.98	8.15×10^{-13}	8.51×10^{-7}

Çizelge 6.9: 100 g için farklı infrared kurutma güçlerinde kuruma hızının hesaplanmasında deneysel verilerin Page modeli ile kıyaslaması ve istatistiksel analiz

Güç(W)	Model değişkenleri ve sabitleri		R ²	χ^2	RMSE
	k	n			
250	0.0387	1.4401	0.96	1.67×10^{-10}	1.27×10^{-5}
300	0.0449	1.5000	0.95	1.14×10^{-10}	1.04×10^{-5}
350	0.0065	1.4489	0.97	1.40×10^{-12}	1.15×10^{-6}
400	0.0619	1.5700	0.98	3.97×10^{-11}	6.08×10^{-6}
500	0.0999	1.5000	0.99	1.16×10^{-11}	3.26×10^{-6}

Çizelge 6.10: 125 g için farklı infrared kurutma güçlerinde kuruma hızının hesaplanmasında deneysel verilerin Page modeli ile kıyaslaması ve istatistiksel analiz

Güç(W)	Model değişkenleri ve sabitleri		R ²	χ^2	RMSE
	k	n			
250	0.0299	1.4544	0.99	1.45×10^{-10}	1.16×10^{-5}
300	0.0329	1.4800	0.98	1.52×10^{-11}	3.83×10^{-6}
350	0.0489	1.5000	0.99	7.07×10^{-11}	8.54×10^{-6}
400	0.0479	1.5800	0.96	5.46×10^{-12}	2.27×10^{-6}
500	0.0699	1.5400	0.98	1.20×10^{-10}	3.34×10^{-6}

Çizelge 6.11: 25 g için farklı infrared kurutma güçlerinde kuruma hızının hesaplanmasında deneysel verilerin Verma modeli ile kıyaslaması ve istatistiksel analiz

Güç(W)	Model değişkenleri ve sabitleri			R ²	χ^2	RMSE
	a	k	g			
250	3.4824	0.3254	0.4523	0.97	6.31×10^{-5}	0.0074
300	1.1555	0.1749	0.6790	0.98	0.07	0.0259
350	4.0860	0.6441	0.8392	0.99	4.66×10^{-5}	0.0661
400	0.3961	-0.5432	0.3773	0.98	0.05	0.0650
500	6.2730	1.1104	1.3086	0.99	5.24×10^{-5}	0.0600

Çizelge 6.12: 50 g için farklı infrared kurutma güçlerinde kuruma hızının hesaplanmasında deneysel verilerin Verma modeli ile kıyaslaması ve istatistiksel analiz

Güç(W)	Model değişkenleri ve sabitleri			R ²	χ^2	RMSE
	a	k	g			
250	1.1555	0.1749	0.6790	0.99	0.07	0.0259
300	2.7509	0.3122	0.4784	0.99	5.70x10 ⁻⁵	0.0071
350	2.5764	-0.7793	1.7643	0.91	0.02	0.1534
400	3.4774	0.5481	0.7561	0.96	5.62x10 ⁻⁵	0.0068
500	-0.0596	-0.3373	0.3868	0.98	0.01	0.0323

Çizelge 6.13: 75 g için farklı infrared kurutma güçlerinde kuruma hızının hesaplanmasında deneysel verilerin Verma modeli ile kıyaslaması ve istatistiksel analiz

Güç(W)	Model değişkenleri ve sabitleri			R ²	χ^2	RMSE
	a	k	g			
250	3.8402	0.2321	0.3134	0.99	7.30x10 ⁻⁵	0.0082
300	3.4480	0.2745	0.3827	0.97	6.17x10 ⁻⁵	0.0074
350	0.9999	0.2010	-0.1300	0.98	0.04	0.0645
400	4.5046	0.4276	0.5577	0.99	0.01	0.0110
500	1.0000	0.3058	0.9824	0.95	0.03	0.0531

Çizelge 6.14: 100 g için farklı infrared kurutma güçlerinde kuruma hızının hesaplanmasında deneysel verilerin Verma modeli ile kıyaslaması ve istatistiksel analiz

Güç(W)	Model değişkenleri ve sabitleri			R ²	χ^2	RMSE
	a	k	g			
250	3.0823	0.1877	0.2726	0.99	4.93x10 ⁻⁵	0.0068
300	3.4762	0.2349	0.3291	0.98	4.93x10 ⁻⁵	0.0068
350	3.4762	0.2349	0.3291	0.99	8.52x10 ⁻⁵	0.0088
400	3.9252	0.3293	0.4484	0.97	0.01	0.0116
500	3.6581	0.4039	0.5547	0.98	8.72x10 ⁻⁵	0.0087

Çizelge 6.15: 125 g için farklı infrared kurutma güçlerinde kuruma hızının hesaplanmasında deneysel verilerin Verma modeli ile kıyaslaması ve istatistiksel analiz

Güç(W)	Model değişkenleri ve sabitleri			R ²	χ^2	RMSE
	a	k	g			
250	1.2401	0.0749	0.3978	0.96	0.08	0.0274
300	2.7865	0.1777	0.2768	0.99	8.20x10 ⁻⁵	0.0087
350	1.3649	-0.1833	0.9910	0.97	0.07	0.0258
400	3.4282	-0.7610	1.5315	0.73	0.08	0.2684
500	3.6420	0.3369	0.4689	0.99	0.01	0.0102

Çizelge 6.16: 25 g için farklı infrared kurutma güçlerinde kuruma hızının hesaplanmasında deneysel verilerin Henderson-Pabis modeli ile kıyaslaması ve istatistiksel analiz

Güç(W)	Model değişkenleri ve sabitleri		R ²	χ^2	RMSE
	a	k			
250	1.1239	0.2031	0.98	0.02	0.0478
300	1.1227	0.2411	0.96	0.02	0.0480
350	1.0999	0.3925	0.97	0.02	0.0478
400	1.0947	0.4763	0.99	0.03	0.0520
500	1.0757	0.6316	0.97	0.03	0.0516

Çizelge 6.17: 50 g için farklı infrared kurutma güçlerinde kuruma hızının hesaplanmasında deneysel verilerin Henderson-Pabis modeli ile kıyaslaması ve istatistiksel analiz

Güç(W)	Model değişkenleri ve sabitleri		R ²	χ^2	RMSE
	a	k			
250	1.1309	0.1732	0.96	0.002	0.0467
300	1.1228	0.2077	0.98	0.002	0.0467
350	1.1133	0.2920	0.97	0.002	0.0473
400	1.107	0.3439	0.95	0.002	0.0481
500	1.0913	0.4808	0.96	0.001	0.0500

Çizelge 6.18: 75 g için farklı infrared kurutma güçlerinde kuruma hızının hesaplanmasında deneysel verilerin Henderson-Pabis modeli ile kıyaslaması ve istatistiksel analiz

Güç(W)	Model değişkenleri ve sabitleri		R ²	χ^2	RMSE
	a	k			
250	1.1411	0.1448	0.98	0.02	0.0480
300	1.1318	0.1741	0.96	0.02	0.0464
350	1.1276	0.2254	0.95	0.02	0.0488
400	1.1356	0.2518	0.97	0.03	0.0575
500	1.1048	0.3466	0.98	0.03	0.0470

Çizelge 6.19: 100 g için farklı infrared kurutma güçlerinde kuruma hızının hesaplanmasında deneysel verilerin Henderson-Pabis modeli ile kıyaslaması ve istatistiksel analiz

Güç(W)	Model değişkenleri ve sabitleri		R ²	χ^2	RMSE
	a	k			
250	1.1338	0.1225	0.97	0.01	0.0431
300	1.1418	0.1489	0.96	0.02	0.0491
350	1.1277	0.1783	0.99	0.02	0.0451
400	1.1462	0.2009	0.95	0.03	0.0564
500	1.1275	0.2507	0.96	0.02	0.0512

Çizelge 6.20: 125 g için farklı infrared kurutma güçlerinde kuruma hızının hesaplanmasında deneysel verilerin Henderson-Pabis modeli ile kıyaslaması ve istatikselsel analiz

Güç(W)	Model değişkenleri ve sabitleri		R ²	χ^2	RMSE
	a	k			
250	1.1258	0.1044	0,97	0.02	0.04
300	1.1424	0.1175	0.96	0.02	0.04
350	1.1407	0.1576	0.98	0.02	0.05
400	1.1515	0.1733	0,95	0.03	0.05
500	1.1377	0.0276	0,96	0.03	0.05

Çizelge 6.21: 25 g farklı infrared kurutma güçlerinde kuruma hızının hesaplanmasında deneysel verilerin Midilli ve ark modeli ile kıyaslaması ve istatikselsel analiz

Güç(W)	Model değişkenleri ve sabitleri				R ²	χ^2	RMSE
	a	b	k	n			
250	1.0483	-0.0109	0.1397	1.0141	0.95	0.01	0.0345
300	1.0934	-0.0229	0.2131	0.8119	0.97	0.02	0.0438
350	1.0032	-0.0002	0.2221	1.4166	0.99	3.77×10^{-6}	0.0016
400	1.0000	-1.09×10^{-5}	0.2799	1.4698	0,99	9.18×10^{-10}	2.53×10^{-5}
500	0.9999	-2.227×10^{-6}	0.4389	1.4499	0.98	1.73×10^{-11}	3.22×10^{-6}

Çizelge 6.22: 50 g için farklı infrared kurutma güçlerinde kuruma hızının hesaplanmasında deneysel verilerin Midilli ve ark modeli ile kıyaslaması ve istatikselsel analiz

Güç(W)	Model değişkenleri ve sabitleri				R ²	χ^2	RMSE
	a	b	k	n			
250	1.1040	-0.0054	0.1437	0.9937	0.96	0.01	0.0346
300	1.0845	-0.0043	0.1575	1.0799	0.97	0.06	0.0241
350	1.0444	-0.0067	0.18724	1.1596	0.98	0.06	0.0228
400	1.0021	-9.60×10^{-5}	0.1839	1.4059	0.99	2.77×10^{-5}	0.0046
500	1.0000	-4.59×10^{-6}	0.2899	1.4499	0.99	2.08×10^{-10}	1.20×10^{-5}

Çizelge 6.23: 75 g farklı infrared kurutma güçlerinde kuruma hızının hesaplanmasında deneysel verilerin Midilli ve ark modeli ile kıyaslaması ve istatikselsel analiz

Güç(W)	Model değişkenleri ve sabitleri				R ²	χ^2	RMSE
	a	b	k	n			
250	1.1579	-0.0136	0.1896	0.7066	0.95	0.02	0.0489
300	1.1374	-0.0146	0.2086	0.7358	0.97	0.02	0.0470
350	1.0986	-0.0215	0.2060	0.7973	0,96	0.02	0.0453
400	1.0223	-0.0083	0.1440	1.1835	0.98	0.08	0.0270
500	1.0056	-1.83×10^{-5}	0.1919	1.3890	0.99	2.69×10^{-5}	0.0045

Çizelge 6.24: 100 g için farklı infrared kurutma güçlerinde kuruma hızının hesaplanmasında deneysel verilerin Midilli ve ark modeli ile kıyaslaması ve istatistiksel analiz

Güç(W)	Model değişkenleri ve sabitleri				R ²	χ^2	RMSE
	a	b	k	n			
250	1.1535	-0.0125	0.1804	0.6655	0.98	0.02	0.0484
300	1.1357	-0.0160	0.1821	0.7030	0.95	0.02	0.0488
350	1.1294	-0.0095	0.1757	0.8774	0.99	0.01	0.0385
400	1.0677	-0.0038	0.1170	1.1999	0.97	0.07	0.0246
500	1.0296	-0.0049	0.1489	1.1875	0.99	0.07	0.0245

Çizelge 6.25: 125 g için farklı infrared kurutma güçlerinde kuruma hızının hesaplanmasında deneysel verilerin Midilli ve ark modeli ile kıyaslaması ve istatistiksel analiz

Güç(W)	Model değişkenleri ve sabitleri				R ²	χ^2	RMSE
	a	b	k	n			
250	1.1409	-0.0079	0.1494	0.7311	0,95	0.02	0.0488
300	2.6869	2.6869	1.9834	0.4328	0,80	0.02	0.1465
350	1.1391	-0.0176	0.1710	0.7420	0,95	0.02	0.0477
400	1.1336	-0.0093	0.1658	0.9081	0,98	0.02	0.0425
500	1.0535	-0.0027	0.1032	1.3229	0,99	0.02	0.0149

Çizelge 6.26: 25 g için farklı infrared kurutma güçlerinde kuruma hızının hesaplanmasında deneysel verilerin Logaritmik model ile kıyaslaması ve istatistiksel analiz

Güç(W)	Model değişkenleri ve sabitleri			R ²	χ^2	RMSE
	a	b	k			
250	1.2706	-0.1938	0.1405	0.99	0.08	0.0281
300	1.2604	-0.1854	0.1674	0.99	0.09	0.0281
350	1.2270	-0.1662	0.2803	0.97	0.01	0.0290
400	1.2475	-0.1912	0.3285	0.96	0,01	0.0314
500	1.2270	-0.1832	0.4412	0.98	0,01	0.0314

Çizelge 6.27: 50 g için farklı infrared kurutma güçlerinde kuruma hızının hesaplanmasında deneysel verilerin Logaritmik model ile kıyaslaması ve istatistiksel analiz

Güç(W)	Model değişkenleri ve sabitleri			R ²	χ^2	RMSE
	a	b	k			
250	1.2591	-0.1769	0.1220	0.99	0.08	0.0277
300	1.2335	-0.1565	0.1502	0.97	0.07	0.0266
350	1,2434	-0.1741	0.2060	0.98	0.09	0.0281
400	1.2386	-0.1733	0.2431	0.96	0.01	0.0289
500	1.2329	-0.1785	0.3377	0.99	0.01	0.0304

Çizelge 6.28: 75 g için 50 g için farklı infrared kurutma güçlerinde kuruma hızının hesaplanmasında deneysel verilerin Logaritmik model ile kıyaslaması ve istatikselsel analiz

Güç(W)	Model değişkenleri ve sabitleri			R ²	χ^2	RMSE
	a	b	k			
250	1.2701	-0.1819	0.1007	0.98	0.08	0.0281
300	1.2555	-0.1735	0.1228	0.95	0.08	0.0272
350	1.2632	-0.1844	0.1565	0.99	0.09	0.0288
400	1.3354	-0.2527	0.1607	0.98	0.01	0.0330
500	1.2293	-0.1653	0.2479	0,96	0.09	0.0283

Çizelge 6.29: 100 g için 50 g için farklı infrared kurutma güçlerinde kuruma hızının hesaplanmasında deneysel verilerin Logaritmik model ile kıyaslaması ve istatikselsel analiz

Güç(W)	Model değişkenleri ve sabitleri			R ²	χ^2	RMSE
	a	b	k			
250	1.2415	-0.1575	0,0884	0.99	0.06	0.0251
300	1.2847	-0.1973	0,1015	0.97	0.08	0.0283
350	1.2492	-0.1701	0,1264	0.99	0.07	0.0263
400	1.3369	-0.2484	0,1280	0.98	0.01	0.0324
500	1.2789	-0.2009	0,1702	0.96	0.01	0.0301

Çizelge 6.30: 125 g için 50 g için farklı infrared kurutma güçlerinde kuruma hızının hesaplanmasında deneysel verilerin Logaritmik model ile kıyaslaması ve istatikselsel analiz

Güç(W)	Model değişkenleri ve sabitleri			R ²	χ^2	RMSE
	a	b	k			
250	1.2401	-0.1613	0.0749	0.97	0.08	0.0274
300	1.2819	1.0000	0.0796	0.99	0.07	0.0270
350	1.2822	-0.1953	0.1076	0.98	0.08	0.0286
400	1.3554	-0.2644	0.1083	0.96	0.01	0.0321
500	1.3228	-0.2386	0.1349	0.95	0.01	0.0315

Çizelge 6.31: 25 g için farklı infrared kurutma güçlerinde kuruma hızının hesaplanmasında deneysel verilerin Wang Sing modeli ile kıyaslaması ve istatikselsel analiz

Güç(W)	Model değişkenleri ve sabitleri		R ²	χ^2	RMSE
	a	b			
250	-0.1351	0.0046	0.97	0.08	0.0276
300	-0.1592	0.0063	0.96	0.07	0.0264
350	-0.2654	0.0179	0.99	0.06	0.0243
400	-0.3232	0.0264	0.98	0.07	0.0257
500	-0.4362	0.0483	0.99	0.06	0.0232

Çizelge 6.32: 50 g için farklı infrared kurutma güçlerinde kuruma hızının hesaplanmasında deneysel verilerin Wang Sing modeli ile kıyaslaması ve istatistiksel analiz

Güç(W)	Model değişkenleri ve sabitleri		R ²	χ^2	RMSE
	a	b			
250	-0.1142	0.0032	0.98	0.07	0.0268
300	-0.1377	0.0048	0.97	0.06	0.0238
350	-0.1952	0.0096	0.96	0.06	0.0247
400	-0.2311	0.0135	0.95	0.06	0.0245
500	-0.3276	0.0272	0.99	0.06	0.0240

Çizelge 6.33: 75 g için farklı infrared kurutma güçlerinde kuruma hızının hesaplanmasında deneysel verilerin Wang Sing modeli ile kıyaslaması ve istatistiksel analiz

Güç(W)	Model değişkenleri ve sabitleri		R ²	χ^2	RMSE
	a	b			
250	-0.0941	0.0022	0.95	0.08	0.0284
300	-0.1144	0.0033	0.98	0.07	0.0262
350	-0.1484	0.0055	0.99	0.08	0.0274
400	-0.1635	0.0065	0.97	0.01	0.0347
500	-0.2335	0.0138	0.99	0.06	0.0234

Çizelge 6.34: 100 g için farklı infrared kurutma güçlerinde kuruma hızının hesaplanmasında deneysel verilerin Wang Sing modeli ile kıyaslaması ve istatistiksel analiz

Güç(W)	Model değişkenleri ve sabitleri		R ²	χ^2	RMSE
	a	b			
250	-0.0805	0.0016	0,99	0.06	0.0242
300	-0.0967	0.0023	0,99	0.09	0.0294
350	-0.1177	0.0035	0,95	0.06	0.0249
400	-0.1287	0.0040	0,98	0.01	0.0348
500	-0.1648	0.0068	0,96	0.09	0.0291

Çizelge 6.35: 125 g için farklı infrared kurutma güçlerinde kuruma hızının hesaplanmasında deneysel verilerin Wang Sing modeli ile kıyaslaması ve istatistiksel analiz

Güç(W)	Model değişkenleri ve sabitleri		R ²	χ^2	RMSE
	a	b			
250	-0.0680	0.0012	0.99	0.06	0.0250
300	-0.0764	0.0014	0.99	0.08	0.0277
350	-0.1024	0.0026	0.95	0.09	0.0293
400	-0.1101	0.0029	0.99	0.01	0.0360
500	-0.1349	0.0044	0.95	0.01	0.0330

Çizelge 6.36: 25 g için farklı infrared kurutma güçlerinde kuruma hızının hesaplanmasında deneysel verilerin Newton modeli ile kıyaslaması ve istatistiksel analiz

Güç(W)	Model değişkenleri ve sabitleri	R^2	χ^2	RMSE
	k			
250	0.1806	0.99	0.04	0.0639
300	0.2158	0.98	0.04	0.0631
350	0.3588	0.97	0.03	0.0592
400	0.4377	0.98	0.04	0.0623
500	0.5906	0.99	0.03	0.0592

Çizelge 6.37: 50 g için farklı infrared kurutma güçlerinde kuruma hızının hesaplanmasında deneysel verilerin Newton modeli ile kıyaslaması ve istatistiksel analiz

Güç(W)	Model değişkenleri ve sabitleri	R^2	χ^2	RMSE
	k			
250	0.1537	0.97	0.04	0.0634
300	0.1860	0.99	0.03	0.0599
350	0.2635	0.97	0.04	0.0609
400	0.3123	0.95	0.03	0.0606
500	0.4431	0.98	0.04	0.0600

Çizelge 6.38: 75 g için farklı infrared kurutma güçlerinde kuruma hızının hesaplanmasında deneysel verilerin Newton modeli ile kıyaslaması ve istatistiksel analiz

Güç(W)	Model değişkenleri ve sabitleri	R^2	χ^2	RMSE
	k			
250	0.1275	0.98	0.04	0.0659
300	0.1860	0.99	0.03	0.0599
350	0.2635	0.95	0.04	0.0609
400	0.3123	0.98	0.03	0.0606
500	0.4311	0.96	0.04	0.0600

Çizelge 6.39: 100 g için farklı infrared kurutma güçlerinde kuruma hızının hesaplanmasında deneysel verilerin Newton modeli ile kıyaslaması ve istatistiksel analiz

Güç(W)	Model değişkenleri ve sabitleri	R^2	χ^2	RMSE
	k			
250	0.1086	0.99	0.03	0.0603
300	0.1311	0.97	0.04	0.0672
350	0.1588	0.96	0.08	0.0612
400	0.1762	0.99	0.05	0.0748
500	0.2236	0.95	0.04	0.0668

Çizelge 6.40: 125 g için farklı infrared kurutma güçlerinde kuruma hızının hesaplanmasında deneysel verilerin Newton modeli ile kıyaslaması ve istatistiksel analiz

Güç(W)	Model değişkenleri ve sabitleri	R ²	χ ²	RMSE
	k			
250	0.0933	0.98	0.04	0.0615
300	0.1033	0.99	0.04	0.0650
350	0.1388	0.96	0.05	0.0671
400	0.1512	0.95	0.06	0.0761
500	0.1830	0.99	0.05	0.0716

Çizelge 6.41: 25 g farklı infrared kurutma güçlerinde kuruma hızının hesaplanmasında deneysel verilerin Difüzyon yaklaşımı modeli ile kıyaslaması ve istatistiksel analiz

Güç(W)	Model değişkenleri ve sabitleri			R^2	χ^2	RMSE
	a	b	k			
250	0.4	1.0	0.1806	0.98	0.04	0.0639
300	1.0	1.0	0.2158	0.96	0.04	0.0631
350	1.0	1.0	0.3588	0.97	0.04	0.0592
400	1.0	1.0	0.4377	0.98	0.05	0.0623
500	1.0	1.0	0.5906	0.99	0.05	0.0592

Çizelge 6.42: 50 g farklı infrared kurutma güçlerinde kuruma hızının hesaplanmasında deneysel verilerin Difüzyon yaklaşımı modeli ile kıyaslaması ve istatistiksel analiz

Güç(W)	Model değişkenleri ve sabitleri			R^2	χ^2	RMSE
	a	b	k			
250	0.5	1.0	0.1537	0.98	0.04	0.0634
300	1.0	1.0	0.1860	0.99	0.03	0.0599
350	1.0	1.0	0.2635	0.97	0.04	0.0609
400	1.0	1.0	0.3123	0.98	0.04	0.0606
500	1.0	1.0	0.4431	0.95	0.04	0.0600

Çizelge 6.43: 75 g için farklı infrared kurutma güçlerinde kuruma hızının hesaplanmasında deneysel verilerin Difüzyon yaklaşımı modeli ile kıyaslaması ve istatistiksel analiz

Güç(W)	Model değişkenleri ve sabitleri			R^2	χ^2	RMSE
	a	b	k			
250	0.4	1.0	0.1275	0.98	0.04	0.0659
300	1.0	1.0	0.1546	0.97	0.04	0.0630
350	1.0	1.0	0.2009	0.96	0.04	0.0645
400	1.5	1.0	0.1172	0.99	0.02	0.0423
500	1.0	1.0	0.3154	0.98	0.04	0.0592

Çizelge 6.44: 100 g için farklı infrared kurutma güçlerinde kuruma hızının hesaplanmasında deneysel verilerin Difüzyon yaklaşımı modeli ile kıyaslaması ve istatistiksel analiz

Güç(W)	Model değişkenleri ve sabitleri			R ²	χ^2	RMSE
	a	b	k			
250	1.0	1.0	0.0886	0.99	0.08	0.0875
300	1.0	1.0	0.1311	0.98	0.04	0.0672
350	1.0	1.0	0.1588	0.97	0.01	0.0612
400	3.0	0.1	0.3162	0.99	0.01	0.0124
500	1.0	1.0	0.2236	0.96	0.05	0.0668

Çizelge 6.45: 125 g için farklı infrared kurutma güçlerinde kuruma hızının hesaplanmasında deneysel verilerin Difüzyon yaklaşımı modeli ile kıyaslaması ve istatistiksel analiz

Güç(W)	Model değişkenleri ve sabitleri			R ²	χ^2	RMSE
	a	b	k			
250	1.0	1.0	0.0933	0.97	0.04	0.0615
300	1.0	1.0	0.1033	0.96	0.04	0.0650
350	1.0	1.0	0.1388	0.98	0.05	0.0671
400	1.0	1.0	0.1512	0.98	0.06	0.0761
500	1.2	1.1	1.1252	0.99	0.01	0.0332

Çizelge 6.6;6.45'e bakıldığında verilerden elde edilen sonuçlar göz önüne alındığında en yüksek R², en düşük RMSE ve χ^2 değerleri ile birlikte yaban mersini için en uygun modelin page modelinin olduğu saptanmıştır (Dadalı, Demirhan ve Özbek, 2007; Dadalı ve Özbek 2008; Apar, Dadalı ve Özbek, 2007).

Benzer şekilde Onin, maydonoz, yeşilbiber, kırmızıbiber, çilek için en uygun modelin page modeli olduğunu belirlemiştir (Onin, 2012). Dadalı ve Özbek pırasa için, kurutma karakteristiğini tanımlayan modelin Midilli ve ark olduğunu tespit etmişlerdir (Dadalı, Demirhan ve Özbek,2007; Apar, Dadalı ve Özbek, 2007). Sarımeşeli ise kişniş yaprakları için yaptığı kurutma çalışmasında mikrodalga gücü arttıkça k değerinin de arttığını tespit etmiştir (Sarimeşeli, 2011).

6.4 İnfrared Kurutma Güçlerinde Yaban Mersini Meyvesinin Renk Analizine Etkisi

Yaban mersini meyvesinin taze şekilde ve gerçekleştirilen 250, 300, 350, 400, 500 W infrared kurutma güçlerinde gerçekleştirilen farklı gramajlardaki kurutulmuş numuneler için renk analizleri şu şekildedir;

Çizelge 6.46: İnfrared kurutma gücünün 25 gr yaban mersini meyvesinin kurutulması esnasında meydana gelen renk değişim parametreleri

IR Gücü (W)	L	-a	b	Renk açısı
Taze	13.2	10.1	2.7	250.0
250	32.2	12.0	3.1	250.2
300	32.1	12.1	3.2	250.1
350	32.0	12.1	3.5	250.3
400	31.8	12.2	3.9	250.2
500	31.5	12.3	3.9	250.3

Çizelge 6.47: İnfrared kurutma gücünün 50 gr yaban mersini meyvesinin kurutulması esnasında meydana gelen renk değişim parametreleri

IR Gücü (W)	L	-a	b	Renk açısı
250	32.0	12.2	3.3	250.1
300	32.0	12.4	3.4	250.2
350	32.2	12.5	3.4	250.3
400	31.9	12.6	3.5	250.0
500	31.6	12.8	3.5	250.4

Çizelge 6.48: İnfrared kurutma gücünün 75 gr yaban mersini meyvesinin kurutulması esnasında meydana gelen renk değişim parametreleri

IR Gücü (W)	L	-a	b	Renk açısı
250	32.0	12.3	3.6	251.1
300	32.1	12.6	3.7	251.8
350	31.8	12.8	3.8	255.5
400	31.7	13.0	3.8	255.0
500	31.7	13.2	3.8	254.3

Çizelge 6.49: İnfrared kurutma gücünün 100 gr yaban mersini meyvesinin kurutulması esnasında meydana gelen renk değişim parametreleri

IR Gücü (W)	L	-a	b	Renk açısı
250	32.2	12.5	4.1	252.1
300	31.8	12.7	4.4	252.0
350	31.9	12.8	4.6	252.2
400	31.6	13.0	4.7	252.3
500	31.4	13.5	4.9	252.4

Çizelge 6.50: İnfrared kurutma gücünün 125 gr yaban mersini meyvesinin kurutulması esnasında meydana gelen renk değişim parametreleri

IR Gücü (W)	L	-a	b	Renk açısı
250	31.8	12.6	4.3	253.1
300	31.6	12.7	4.5	253.3
350	31.5	12.8	4.7	253.6
400	31.0	12.9	4.9	253.7
500	31.0	13.1	4.1	253.9

Çizelge 6.46, 6.47, 6.48, 6.49, 6.50 ye baktığımızda infrared kurutma ile birlikte parlaklık değeri (L) taze numuneye göre önemli bir artış östermiştir. Fakat tüm yaban mersini meyve kütlelerinde ve tüm infrared güçlerinde parlaklık değerinde kayda değer farklılık görülmemektedir.

Renk açısı 25°C civarında olması meyvenin renginin mavi olmasından kaynaklanmaktadır. Tüm meyve kütlelerinde ve tüm infrared güçlerinde renk açısı değerinde büyük farklılıklar meydana gelmemiştir.

(-a) değerleri yeşili, (+b) değerleri sarılık/mavilik göstermektedir. Taze numunedeki (-a) değeri IR kurutma ile büyük düşüş göstermektedir. Bu durum infrared ışınlarının renk pigmentlerini (antosiyantinler) parçalanmasından meydana gelmektedir. İnfrared gücünün artmasıda bütün yaban mersini meyve kütlelerinde önemli bir değişikliğe yol açamamıştır. (+b) infrared uygulamasından sonra taze numuneye göre bir miktar artması renk pigmentleri olan antosiyantinlerin daha açık renkli türlere bozunmasından kaynaklanabilir.

6.5 İnfrared Kurutma Gücünün Yaban Mersini Meyvesinin Rehidrasyon Kapasitesine Etkisi

Yaban mersini meyvesinin kurumuş halde 250, 300, 350, 400, 500 W infrared kurutma güçlerindeki R_k değerleri bulunmuştur.

Çizelge 6.51: Farklı infrared kurutma güçlerinin R_k değerine etkisi

Rehidrasyon Kapasitesi					
IR Gücü	25 g	50 g	75 g	100 g	125 g
250	1.80	1.78	1.75	1.55	1.43
300	1.77	1.75	1.71	1.50	1.40
350	1.76	1.71	1.70	1.44	1.35
400	1.72	1.67	1.66	1.41	1.30
500	1.68	1.65	1.63	1.38	1.24

Çizelge 6.51 incelendiğinde kurutma gücü arttıkça tüm yaban mersini kütlelerinde yapılan deneysel çalışmalarda rehidrasyon kapasitesinin düştüğü görülmüştür.

Yüksek infrared gücü ile birlikte artan ısı sonucu yaban mersini meyvesinin tekstürel yapısı bozulmuş olabilir. Bu yüzden rehidrasyon kapasitesini düşürmüş olabilir.

7. SONUÇ VE ÖNERİLER

Bu çalışmada infrared kurutucu kullanılarak yaban mersini meyvesinin kurutulması sırasında 250, 300, 350, 400 ve 500 W infrared gücünün kütle transfer katsayılarına etkileri araştırılmıştır. Kullanılan infrared gücünün artışıyla beraber yaban mersini meyvesinin kuruma süresinin düştüğü belirlenmiştir. Yaban mersini numunelerinin 250, 300, 350, 400 ve 500 W infrared güçlerinde % 95 başlangıç nem içeriğinden yaklaşık olarak % 10 son nem içerğine ulaşana kadar kaydedilen kuruma süreleri sırası ile 275, 235, 185, 135, 106, 86, 67 ve 50 dk olarak tespit edilmiştir. İnfrared gücünün artmasıyla birlikte efektif difüzyon katsayısında da artış gözlenir. 250-500 W aralıkları için sırasıyla 25, 50, 75, 100, 125 g için 2.60×10^{-8} – 8.30×10^{-8} m²/s, 2.23×10^{-8} – 6.32×10^{-8} m²/s, 1.88×10^{-8} - 4.44×10^{-8} m²/s, 1.53×10^{-8} – 3.30×10^{-8} m²/s, 1.36783×10^{-8} – 2.73×10^{-8} m²/s aralığında olduğu bulunmuştur.

Kurutma işlemi sırasında ilk önce kısa süreli ısınma periyodu gözlenmiş, bunu sabit ve azalan hız periyodları takip etmiştir. Yaban mersini meyvesinin kurutma kinetiğinin belirlenmesinde kullanılan 8 modelden en düşük RMSE ve χ^2 değerleri ile en yüksek R² değeri Page modeli ile bulunmuştur. Page modelinden sonra en uyumlu ikinci modelin Midilli ve Ark. olduğu tespit edilmiştir. İnfrared gücü arttıkça efektif difüzyon katsayısının arttığı tespit edilmiştir.

İnfrared kurutma ile birlikte tüm yaban mersini meyve kütlelerinde ve tüm infrared güçlerinde parlaklık değerinde kayda değer farklılık görülmemektedir. Tüm meyve kütlelerinde ve tüm infrared güçlerinde renk açısı değerinde büyük farklılıklar meydana gelmediği görülmüştür.

İnfrared kurutma gücü arttıkça tüm farklı yaban mersini kütlelerinde yapılan deneysel çalışmalarda rehidrasyon kapasitesinin düştüğü görülmüştür.

Öneri olarak yaban mersini için infrared kurutma prosesinde sanayi uygulamaları için kurutma hızı ve süresi dikkate alınarak kurutma koşulları optimize edilmelidir. Antioksidan kapasitesinin değişimi, c vitamini ve diğer besin öğelerinin değişimi mutlaka incelenmelidir. Ayrıca diğer kurutma metotlarının kurutma kinetiği

ve kalite parametrelerine etkisi incelenerek yaban mersini için en uygun kurutma metodunun bulunması için ileri düzey deneyler yapılmalıdır.



KAYNAKLAR

- Arslan, D. ve Özcan M.M.** (2011). Evaluation of drying methods with respect of Savory Leaves, Food Bioprocess Technol, 11947-010-0498-y.
- Apar D.K., Dadalı G. ve Özbek B.** (2007). Microwave drying kinetics of Okra, AnInternational Journal, 25:5, 917–924.
- Arkain, B.** (2021). Gölgede, Mikrodalga, Konvektif ve Kombine Mikrodalga-Konvektif Kurutma Yöntemleri Kullanılarak Kurutulmuş Muşmula Meyvesinin Kurutma Kinetiği ve Kalite Parametreleri Açısından İncelenmesi, Yüksek Lisans Tezi, Bursa Uludağ Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Bursa
- Banı, A.** (2014). Kızılciğın İnfrared Isısı İle Kurutulmasında Kütle Transfer Katsayılarının ve Vitamin Kayıplarının İncelenmesi, Yüksek Lisans Tezi, İnönü Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Malatya.
- Baker, G.J.C.** (1997). Industrial Drying of Foods, 1st Edition, Chapman&Hall Publication, New York.
- Başaran, B.** (2006), Mısırın Akışkan Yatakta Kuruma Karakteristiklerinin İncelenmesi, Yüksek Lisans Tezi, Zonguldak Karaelmas Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Zonguldak
- Cemeroğlu, B. ve Acar, J.** (1986). Meyve ve Sebze İşleme Teknolojisi, Sanem Matbaası, Ankara.
- Crank, J.** (1975). The Mathematics of diffusion, 2 nd Ed., Oxford, Clarendon Press, Oxford, London
- Çelik, H.** (2006), Karadeniz bölgesindeki asitli topraklar için mükemmel bir meyve, yaban mersini. Çiftçi Dünyası, 2 (2), s.3-7.
- Dadalı, G., Demirhan, E. ve Özbek, B.** (2007). Microwave heat treatment of spinach: drying kinetics and effective moisture diffusivity, An International Journal, 25:10,1703-1712.

- G. Dadali, B. Özbek.** (2008). Microwave heat treatment of leek: drying kinetic and effective moisture diffusivity, *International Journal of Food Science and Techonology*, 43 (2008), 1443-1451
- Doymaz, İ. ve Pala M.** (2002). Hot- air drying characteristics of red pepper, *Journal ofFood Engineering*, 55 (2002), 331-335.
- Doymaz, İ.** (2004). Drying characteristics and kinetics of okra, *Journal Of Food Engineering*, 69(2005) 275-279.
- Doymaz, İ.** (2005). Drying behaviour of gren beans, *Journal of Food Engineering*, 69(2005), 161-165
- Doymaz, İ.** (2005). Thin-layer drying behaviour of mint leaves, *journal Of Food Engineering*,74(2006) 370-375.
- Doymaz, İ.** (2008). Convective drying kinetics of strawberry, *Chemical Engineeringand Processing*,47 (2008), 914-919.
- Demiray, E.** (2015). Havuç ve Kırmızıbiberin Farklı Kurutma Yöntemleri ile Kurutulması, Kuruma Karakteristiklerinin ve Bazı Kalite Özelliklerindeki Değişimin Modellenmesi, Doktora Tezi, Denizli Pamukkale Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Denizli.
- Erbay, B. ve Küçüköner E.** (2008). “Gıda Endüstrisinde Kullanılan Farklı Kurutma Sistemleri”, Türkiye 10. Gıda Kongresi, 21-23 Mayıs 2008, Erzurum.
- Erdem, T.** (2007), Ozonlu Su ile Yıkanan Kırmızı Pul Biberin Mikrodalga Enerjisi ile Kurutulması, Yüksek Lisans Tezi, Çukurova Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Adana.
- Günaydın, S.** (2020). Mikrodalga, Konvektif ve Gölgede Kurutma Yöntemleri Kullanılarak Kurutulmuş Kuşburnu Meyvesinin Kurutma Kinetiği, Renk Ve Besin Elementi İçeriği Açısından İncelenmesi, Yüksek Lisans Tezi, Bursa Uludağ Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Bursa
- Heldman, D.R. ve Hartel, R.W.,** (1997). *Principles of Food Processing*, 1st Edition, Chapman & Hall Publication, New York.

- Kähkönen, M.P., Heinamaki, J., Ollilainen, V., and Heinonen, M.,** (2003). Berry anthocyanins: isolation, identification and antioxidant activities. J. Sci. Food Agric., 83, 1403-1411.
- Karaaslan, S. ve Tunçer, İ.K.** (2009). “Kırmızı Biberin Fan Destekli Mikrodalga ile Kurutulmasında Kuruma Karakteristiklerinin İncelenmesi ile Uygun Kuruma Modelinin Belirlenmesi”, Kahramanmaraş Sütçü İmam Üniversitesi Doğa Bilimleri Dergisi, 12(2):9-16.
- Kayhan, Ö.** (2008). Zeytin Karasuyundan Antioksidanların Dondurarak Kurutma Yöntemi ile Ayrıştırılması, Yüksek Lisans Tezi, Gebze Yüksek Teknoloji Enstitüsü Mühendislik ve Fen Bilimleri Enstitüsü, Gebze.
- Kocabıyık, H. Ve Tezer D.** (2009). Drying of carrots slices using infrared radiation, International journal of food science and technology, 44 (2009), 953-959.
- McKetta, J.J.** (1983), Encyclopedia of Chemical Process and Design, Marcel Dekker, New York.
- Nasıroğlu, Ş.** (2007). Kırmızıbiber, elma ve pırasanın kurutulmasında infraredteknığının kullanılması, Yüksek Lisans Tezi, Çanakkale Onsekiz Mart Üniversitesi, Çanakkale, 2007.
- Onin, M.** (2012). Bazı meyve ve sebzelerin infrared kurutucuda kurutulmasının Bdeneyssel ve teorik olarak incelenmesi, Yüksek Lisans Tezi, İnönü Üniversitesi, Malatya.
- Özbalta, N. ve Güngör A.** (1997). III. Ulusal Tesisat Mühendisliği Kongresi ve Sergisi Bildiriler Kitabı, Altındağ Matbaacılık, İzmir.
- Pavkov, İ., Stamenkovic, Z., Radojcin, M., Krstan, K., Bıkic, S., Lutovska, M. ve Ponjican, O.** (2019). Air Drying Of Blueberry Fruits: Drying Kinetics, Mathematical Modeling and Physical Properties. Faculty of Technical Science, Universty of Novi Sad, Bulevar cara Lazara 6, 2100 Novi Sad, Serbia.
- Saldamlı, İ. ve Saldamlı, E.** (1990). Gıda Endüstrisi Makinaları, Önder Matbaa, Ankara. 89:167173.
- Sarımeşeli, A.** (2011). Energy Conversion And Management, cilt.52, sa.2, ss.1449-1453, 2011.

- Soysal, Y.** (2004), Microwave Drying Characteristics Of Parsley, Biosystems Engineering,
- Soysal, Y., Öztekin, S. ve Eren Ö.** (2006). Microwave drying of parsley: modelling, kinetics and energy aspect, Biosystems Engineering, 93(4) 2006, 403-413.
- Strik, B.C., Clark, J.R., Finn, C.E. and Banados, M.P.** (2007). Worldwide blackberry production. Amer. Soc. Hor. Sci., 13, 237-262
- Tang, J. ve Yang, T.** (2003). Dehydrated Vegetables Principles and Applications, Handbook of Vegetable Preservation and Processing, Y.H. Hui et al. (Eds.), Marcel Dekker, New York.
- T.C. Millî Eğitim Bakanlığı** (2007). Gıda teknolojisi, sebzeleri kurutma, Mesleki Eğitim ve Öğretim Sisteminin Güçlendirilmesi Projesi, Ankara, 2007.
- UNIDO**, (2004a), “Preservation of Fruits and Vegetables by Drying”, III UNISWORK, UNIDO Uluslararası Gıda Güvenliği ve Saklama Yöntemleri Çalışma Programı Raporu, Gebze-Kocaeli.
- UNIDO**, (2004b), “Classification of Dryers”, III UNISWORK, UNIDO Uluslararası Gıda Güvenliği ve Saklama Yöntemleri Çalışma Programı Raporu, Gebze-Kocaeli
- Uysal Z.** (2003), Kütle Transferi Esasları ve Uygulamaları, Gazi Üniversitesi, YayınNo 211, Ankara.
- Vega-Mercado H., Góngora-Nieto M.M. ve Bárbosa-Canovas G.V.,** (2001). “Advances in Dehydration of Foods”, Journal of Food Engineering, 49:271-289.
- Yıldız, D.** (2019). Balkabağı Dilimlerinin Farklı Kurutma Yöntemleri ile Kurutulmasında Ön İşlem Olarak Ultrases Destekli Ozmotik Kurutma Kullanımı, Yüksek Lisans Tezi, Ordu Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Ordu.
- Yoğurtçu, H.** (2013). Mikrodalga Fırında Limon Kurutma: Kinetiği ve Modellenmesi, Fırat Üniversitesi Mühendislik Bilimleri Dergisi, 26(1), 27-33, 2014.
- Yüzgeç, U.** (2005). Kurutma Sürecinin Modellenmesi ve Akıllı Öngörülü Denetimi, Yüksek Lisans Tezi, Kocaeli Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Kocaeli.

EKLER

EK 1. 25 g 250 W infrared gücünde yaban mersini kurutma prosesi için elde edilen deneysel veriler

t(dk)	MR	DR (g su/g k.m.dk)
0	1	0
0.5	0.97216874	0.278731624
1	0.92478695	0.476910859
1.5	0.867698532	0.575850746
2	0.805245033	0.630703439
2.5	0.740299775	0.65626442
3	0.6749448	0.660546954
3.5	0.610725517	0.649011918
4	0.548782325	0.625797672
4.5	0.489934388	0.594196829
5	0.434740909	0.556879667
5.5	0.383549954	0.516017708
6	0.336539224	0.473363958
6.5	0.293750851	0.430312889
7	0.255121298	0.38795013
7.5	0.220506989	0.347096206
8	0.189706086	0.308346156
8.5	0.162476786	0.272105683
9	0.138552449	0.238624028
10	0.099499135	0.194174861
10.5	0.083810999	0.155476075
11	0.070322718	0.133360003
11.5	0.058781991	0.113823737
12	0.048953676	0.096686208
13	0.033588122	0.075282816
13.5	0.027676452	0.057675579
14	0.022727859	0.048136904

EK 2. 25 g 300 W infrared gücünde yaban mersini kurutma prosesi için elde edilen deneysel veriler

t(dk)	MR	DR (g su/g k.m.dk)
0	1	0
0.5	0.964476684	0.356654097
1	0.9048468	0.598684033
1.5	0.834225791	0.709034932
2	0.758495982	0.760327284
2.5	0.681491579	0.773124198
3	0.6058866	0.759073997
3.5	0.533547581	0.726283747
4	0.465730979	0.680878688
4.5	0.403218869	0.627621575
5	0.346423593	0.570224572
5.5	0.295473015	0.511543804
6	0.250281428	0.45372354
6.5	0.210608577	0.398315422
7	0.176108329	0.346382487
7.5	0.146368141	0.298591486
8	0.120940391	0.255294616
8.5	0.099366585	0.216601006
9	0.081195453	0.182438164
9.5	0.065995877	0.152603743
10	0.053365577	0.126808211
10.5	0.042936377	0.104709168
11	0.034376794	0.085938221
11.5	0.027392594	0.070121361
12	0.021725878	0.056893831

EK 3. 25 g 350 W infrared gücünde yaban mersini kurutma prosesi için elde edilen deneysel veriler

t(dk)	MR	DR (g.su/g.k.m.dk)
0	1	0
0.5	0.923490365	0.356654097
1	0.805769461	0.598684033
1.5	0.678952524	0.709034932
2	0.556583516	0.760327284
2.5	0.445756338	0.773124198
3	0.349739935	0.759073997
3.5	0.269368285	0.726283747
4	0.203972076	0.680878688
4.5	0.152037916	0.627621575
5	0.111667906	0.570224572
5.5	0.080885022	0.511543804
6	0.057820999	0.45372354
6.5	0.040818167	0.398315422
7	0.028471548	0.346382487
7.5	0.019632268	0.298591486

EK 4. 25 g 400 W infrared gücünde yaban mersini kurutma prosesi için elde edilen deneysel veriler

t(dk)	MR	DR (g su/g k.m.dk)
0	1	0
0.5	0.903874673	0.965098279
1	0.755805683	1.48661266
1.5	0.601624966	1.547974399
2	0.460436246	1.417534754
2.5	0.340726405	1.2018868
3	0.244728356	0.963820419
3.5	0.171083615	0.739393194
4	0.116655651	0.546456758
4.5	0.077717607	0.390937969
5	0.05065959	0.271662488
5.5	0.032348069	0.183847668
6	0.020254506	0.121419376

EK 5. 25 g 500 W infrared gücünde yaban mersini kurutma prosesi için elde edilen deneysel veriler

t(dk)	MR	DR (g su/g k.m.dk)
0	1	0
0.5	0.851575816	1.490178808
1	0.644710124	2.076931542
1.5	0.453741826	1.91732172
2	0.301417483	1.5293364
2.5	0.190630226	1.112304061
3	0.115444713	0.754862549
3.5	0.067224572	0.484130221
4	0.03776124	0.295811854
4.5	0.020513549	0.173166814

EK 6. 50 g 250 W infrared gücünde yaban mersini kurutma prosesi için elde edilen deneysel veriler

t(dk)	MR	DR (g su/g k.m.dk)
0	1	0
0.5	0.978193103	0.218941242
1	0.94082919	0.375133688
1.5	0.895289581	0.457217679
2	0.844735465	0.507563325
2.5	0.79125738	0.536919974
3	0.736398356	0.550784594
3.5	0.681344891	0.552736793
4	0.62702029	0.545418996
4.5	0.574139906	0.530919058
5	0.523248744	0.510947264
5.5	0.474749807	0.486929329
6	0.428926985	0.460061132
6.5	0.38596437	0.431344655
7	0.345962958	0.40161417
7.5	0.308955282	0.371557073
8	0.27491827	0.341731599
8.5	0.24378455	0.312582549
9	0.21545232	0.28445559
9.5	0.189793914	0.257610393
10	0.166663163	0.232232737
10.5	0.145901647	0.208445623
11	0.127343938	0.186319398
11.5	0.110821933	0.165880929
12	0.096168367	0.147121803
12.5	0.083219602	0.130005608
13	0.071817778	0.114474311
13.5	0.061812421	0.100453778
14	0.053061574	0.087858506
15	0.038802242	0.07158185
15.5	0.033057455	0.057677658
16	0.028094632	0.049826737
16.5	0.023819705	0.042920274
17	0.020147696	0.036866973

EK 7. 50 g 300 W infrared gücünde yaban mersini kurutma prosesi için elde edilen deneysel veriler

t(dk)	MR	DR (g su/g k.m.dk)
0	1	0
0.5	0.969517801	0.306041279
1	0.919439264	0.502788512
1.5	0.860197465	0.594787663
2	0.796215106	0.642382885
2.5	0.730340342	0.661382625
3	0.664585952	0.660174079
3.5	0.600409498	0.644331597
4	0.538858651	0.617970509
4.5	0.480663038	0.584283948
5	0.426300299	0.545801899
5.5	0.376047506	0.504538043
6	0.330023042	0.46208562
6.5	0.288221474	0.419687743
7	0.250542834	0.378293545
7.5	0.216817188	0.338605486
8	0.186825117	0.301120389
8.5	0.160314612	0.266165472
9	0.137014808	0.233930032
9.5	0.116646961	0.204493191
10	0.098933019	0.177847972
10.5	0.083602147	0.15392196
11	0.070395493	0.132594807
11.5	0.059069512	0.11371285
12	0.049398087	0.097101106
12.5	0.041173689	0.082572957
13	0.034207774	0.069937781
13.5	0.0283306	0.059006826
14	0.023390602	0.049597581
14.5	0.019253462	0.04153689

EK 8. 50 g 350 W infrared gücünde yaban mersini kurutma prosesi için elde edilen deneysel veriler

t(dk)	MR	DR (g su/g k.m.dk)
0	1	0
0.5	0.951096513	0.49099101
1	0.871982612	0.794303562
1.5	0.78144665	0.90898106
2	0.68780066	0.940205744
2.5	0.596166215	0.920009821
3	0.509791226	0.86720489
3.5	0.430629011	0.794788641
4	0.359695251	0.712174951
4.5	0.297326549	0.626181772
5	0.243380369	0.541619649
5.5	0.197392232	0.461720886
6	0.158698331	0.388486767
6.5	0.126529113	0.32297895
7	0.100078483	0.265564327
7.5	0.078552825	0.216117607
8	0.061203725	0.174184959
8.5	0.047347904	0.139112451
9	0.036377431	0.110143542
9.5	0.027762869	0.086490206
10	0.021051483	0.067382314

EK 9. 50 g 400 W infrared gücünde yaban mersini kurutma prosesi için elde edilen deneysel veriler

t(dk)	MR	DR (g su/g k.m.dk)
0	1	0
0.5	0.937960813	0.622873436
1	0.839472253	0.988825148
1.5	0.729781046	1.101299713
2	0.619982196	1.102380452
2.5	0.516488312	1.039078602
3	0.4228936	0.939690903
3.5	0.340889547	0.823320691
4	0.270871497	0.702981224
4.5	0.212384748	0.587206957
5	0.164459201	0.481172491
5.5	0.125856069	0.38757545
6	0.095243053	0.307354683
6.5	0.071312063	0.240267134
7	0.052852186	0.185337166
7.5	0.038789157	0.141192815
8	0.028200947	0.106305629
8.5	0.020317297	0.079151844

EK 10. 50 g 500 W infrared gücünde yaban mersini kurutma prosesi için elde edilen deneysel veriler

t(dk)	MR	DR (g su/g k.m.dk)
0	1	0
0.5	0.899303048	1.010997403
1	0.748286067	1.516210484
1.5	0.593322148	1.555837743
2	0.452837834	1.410462515
2.5	0.334580213	1.187306517
3	0.240221325	0.947363233
3.5	0.168063772	0.724461836
4	0.114817416	0.534593415
4.5	0.076726825	0.382429533
5	0.050222278	0.26610565
5.5	0.032237615	0.180566021
6	0.02031332	0.119719918

EK 11. 75 g 250 W infrared gücünde yaban mersini kurutma prosesi için elde edilen deneysel veriler

t(dk)	MR	DR (g su/g k.m.dk)
0	1	0
0.5	0.984459098	0.156030659
1	0.956958323	0.276107776
1.5	0.922657	0.344385283
2	0.88375241	0.390602085
2.5	0.841708924	0.4221166
3	0.797630962	0.442542739
3.5	0.752396881	0.454150173
4	0.706721988	0.458575923
4.5	0.661193758	0.457103433
5	0.616294252	0.450791043
5.5	0.572415973	0.440537915
6	0.529874055	0.42712086
6.5	0.488916235	0.411216518
7	0.449731396	0.393415779
7.5	0.412457099	0.374233946
8	0.377186333	0.354118485
8.5	0.343973645	0.33345539
9	0.312840703	0.312574738
9.5	0.283781367	0.291755735
10	0.256766284	0.271231429
10.5	0.231747044	0.251193175
11	0.208659903	0.23179489
11.5	0.187429116	0.213157099
12	0.167969874	0.19537079
12.5	0.150190887	0.178501036
13	0.133996623	0.162590404
13.5	0.119289241	0.147662123
14	0.105970216	0.133723007
14.5	0.093941717	0.120766131
15	0.083107727	0.108773261
15.5	0.073374954	0.097717042
16	0.064653545	0.087562943
16.5	0.056857631	0.07827098
17	0.049905717	0.069797218
17.5	0.043720948	0.062095074
18	0.038231264	0.055116429
18.5	0.033369455	0.048812565
19	0.029073145	0.043134949
19.5	0.025284712	0.038035867
20	0.021951153	0.033468937
20.5	0.019023911	0.029389508

EK 12. 75 g 300 W infrared gücünde yaban mersini kurutma prosesi için elde edilen deneysel veriler

t(dk)	MR	DR (g su/g k.m.dk)
0	1	0
0.5	0.977971084	0.221170316
1	0.940358942	0.377625906
1.5	0.894599525	0.459424547
2	0.843866113	0.509363457
2.5	0.790252227	0.538283417
3	0.735299734	0.551723027
3.5	0.680191754	0.553284118
4	0.62584703	0.545621027
4.5	0.572975801	0.530827144
5	0.522117826	0.510614066
5.5	0.473671016	0.486405975
6	0.427914509	0.459395324
6.5	0.385028106	0.430579486
7	0.345109036	0.400787464
7.5	0.308186613	0.370701126
8	0.274235098	0.340873215
8.5	0.24318497	0.311743288
9	0.214932763	0.283652159
9.5	0.189349582	0.256855133
10	0.166288411	0.231534155
10.5	0.145590309	0.207808942
11	0.127089602	0.185747099
11.5	0.110618162	0.165373261
12	0.096008874	0.146677256
12.5	0.083098381	0.129621341
13	0.071729206	0.114146518
13.5	0.061751316	0.100178014
14	0.053023234	0.08762995
14.5	0.045412748	0.076409279
15	0.038797304	0.066419052
15.5	0.033064129	0.057561084
16	0.028110137	0.049738082
16.5	0.02384168	0.042855306
17	0.020174168	0.036821823

EK 13. 75 g 350 W infrared gücünde yaban mersini kurutma prosesi için elde edilen deneysel veriler

t(dk)	MR	DR (g su/g k.m.dk)
0	1	0
0.5	0.968948569	0.311756364
1	0.915769232	0.533920543
1.5	0.851850705	0.641742015
2	0.782352844	0.697758527
2.5	0.710704504	0.719349329
3	0.63936643	0.71623427
3.5	0.570125303	0.695180909
4	0.50425253	0.661362645
4.5	0.442610626	0.618884712
5	0.385734544	0.571035864
5.5	0.333898358	0.520435312
6	0.287171681	0.469135836
6.5	0.245467808	0.418706885
7	0.208584623	0.370307178
7.5	0.176238971	0.324750347
8	0.14809507	0.282564761
8.5	0.123787535	0.244047657
9	0.102939581	0.209313453
9.5	0.085177019	0.178336127
10	0.070138602	0.150985703
10.5	0.057483322	0.127059012
11	0.046895166	0.106305086
11.5	0.038085841	0.088445619
12	0.030795899	0.073191022
12.5	0.02479464	0.060252637
13	0.019879136	0.049351661

EK 14. 75 g 400 W infrared gücünde yaban mersini kurutma prosesi için elde edilen deneysel veriler

t(dk)	MR	DR (g su/g k.m.dk)
0	1	0
0.5	0.969812037	0.303087144
1	0.913238484	0.567998481
1.5	0.842606137	0.709148762
2	0.764357733	0.785613974
2.5	0.683096932	0.815858446
3	0.602264674	0.811555864
3.5	0.524400044	0.781760887
4	0.451296181	0.733962789
4.5	0.384123815	0.674410554
5	0.32354217	0.608239712
5.5	0.269801611	0.53955521
6	0.22283769	0.471517764
6.5	0.182355143	0.406444772
7	0.147900596	0.345923657
7.5	0.118923383	0.290931222
8	0.094824571	0.241952067
8.5	0.074994872	0.199090182
9	0.058842535	0.162169459
9.5	0.045812599	0.130820559
10	0.035398948	0.104553055
10.5	0.027150641	0.082813003
11	0.020673858	0.065026897

EK 15. 75 g 500 W infrared gücünde yaban mersini kurutma prosesi için elde edilen deneysel veriler

t(dk)	MR	DR (g su/g k.m.dk)
0	1	0
0.5	0.935730978	0.645260977
1	0.8352858	1.008469587
1.5	0.724380581	1.113488401
2	0.614067498	1.107543353
2.5	0.510610374	1.038709524
3	0.417433261	0.935498213
3.5	0.336072349	0.816863565
4	0.266797744	0.695517033
4.5	0.209063356	0.579653253
5	0.161839107	0.474131461
5.5	0.123852231	0.381388237
6	0.093756115	0.302165001
6.5	0.070241972	0.236081995
7	0.05210667	0.182078431
7.5	0.038288218	0.13873726
8	0.027878491	0.10451366
8.5	0.020120887	0.077886341

EK 16. 100 g 250 W infrared gücünde yaban mersini kurutma prosesi için elde edilen deneysel veriler

t(dk)	MR	DR (g su/g k.m.dk)
0	1	0
0.5	0.985802815	0.142539733
1	0.961946948	0.239512906
1.5	0.932804383	0.292591361
2	0.900089046	0.328461981
2.5	0.864891605	0.353382302
3	0.828009909	0.370292227
3.5	0.790066905	0.380947764
4	0.751565713	0.386551973
4.5	0.712919866	0.388004298
5	0.674471945	0.386017128
5.5	0.636506124	0.381176844
6	0.599257258	0.373978618
6.5	0.562917851	0.364847639
7	0.527643663	0.35415285
7.5	0.493558371	0.342216333
8	0.46075757	0.329320043
8.5	0.429312262	0.315710889
9	0.39927195	0.301604733
9.5	0.370667401	0.287189677
10	0.343513133	0.272628849
10.5	0.317809663	0.258062834
11	0.293545535	0.243611845
11.5	0.270699151	0.229377694
12	0.249240427	0.215445589
12.5	0.22913228	0.201885799
13	0.210331961	0.1887552
13.5	0.19279225	0.176098701
14	0.176462512	0.163950575
14.5	0.161289634	0.152335692
15	0.147218851	0.141270661
15.5	0.134194461	0.130764875
16	0.122160448	0.120821489
16.5	0.111061016	0.111438299
17	0.100841041	0.102608549
17.5	0.091446452	0.094321672
18	0.082824545	0.086563946
18.5	0.074924237	0.079319095
19	0.067696267	0.072568815
19.5	0.061093354	0.066293254
20	0.055070303	0.060471426
20.5	0.04958409	0.055081577
21	0.044593901	0.050101505
21.5	0.040061149	0.045508832
22	0.035949471	0.041281243
22.5	0.032224702	0.03739668
23	0.028854831	0.033833509
23.5	0.025809945	0.030570656
24	0.023062164	0.027587716
24.5	0.020585567	0.024865038

EK 17. 100 g 300 W infrared gücünde yaban mersini kurutma prosesi için elde edilen deneysel veriler

t(dk)	MR	DR (g su/g k.m.dk)
0	1	0
0.5	0.984217615	0.158455146
1	0.956001942	0.283285353
1.5	0.920662548	0.354807519
2	0.880499408	0.403237929
2.5	0.837059875	0.436132903
3	0.791518034	0.457240085
3.5	0.744810863	0.468940001
4	0.697702368	0.472969287
4.5	0.650819572	0.470703274
5	0.60467562	0.463285278
5.5	0.559686335	0.451692421
6	0.516183138	0.436772099
6.5	0.474423791	0.419263846
7	0.434601721	0.399813582
7.5	0.396854334	0.378983764
8	0.361270537	0.357261318
8.5	0.327897597	0.335064325
9	0.296747395	0.312748025
9.5	0.267802135	0.290610414
10	0.241019508	0.268897571
10.5	0.216337359	0.247808776
11	0.193677853	0.227501438
11.5	0.172951179	0.208095808
12	0.154058802	0.189679469
12.5	0.136896294	0.172311584
13	0.12135577	0.156026857
13.5	0.107327959	0.140839221
14	0.094703933	0.126745217
14.5	0.083376536	0.113727074
15	0.073241528	0.101755479
15.5	0.064198494	0.090792056
16	0.056151528	0.080791543
16.5	0.049009725	0.071703705
17	0.042687516	0.063474973
17.5	0.037104861	0.056049853
18	0.032187322	0.049372099
18.5	0.027866037	0.043385694
19	0.024077628	0.038035633
19.5	0.020764026	0.033268562

EK 18.100 g 350 W İnfrared Gücünde Yaban mersini kurutma prosesi için elde edilen deneysel veriler

t(dk)	MR	DR (g su/g k.m.dk)
0	1	0
0.5	0.976118137	0.239773905
1	0.93613727	0.4014079
1.5	0.888024555	0.483051663
2	0.835125148	0.531110047
2.5	0.779618129	0.557290474
3	0.723086934	0.567573193
3.5	0.666728896	0.565834704
4	0.611458655	0.554913215
4.5	0.557969902	0.537027086
5	0.50677759	0.513970811
5.5	0.458249709	0.487219921
6	0.412632765	0.457994115
6.5	0.370073046	0.427299581
7	0.330634776	0.395960239
7.5	0.294315784	0.36464268
8	0.261061081	0.333877214
8.5	0.230774597	0.304076303
9	0.203329276	0.275551016
9.5	0.178575704	0.24852587
10	0.156349386	0.223152233
10.5	0.136476837	0.199520384
11	0.11878059	0.17767032
11.5	0.103083245	0.157601344
12	0.089210685	0.139280508
12.5	0.076994552	0.122649974
13	0.066274099	0.107633344
13.5	0.0568975	0.09414106
14	0.048722705	0.082074934
14.5	0.041617935	0.071331896
15	0.035461854	0.061807053
15.5	0.030143515	0.053396118
16	0.02556211	0.045997313
16.5	0.021626572	0.0395128

EK 19. 100 g 400 W İnfrared Gücünde Yaban mersini kurutma prosesi için elde edilen deneysel veriler

t(dk)	MR	DR (g su/g k.m.dk)
0	1	0
0.5	0.979336522	0.207461322
1	0.939888929	0.396053833
1.5	0.889435535	0.506552071
2	0.831884361	0.577813785
2.5	0.770062351	0.620692989
3	0.70618499	0.641328702
3.5	0.642022209	0.644194317
4	0.578979464	0.632949159
4.5	0.518149357	0.61073428
5	0.460351985	0.580285613
5.5	0.406170633	0.54398077
6	0.355985126	0.503862498
6.5	0.310003449	0.461656034
7	0.268291573	0.418787236
7.5	0.230801156	0.376403788
8	0.197394812	0.33539969
8.5	0.167868689	0.296442275
9	0.141972204	0.260000707
9.5	0.119424914	0.2263748
10	0.099930575	0.195723156
10.5	0.083188564	0.168089793
11	0.068902844	0.143428625
11.5	0.05678876	0.121625409
12	0.046577913	0.102516906
12.5	0.038021417	0.085907216
13	0.030891802	0.071581339
13.5	0.024983821	0.059316129
14	0.020114412	0.048888863

EK 20. 100 g 500 W İnfrared Gücünde Yaban mersini kurutma prosesi için elde edilen deneysel veriler

t(dk)	MR	DR (g su/g k.m.dk)
0	1	0
0.5	0.965265898	0.348730381
1	0.9048468	0.606607749
1.5	0.832191511	0.729459096
2	0.753660418	0.788452175
2.5	0.673515868	0.804651283
3	0.594781382	0.790494242
3.5	0.519586409	0.754957528
4	0.449366236	0.705010533
4.5	0.385006455	0.646172203
5	0.326959795	0.582788466
5.5	0.275344952	0.518213022
6	0.230030939	0.454952693
6.5	0.190708438	0.394797907
7	0.156949075	0.338944011
7.5	0.128253484	0.288103727
8	0.104089196	0.24260945
8.5	0.083919472	0.202504036
9	0.067224329	0.167619229
9.5	0.053515013	0.13764154
10	0.042343101	0.112165996
10.5	0.033305388	0.090738636
11	0.026045533	0.072888943
11.5	0.020253343	0.058153584

EK 21. 125 g 250 W İnfrared Gücünde Yaban mersini kurutma prosesi için elde edilen deneysel veriler

t(dk)	MR	DR (g su/g k.m.dk)
0	1	0
1	0.970448552	0.148348268
2	0.921083812	0.247810995
3	0.86221357	0.295528616
4	0.798296957	0.320861397
5	0.732242461	0.331593569
6	0.666127392	0.331897646
7	0.601470328	0.324578462
8	0.539372765	0.311729768
9	0.480609317	0.294992504
10	0.425693324	0.275678287
11	0.374928576	0.254839035
12	0.328451975	0.233312539
13	0.28626945	0.211756274
14	0.248286409	0.190674864
15	0.214333493	0.17044364
16	0.184188186	0.15132944
17	0.157592741	0.133509136
18	0.13426881	0.11708613
19	0.113929181	0.102104942
20	0.096286957	0.088563964
21	0.081062558	0.076426482
22	0.067988843	0.065630048
23	0.056814674	0.056094331
24	0.047307187	0.047727584
25	0.039253032	0.040431857
26	0.032458787	0.034107113
27	0.026750742	0.028654385
28	0.021974223	0.023978123
28.5	0.019891911	0.020906414

EK 22. 125 g 300 W İnfrared Gücünde Yaban mersini kurutma prosesi için elde edilen deneysel veriler

t(dk)	MR	DR (g su/g k.m.dk)
0	1	0
0.5	0.988240782	0.118062546
1	0.96754187	0.207817078
1.5	0.941643055	0.260024103
2	0.91206544	0.296959259
2.5	0.879798871	0.323956346
3	0.845582889	0.343528462
3.5	0.81000718	0.357180117
4	0.773558268	0.365947081
4.5	0.736644904	0.370610174
5	0.69961353	0.371794987
5.5	0.662758576	0.370023743
6	0.626329841	0.365744499
6.5	0.590538143	0.359348648
7	0.555559858	0.351181983
7.5	0.52154073	0.341552046
8	0.488599171	0.330733251
8.5	0.456829186	0.318970648
9	0.42630301	0.306482812
9.5	0.397073508	0.293464194
10	0.369176386	0.280087104
10.5	0.342632217	0.266503458
11	0.317448317	0.252846359
11.5	0.293620472	0.239231561
12	0.271134531	0.225758848
12.5	0.249967864	0.212513338
13	0.2300907	0.199566727
13.5	0.211467346	0.186978479
14	0.19405729	0.174796958
14.5	0.177816204	0.163060508
15	0.162696833	0.151798478
15.5	0.148649802	0.141032192
16	0.135624318	0.130775858
16.5	0.123568798	0.121037425
17	0.112431409	0.111819384
17.5	0.102160543	0.103119498
18	0.092705215	0.094931494
18.5	0.084015405	0.087245685
19	0.076042344	0.08004954
19.5	0.068738737	0.073328206
20	0.062058959	0.067064975
20.5	0.055959188	0.061241699
21	0.050397518	0.05583917
21.5	0.045334027	0.050837444
22	0.040730827	0.046216133
22.5	0.036552077	0.041954652
23	0.032763985	0.038032441
23.5	0.029334787	0.034429146
24	0.02623471	0.031124773
24.5	0.023435923	0.028099818
25	0.02091248	0.025335369

EK 23. 125 g 350 W İnfrared Gücünde Yaban mersini kurutma prosesi için elde edilen deneysel veriler

t(dk)	MR	DR (g su/g k.m.dk)
0	1	0
0.5	0.982826849	0.172418437
1	0.952185967	0.307634452
1.5	0.913922581	0.384164398
2	0.870594855	0.435010366
2.5	0.823930231	0.468512831
3	0.775238101	0.488868981
3.5	0.725558298	0.498785223
4	0.675731578	0.50026027
4.5	0.626439776	0.494889694
5	0.578232147	0.484004592
5.5	0.531544695	0.468742014
6	0.486715597	0.450084148
6.5	0.443998247	0.428882191
7	0.403572711	0.405872386
7.5	0.365555981	0.381687963
8	0.33001127	0.356868904
8.5	0.296956437	0.331870526
9	0.266371634	0.307071421
9.5	0.238206199	0.282780961
10	0.212384834	0.259246504
10.5	0.188813092	0.236660296
11	0.167382208	0.215166072
11.5	0.147973313	0.19486531
12	0.130461051	0.175823108
12.5	0.114716663	0.158073652
13	0.100610563	0.141625248
13.5	0.088014457	0.126464902
14	0.076803057	0.112562456
14.5	0.066855422	0.099874261
15	0.058055977	0.08834642
15.5	0.050295259	0.077917611
16	0.043470408	0.068521504
16.5	0.037485465	0.060088825
17	0.032251495	0.052549062
17.5	0.027686567	0.045831878
18	0.023715627	0.039868242
18.5	0.020270277	0.034591312

EK 24. 125 g 400 W İnfrared Gücünde Yaban mersini kurutma prosesi için elde edilen deneysel veriler

t(dk)	MR	DR (g su/g k.m.dk)
0	1	0
0.5	0.984074704	0.159889971
1	0.953138531	0.310599181
1.5	0.912945175	0.403541287
2	0.866328902	0.46802739
2.5	0.815343114	0.51189731
3	0.761625669	0.539323144
3.5	0.706526109	0.55319958
4	0.651163982	0.555835761
4.5	0.596461921	0.549208689
5	0.543168467	0.535066277
5.5	0.491876536	0.514970987
6	0.443040019	0.490318629
6.5	0.396989512	0.462347098
7	0.353947503	0.432141767
7.5	0.314043057	0.400640638
8	0.277325867	0.368640587
8.5	0.243779541	0.336805115
9	0.213333964	0.305673587
9.5	0.185876625	0.275671687
10	0.161262809	0.247122709
10.5	0.13932463	0.220259317
11	0.119878876	0.195235371
11.5	0.102733705	0.172137522
12	0.087694234	0.150996282
12.5	0.074567105	0.131796378
13	0.063164095	0.114486223
13.5	0.053304889	0.098986426
14	0.044819104	0.085197287
14.5	0.037547663	0.073005262
15	0.031343635	0.062288447
15.5	0.026072607	0.052921117
16	0.021612707	0.044777392

EK 25. 125 g 500 W İnfrared Gücünde Yaban mersini kurutma prosesi için elde edilen deneysel veriler

t(dk)	MR	DR (g su/g k.m.dk)
0	1	0
0.5	0.976217874	0.238772545
1	0.932400587	0.43992556
1.5	0.877492081	0.551281406
2	0.815841611	0.618970714
2.5	0.750512361	0.655905668
3	0.683839781	0.669392702
3.5	0.617635635	0.66468963
4	0.553292365	0.646006434
4.5	0.491851605	0.61686523
5	0.434057713	0.580250672
5.5	0.380403949	0.538683796
6	0.331174093	0.49426775
6.5	0.286480417	0.448724502
7	0.246298157	0.403429897
7.5	0.210496414	0.359449501
8	0.178865396	0.317575413
8.5	0.151139961	0.278363374
9	0.127019524	0.242169188
9.5	0.106184516	0.209183479
10	0.088309614	0.179464012
10.5	0.073074058	0.15296498
11	0.060169386	0.129562913
11.5	0.04930494	0.10907904
12.5	0.032643365	0.083641103
13	0.026379219	0.062892033
13.5	0.021222016	0.051778313

ÖZGEÇMİŞ

Ad-Soyad : Veciha Ünal

ÖĞRENİM DURUMU:

Lisans: 2017, Siirt Üniversitesi, Mühendislik-Mimarlık Fakültesi, Kimya Mühendisliği

