T.C.

YILDIZ TEKNİK ÜNİVERSİTESİ

FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

BAZI EGZOTİK MEYVELERİN YENİLİKÇİ VE HİBRİT YÖNTEMLER İLE KURUTULMASI VE FİZİKSEL ÖZELLİKLERİNİN İNCELENMESİ

Pınar ATA

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Kimya Mühendisliği Anabilim Dalı

Kimya Mühendisliği Programı

Danışman

Doç. Dr. Azmi Seyhun KIPÇAK

Haziran, 2022

T.C.

YILDIZ TEKNİK ÜNİVERSİTESİ

FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

BAZI EGZOTİK MEYVELERİN YENİLİKÇİ VE HİBRİT YÖNTEMLER İLE KURUTULMASI VE FİZİKSEL ÖZELLİKLERİNİN İNCELENMESİ

Pınar ATA tarafından hazırlanan tez çalışması 09.06.2022 tarihinde aşağıdaki jüri tarafından Yıldız Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Kimya Mühendisliği Anabilim Dalı, Kimya Mühendisliği Programı **YÜKSEK LİSANS TEZİ** olarak kabul edilmiştir.

Doç. Dr. Azmi Seyhun KIPÇAK
Yıldız Teknik Üniversitesi
Danışman

Jüri Üyeleri

Doç. Dr. Azmi Seyhun KIPÇAK, Danışman
Yıldız Teknik Üniversitesi _____

Prof. Dr. Emek MÖRÖYDOR DERUN, Üye
Yıldız Teknik Üniversitesi _____

Doç. Dr. Tülin Banu İYİM, Üye
İstanbul Üniversitesi – Cerrahpaşa _____

Danışmanım Doç. Dr. Azmi Seyhun KIPÇAK sorumluluğunda tarafımca hazırlanan Bazı Egzotik Meyvelerin Yenilikçi ve Hibrit Yöntemler İle Kurutulması Ve Fiziksel Özelliklerinin İncelenmesi başlıklı çalışmada veri toplama ve veri kullanımında gerekli yasal izinleri aldığımı, diğer kaynaklardan aldığım bilgileri ana metin ve referanslarda eksiksiz gösterdiğimi, araştırma verilerine ve sonuçlarına ilişkin çarpıtma ve/veya sahtecilik yapmadığımı, çalışmam süresince bilimsel araştırma ve etik ilkelerine uygun davrandığımı beyan ederim. Beyanımın aksinin ispatı halinde her türlü yasal sonucu kabul ederim.

Pınar ATA

Bu çalışma Yıldız Teknik Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projeleri Koordinasyon Birimince desteklenmiştir. Proje Numarası: FYL-2021-4349.

TEŞEKKÜR

Öncelikle “Bazı Egzotik Meyvelerin Yenilikçi ve Hibrit Yöntemler ile Kurutulması ve Fiziksel Özelliklerinin İncelenmesi” başlıklı tezimde bana danışmanlık yapan saygıdeğer Doç. Dr. Azmi Seyhun Kıpçak’a her aşamada gösterdiği desteği, anlayışı, sabrı ve tüm yardımları için teşekkürü borç bilirim.

Yüksek lisans serüvenimin başlangıcından sonuna kadar her türlü manevi desteği üzerimden eksik etmeyen, iş arkadaşından çok dostum olan tüm Novartis GMVC takımına, gösterdiği anlayış, eğitime teşvik ve iyi niyetiyle beni tüm süreç boyunca destekleyen değerli müdürümüz sayın Ahmet Bolluk’a en içten teşekkürlerimi iletirim.

Ayrıca bu uzun ve yorucu dönemde her türlü stresimi, üzüntümü, derdimi paylaştığım canım arkadaşlarım Berfin İpek Sakaoğlu ve Melis Kaynar’a teşekkür ederim.

Son olarak tüm hayatım boyunca beni destekleyen, her zaman başaracağıma inanan ve benim de hiçbir zaman bu konuda şüpheye düşmeme izin vermeyen canım aileme kalpten teşekkürlerimi sunarım.

İÇİNDEKİLER

SİMGE LİSTESİ viii
KISALTMA LİSTESİ ix
ŞEKİL LİSTESİ x
TABLO LİSTESİ xv
ÖZET xvi
ABSTRACT xix
1 GİRİŞ 1
1.1 Literatür Özeti ... 1
1.2 Tezin Amacı ... 5
1.3 Orijinal Katkı ... 6
2 EGZOTİK MEYVELER 7
2.1 Çarkıfelek Meyvesi (Passiflora edulis) ... 8
2.2 Guava (Psidium Guavaja) ... 10
3 KURUTMA 13
3.1 Kurutma Yöntemleri ... 16
3.1.1 Mikrodalga Kurutma ... 16
3.1.2 Etüv Kurutma ... 17
3.1.3 Dondurarak Kurutma ... 18
3.1.4 Güneşte Kurutma ... 19
3.1.5 Akışkan Yataklı Kurutucu ... 20
3.1.6 Sprey Kurutucu ... 21
3.1.7 Osmotik Dehidrasyon ... 22
3.1.8 Tepsili Kurutucu ... 23
3.1.9 Vakum Kurutucu ... 23
3.1.10 Sürekli Tünel Kurutucu ... 24
3.1.11 Döner Kurutucu ... 25
3.1.12 Tamburlu Kurutucu ... 25
3.1.13 Kızılötesi Kurutma ... 26
3.2 Literatürde Meyveler Kullanılarak Yapılan Kurutma Çalışmaları ... 27
4 DENEYSEL ÇALIŞMALAR 44
4.1 Hammadde ve Örnek Hazırlama ... 44
4.2 Mikrodalga Kurutma ... 46
4.3 Kızılötesi Kurutma ... 47

4.4 Hibrit Kurutma 49
4.5 Kurutma Kinetiği Hesaplamaları 51
4.6 Efektif Nem Difüzyon Katsayısı Hesaplamaları 51
4.7 Arrhenius Denklemi 52
4.8 Aktivasyon Enerjisi Hesaplamaları 53
4.9 Matematiksel Modelleme ve İstatistiksel Veri Analizi 53
5 DENEYSEL SONUÇLAR VE TARTIŞMA 56
5.1 Kızılötesi Kurutucuda Kurutulan Guava Kurutma Eğrileri 56
5.2 Kızılötesi Kurutucuda Kurutulan Guava İçin Efektif Difüzyon Katsayısı ve Aktivasyon Enerjisi Hesaplaması 57
5.3 Kızılötesi Kurutucuda Kurutulan Guava İçin Matematiksel Modelleme Sonuçları 60
5.3.1 Kızılötesi kurutucuda kurutulan guava için farklı sıcaklıkta farklı matematiksel modellerde deneysel – hesaplanan kurutma hızı grafikleri 64
5.4 Mikrodalga Kurutucuda Kurutulan Guavanın Kurutma Eğrileri 66
5.5 Mikrodalga Kurutucuda Kurutulan Guava için Efektif Difüzyon Katsayısı ve Aktivasyon Enerjisi Hesaplaması 68
5.6 Mikrodalga Kurutucuda Kurutulan Guava İçin Matematik Modelleme Sonuçları 70
5.6.1 Mikrodalga kurutucuda kurutulan guava için farklı güç değerlerinde farklı matematiksel modellerde deneysel – hesaplanan kurutma hızı grafikleri 74
5.7 Kızılötesi Kurutucuda Kurutulan Çarkıfelek Meyvesi Kurutma Eğrileri 76
5.8 Kızılötesi Kurutucuda Kurutulan Çarkıfelek Meyvesi İçin Efektif Difüzyon Katsayısı ve Aktivasyon Enerjisi Hesaplaması 78
5.9 Kızıöltesi Kurutucuda Kurutulan Çarkıfelek Meyvesi İçin Matematik Modelleme Sonuçları 81
5.9.1 Kızılötesi kurutucuda kurutulan çarkıfelek meyvesi için farklı sıcaklıkta farklı matematiksel modellerde deneysel – hesaplanan kurutma hızı grafikleri 85
5.10 Mikrodalga Kurutucuda Kurutulan Çarkıfelek Meyvesi Kurutma Eğrileri 87
5.11 Mikrodalga Kurutucuda Kurutulan Çarkıfelek Meyvesi için Efektif Difüzyon Katsayısı ve Aktivasyon Enerjisi Hesaplaması 89
5.12 Mikrodalga Kurutucuda Kurutulan Çarkıfelek Meyvesi İçin Matematik Modelleme Sonuçları 92
5.12.1 Mikrodalga kurutucuda kurutulan çarkıfelek meyvesi için farklı güç değerlerinde farklı matematiksel modellerde deneysel – hesaplanan kurutma hızı grafikleri 96
5.13 Kızılötesi – Mikrodalga Kurutucuda Hibrit Kurutulan Çarkıfelek Meyvesi Kurutma Eğrileri 98

5.14 Mikrodalga – Kızılötesi Kurutucuda Hibrit Kurutulan Çarkıfelek Meyvesi Kurutma Eğrileri 100
6 SONUÇ VE ÖNERİLER **102**
EKLER - 1 **104**
KAYNAKÇA **127**
TEZDEN ÜRETİLMİŞ YAYINLAR **134**

SİMGE LİSTESİ

w	Ağırlık
E_a	Aktivasyon enerjisi
D_0	Arrhenius denkleminin üstel faktörü
A	Arrhenius sabiti
χ^2	Azaltılmış ki-kare
°C	Celsius
D_{eff}	Efektif difüzyon katsayısı
J	Jul
kJ	Kilojul
K_1	Peleg hız sabiti
K_2	Peleg kapasite sabiti
π	Pi
R^2	Regresyon katsayısı
T	Sıcaklık
R	Uluslararası gaz sabiti
L	Yarı kalınlık
%	Yüzde
t	Zaman
W	Watt

KISALTMA LİSTESİ

RH	Bağıl nem
dk	Dakika
Exp	Deneysel
exp	Eksponansiyel
HKOK	Hata kareler ortalamasının karekökü
Pre	Hesaplanan
IR	Kızılötesi radyasyon
KH	Kuruma hızı
MW	Mikrodalga
N	Nem miktarı
NO	Nem oranı

ŞEKİL LİSTESİ

Şekil 2.1 Çarkıfelek meyvesi (*passiflora edulis*)..... 10
Şekil 2.2 Guava meyvesi (*guavaja psidium*)..... 12
Şekil 3.1 Ürün nem içeriğinin kurutma süresi ile değişimi..... 13
Şekil 3.2 Kurutma hızının kurutma süresi ile değişimi..... 14
Şekil 3.3 Kurutma hızının nem içeriği ile değişimi..... 14
Şekil 3.4 Mikrodalga fırını..... 17
Şekil 3.5 Etüv..... 18
Şekil 3.6 Liyofilizatör..... 19
Şekil 3.7 Güneş panelli kurutma sistemi..... 20
Şekil 3.8 Akışkan yataklı kurutucu..... 21
Şekil 3.9 Sprey kurutucu..... 22
Şekil 3.10 Tepsili kurutucu..... 23
Şekil 3.11 Vakum kurutucu..... 24
Şekil 3.12 Sürekli tünel kurutucu..... 24
Şekil 3.13 Döner kurutucu..... 25
Şekil 3.14 Tamburlu kurutucu..... 26
Şekil 3.15 Kızılötesi kurutma..... 27
Şekil 4.1 Nem tayini analizine hazırlanan guava ve çarkıfelek meyvesi numuneleri..... 44
Şekil 4.2 Radwag AS 220.R2 dijital terazi (Radwag, Radom, Polonya)..... 45
Şekil 4.3 Nem tayini yapılan guava ve çarkıfelek meyvesi numuneleri..... 45
Şekil 4.4 DeLonghi Compact Wave MW 205.S mikrodalga kurutucu..... 46
Şekil 4.5 Mikrodalga kurutucu ile kurutulmaya hazırlanan guava ve çarkıfelek meyvesi numuneleri..... 46
Şekil 4.6 Mikrodalga kurutucu ile kurutulan guava ve çarkıfelek meyvesi numuneleri 47
Şekil 4.7 Radwag MA 50R kızılötesi nem analiz cihazı..... 48
Şekil 4.8 Kızılötesi kurutucu ile kurutulmayan hazırlanan guava ve çarkıfelek meyvesi numuneleri..... 48
Şekil 4.9 Kızılötesi kurutucu ile kurutulan guava ve çarkıfelek meyvesi numuneleri..... 49
Şekil 4.10 Hibrit yöntem ile kurutulan çarkıfelek meyvesi numunesi..... 50
Şekil 5.1 Kızılötesi kurutulan guava numunelerine ait nem miktarları..... 56
Şekil 5.2 Kızılötesi kurutulan guava numunelerine ait kuruma hızlarının nem miktarları ile değişimi..... 57
Şekil 5.3 Kızılötesi kurutulan guava numunelerine ait efektif nem difüzyon eğrileri..... 58

Şekil 5.4 Kızılötesi kurutulan guava numunelerine ait efektif difüzyon katsayılarının logaritmalarına karşı mutlak sıcaklığın tersi 59

Şekil 5.5 Kızılötesi kurutulan guava numunelerinin 60, 70 ve 80 °C'deki hesaplanan D_{eff} değerleri 59

Şekil 5.6 Kızılötesi kurutucuda kurutulan guavanın kuruma hızlarının İki Terimli Üstel modeli 65

Şekil 5.7 Kızılötesi kurutucuda kurutulan guavanın kuruma hızlarının Midilli modeli 65

Şekil 5.8 Kızılötesi kurutucuda kurutulan guavanın kuruma hızlarının Aghbashlo modeli 66

Şekil 5.9 Mikrodalgada kurutulan guava numunelerine ait nem miktarları 67

Şekil 5.10 Mikrodalgada kurutulan guava numunelerine ait kuruma hızlarının nem miktarları ile değişimi 67

Şekil 5.11 Mikrodalgada kurutulan guava numunelerine ait efektif nem difüzyon eğrileri 68

Şekil 5.12 Mikrodalgada kurutulan guava numunelerine ait efektif difüzyon katsayılarının logaritmalarına karşı m/P 69

Şekil 5.13 Mikrodalgada kurutulan guava numunelerinin 140, 210 ve 350 W'daki hesaplanan D_{eff} değerleri 69

Şekil 5.14 MW kurutucuda kurutulan guavanın kuruma hızlarının Alibas modeli..... 75

Şekil 5.15 MW kurutucuda kurutulan guavanın kuruma hızlarının Midilli modeli..... 75

Şekil 5.16 Kızılötesi kurutucuda kurutulan guavanın kuruma hızlarının İki Terimli Üstel modeli 76

Şekil 5.17 Kızılötesi kurutucuda kurutulan çarkıfelek meyvesi numunelerine ait nem miktarları 77

Şekil 5.18 Kızılötesi kurutucuda kurutulan çarkıfelek meyvesi numunelerine ait kuruma hızlarının nem miktarları ile değişimi 78

Şekil 5.19 Kızılötesi kurutucuda kurutulan çarkıfelek meyvesi numunelerine ait efektif nem difüzyon eğrileri 79

Şekil 5.20 Kızılötesi kurutucuda kurutulan çarkıfelek meyvesi numunelerine ait efektif nem difüzyon katsayılarının logaritmalarına karşı mutlak sıcaklığın tersi 80

Şekil 5.21 Kızılötesi kurutucuda kurutulan çarkıfelek meyvesi numunelerinin 60, 70 ve 80 °C'de hesaplanan D_{eff} değerleri 80

Şekil 5.22 Kızılötesi kurutucuda kurutulan çarkıfelek meyvesinin kuruma hızlarının Jena ve Das modeli..... 86

Şekil 5.23 Kızılötesi kurutucuda kurutulan çarkıfelek meyvesinin kuruma hızlarının Midilli modeli..... 86

Şekil 5.24 Kızılötesi kurutucuda kurutulan çarkıfelek meyvesinin kuruma hızlarının Wang & Singh modeli..... 87

Şekil 5.25 Mikrodalgada kurutulan çarkıfelek meyvesi numunelerine ait nem miktarları 88

Şekil 5.26 Mikrodalgada kurutulan guava numunelerine ait kuruma hızlarının nem miktarları ile değişimi 89

Şekil 5.27 Mikrodalgada kurutulan çarkıfelek meyvesi numunelerine ait efektif nem difüzyon eğrileri 90

Şekil 5.28 Mikrodalgada kurutulan çarkıfelek meyvesi numunelerine ait efektif difüzyon katsayılarının logaritmalarına karşı m/P 91

Şekil 5.29 Mikrodalgada kurutulan çarkıfelek meyvesi numunelerinin 140, 210 ve 350 W'daki hesaplanan D_{eff} değerleri 91

Şekil 5.30 Mikrodalga kurutucuda kurutulan çarkıfelek meyvesinin kuruma hızlarının Aghbashlo modeli 97

Şekil 5.31 Mikrodalga kurutucuda kurutulan çarkıfelek meyvesinin kuruma hızlarının Alibas modeli 97

Şekil 5.32 Mikrodalga kurutucuda kurutulan çarkıfelek meyvesinin kuruma hızlarının İki Terimli Üstel modeli 98

Şekil 5.33 IR – MW hibrit kurutulan çarkıfelek meyvesi numunelerine ait nem miktarları 99

Şekil 5.34 IR – MW hibrit kurutulan çarkıfelek meyvesi numunelerine ait kuruma hızlarının nem miktarları ile değişimi 100

Şekil 5.35 MW – IR hibrit kurutulan çarkıfelek meyvesi numunelerine ait nem miktarları 101

Şekil 5.36 MW – IR hibrit kurutulan çarkıfelek meyvesi numunelerine ait kuruma hızlarının nem miktarları ile değişimi 101

Şekil 6.1 Kızılötesi kurutucuda kurutulan guavanın kuruma hızlarının Alibas modeli 104

Şekil 6.2 Kızılötesi kurutucuda kurutulan guavanın kuruma hızlarının İki Terim modeli 104

Şekil 6.3 Kızılötesi kurutucuda kurutulan guavanın kuruma hızlarının Jena ve Das modeli 105

Şekil 6.4 Kızılötesi kurutucuda kurutulan guavanın kuruma hızlarının Lewis modeli 105

Şekil 6.5 Kızılötesi kurutucuda kurutulan guavanın kuruma hızlarının Logaritmik modeli 106

Şekil 6.6 Kızılötesi kurutucuda kurutulan guavanın kuruma hızlarının Page modeli .. 106

Şekil 6.7 Kızılötesi kurutucuda kurutulan guavanın kuruma hızlarının Parabolik modeli 107

Şekil 6.8 Kızılötesi kurutucuda kurutulan guavanın kuruma hızlarının Verma modeli 107

Şekil 6.9 Kızılötesi kurutucuda kurutulan guavanın kuruma hızlarının Wang & Singh modeli 108

Şekil 6.10 Kızılötesi kurutucuda kurutulan guavanın kuruma hızlarının Weibull modeli 108

Şekil 6.11 Mikrodalga kurutucuda kurutulan guavanın kuruma hızlarının Alibas modeli 109

Şekil 6.12 Mikrodalga kurutucuda kurutulan guavanın kuruma hızlarının İki Terimli Üstel modeli 109

Şekil 6.13 Mikrodalga kurutucuda kurutulan guavanın kuruma hızlarının Hendersen modeli 110

Şekil 6.14 Mikrodalga kurutucuda kurutulan guavanın kuruma hızlarının Jena ve Das modeli 110

Şekil 6.15 Mikrodalga kurutucuda kurutulan guavanın kuruma hızlarının Lewis modeli 111

Şekil 6.16 Mikrodalga kurutucuda kurutulan guavanın kuruma hızlarının Aghbashlo modeli 111

Şekil 6.17 Mikrodalga kurutucuda kurutulan guavanın kuruma hızlarının Logaritmik modeli 112

Şekil 6.18 Mikrodalga kurutucuda kurutulan guavanın kuruma hızlarının Midilli modeli 112

Şekil 6.19 Mikrodalga kurutucuda kurutulan guavanın kuruma hızlarının Page modeli 113

Şekil 6.20 Mikrodalga kurutucuda kurutulan guavanın kuruma hızlarının Parabolik modeli 113

Şekil 6.21 Mikrodalga kurutucuda kurutulan guavanın kuruma hızlarının Verma modeli 114

Şekil 6.22 Mikrodalga kurutucuda kurutulan guavanın kuruma hızlarının Wang & Singh modeli 114

Şekil 6.23 Mikrodalga kurutucuda kurutulan guavanın kuruma hızlarının Weibull modeli 115

Şekil 6.24 Mikrodalga kurutucuda kurutulan guavanın kuruma hızlarının İki Terim modeli 115

Şekil 6.25 Kızılötesi kurutucuda kurutulan çarkıfelek meyvesinin kuruma hızlarının Aghbashlo modeli 116

Şekil 6.26 Kızılötesi kurutucuda kurutulan çarkıfelek meyvesinin kuruma hızlarının Alibas modeli 116

Şekil 6.27 Kızılötesi kurutucuda kurutulan çarkıfelek meyvesinin kuruma hızlarının Henderson & Pabis modeli 117

Şekil 6.28 Kızılötesi kurutucuda kurutulan çarkıfelek meyvesinin kuruma hızlarının Lewis modeli 117

Şekil 6.29 Kızılötesi kurutucuda kurutulan çarkıfelek meyvesinin kuruma hızlarının Logaritmik modeli 118

Şekil 6.30 Kızılötesi kurutucuda kurutulan çarkıfelek meyvesinin kuruma hızlarının Page modeli 118

Şekil 6.31 Kızılötesi kurutucuda kurutulan çarkıfelek meyvesinin kuruma hızlarının Parabolik modeli 119

Şekil 6.32 Kızılötesi kurutucuda kurutulan çarkıfelek meyvesinin kuruma hızlarının İki Terimli Üstel modeli 119

Şekil 6.33 Kızılötesi kurutucuda kurutulan çarkıfelek meyvesinin kuruma hızlarının İki Terimli modeli 120

Şekil 6.34 Kızılötesi kurutucuda kurutulan çarkıfelek meyvesinin kuruma hızlarının Verma modeli 120

Şekil 6.35 Kızılötesi kurutucuda kurutulan çarkıfelek meyvesinin kuruma hızlarının Weibull modeli 121

Şekil 6.36 Mikrodalga kurutucuda kurutulan çarkıfelek meyvesinin kuruma hızlarının Henderson ve Pabis modeli 121

Şekil 6.37 Mikrodalga kurutucuda kurutulan çarkıfelek meyvesinin kuruma hızlarının Jena ve Das modeli 122

Şekil 6.38 Mikrodalga kurutucuda kurutulan çarkıfelek meyvesinin kuruma hızlarının Lewis modeli 122

Şekil 6.39 Mikrodalga kurutucuda kurutulan çarkıfelek meyvesinin kuruma hızlarının Logaritmik modeli 123

Şekil 6.40 Mikrodalga kurutucuda kurutulan çarkıfelek meyvesinin kuruma hızlarının Midilli modeli 123

Şekil 6.41 Mikrodalga kurutucuda kurutulan çarkıfelek meyvesinin kuruma hızlarının Page modeli 124

Şekil 6.42 Mikrodalga kurutucuda kurutulan çarkıfelek meyvesinin kuruma hızlarının Parabolik modeli 124

Şekil 6.43 Mikrodalga kurutucuda kurutulan çarkıfelek meyvesinin kuruma hızlarının Verma modeli 125

Şekil 6.44 Mikrodalga kurutucuda kurutulan çarkıfelek meyvesinin kuruma hızlarının Wang & Singh modeli 125

Şekil 6.45 Mikrodalga kurutucuda kurutulan çarkıfelek meyvesinin kuruma hızlarının Weibull modeli 126

TABLO LİSTESİ

Tablo 4.1 Matematiksel model isimleri ve denklemleri..... 54

Tablo 5.1 IR kurutucuda guavanın farklı sıcaklıklarda elde edilen matematiksel model sabitleri ve istatistiksel parametreler..... 61

Tablo 5.2 MW kurutucuda guavanın farklı güç değerlerinde elde edilen matematiksel model sabitleri ve istatistiksel parametreler..... 71

Tablo 5.3 IR kurutucuda çarkıfelek meyvesinin farklı sıcaklıklarda elde edilen matematiksel model sabitleri ve istatistiksel parametreler..... 82

Tablo 5.4 MW kurutucuda çarkıfelek meyvesinin farklı güç değerlerinde elde edilen matematiksel model sabitleri ve istatistiksel parametreler..... 93

ÖZET

Bazı Egzotik Meyvelerin Yenilikçi ve Hibrit Yöntemler ile Kurutulması ve Fiziksel Özelliklerinin İncelenmesi

Pınar ATA

Kimya Mühendisliği Anabilim Dalı

Yüksek Lisans Tezi

Danışman: Doç. Dr. Azmi Seyhun KIPÇAK

Meyveler yüksek vitamin ve mineral içeren besin gruplarıdır. Bu nedenle meyve tüketimi insan sağlığı için oldukça önemlidir. Öte yandan meyveler yüksek miktarda su içerir. Bu durumda meyve, yüksek enzimatik mikrobiyolojik aktivitesi nedeniyle bozulmaya en yatkın gıda ürünlerinden biridir. Bir meyve ürününün raf ömrünün arttırılması bu mikrobiyolojik aktivitenin durdurulması ile mümkündür. Bu çalışmada, farklı güç ve sıcaklık seviyelerinin guava ve çarkıfelek meyvesi numunelerinin kuruma kinetiği üzerindeki etkilerini incelemek için kızılötesi kurutma ve mikrodalga kurutma yöntemleri seçilmiştir. Kızılötesi kurutma için sıcaklık seviyeleri 60, 70 ve 80 ℃, mikrodalga kurutma için güç değerleri ise 140, 210 ve 350 W olarak seçilmiştir. Kurutma işlemine başlamadan önce nem miktarları guava için 5,0875 kg su / kg kuru madde, çarkıfelek meyvesi için 2,8889 kg su / kg kuru madde olarak hesaplanmıştır. Elde edilen veriler incelendiğinde, kızılötesi kurutulan guava numuneleri 60 ℃'de 0,2348 kg su / kg kuru madde, 70 ℃'de 0,2323 kg su / kg kuru madde, 80 ℃'de 0,2296 kg su / kg kuru maddeye kadar kurumuştur. Sıcaklığın 60 ℃'den 80 ℃'ye çıkartılması sonucu numunelerin kuruma süresi yarıya düşmüştür. Kurutma eğrilerinde artan, sabit ve azalan hız periyotlarının hepsi gözlemlenmiştir. Efektif nem difüzyonları 60, 70 ve 80 ℃ için sırası

ile $4,85x10^{-10}$, $7,08x10^{-10}$ ve $1,09x10^{-9}$ olarak hesaplanmıştır. Aktivasyon enerjisi ise 39,42 kJ/mol olarak hesaplanmıştır. Aynı şekilde mikrodalga kurutma sonucu guava numuneleri 140 W'da 0,2314 kg su / kg kuru madde, 210 W'da 0,2338 kg su / kg kuru madde, 350 W'da 0,2350 kg su / kg kuru maddeye kadar kurumuştur. Güç değerinin 140 W'dan 350 W'a çıkarılması sonucu guava numuneleri 4 kat daha kısa sürede kurutulmuştur. Kurutma eğrilerinde yalnızca artan ve azalan hız periyotları gözlemlenmiştir. Efektif nem difüzyonları 140, 210 ve 350 W için sırası ile $1,73x10^{-8}$, $3,98x10^{-8}$ ve $6,45x10^{-8}$ olarak hesaplanmıştır. Aktivasyon enerjisi ise 421,86 kJ/mol olarak elde edilmiştir.

Kızılötesi kurutulan çarkıfelek meyvesinden elde edilen deneysel sonuçlara bakıldığında numuneler 60 ℃'de 0,4891, kg su / kg kuru madde, 70 ℃'de 0,4364 kg su / kg kuru madde, 80 ℃'de 0,4226 kg su / kg kuru maddeye kadar kurumuştur. Sıcaklığın 60 ℃'den 80 ℃'ye çıkartılması sonucu numunelerin kuruma süresi 1,8 kat kısalmıştır. Kurutma eğrilerinde artan, sabit ve azalan hız periyotlarının hepsi gözlemlenmiştir. Efektif nem difüzyonları 60, 70 ve 80 ℃ için sırası ile $9,23x10^{-10}$, $1,19x10^{-9}$ ve $1,63x10^{-9}$ olarak hesaplanmıştır. Aktivasyon enerjisi ise 27,91 kJ/mol olarak hesaplanmıştır. Mikrodalgada kurutulan çarkıfelek meyvesi numunleri 140 W'da 0,1326 kg su / kg kuru madde, 210 W'da 0,1343 kg su / kg kuru madde, 350 W'da 0,1371 kg su / kg kuru maddeye kadar kurumuştur. Güç değerinin 140 W'dan 350 W'a çıkarılması sonucu çarkıfelek meyvesi numuneleri 3,6 kat daha kısa sürede kurutulmuştur. Kurutma eğrilerinde 140 W için artan, sabit ve azalan hız periyotlarının tümü gözlemlenmiştir. 210 W ve 350 W için yalnızca artan ve azalan hız periyodu gözlemlenmiştir. Efektif nem difüzyonları 140, 210 ve 350 W için sırası ile $2,29x10^{-8}$, $4,00x10^{-8}$ ve $7,86x10^{-8}$olarak hesaplanmıştır. Aktivasyon enerjisi ise 392,93 kJ/mol olarak hesaplanmıştır.

Hibrit kurutma yöntemi ile kurutulan ve ilk olarak içeriğindeki nem miktarının yarısı 60 ℃'de kızılötesi kurutulan, ardından geri kalan nem miktarı 140 W'da mikrodalga ile kurutulan çarkıfelek meyvesi 0,1168 kg su / kg kuru maddeye kadar kurutulmuştur. Bu işlemin tam tersi yapılarak içeriğindeki nem miktarının yarısı ilk olarak 140 W'da mikrodalgada kurutulan, ardından kalan nem miktarı 60 ℃'de kızılötesi kurutulan çarkıfelek meyvesi ise 0,1452 kg su / kg kuru maddeye dek kurutulmuştur. Her iki hibrit kurutma yöntemi için kurutma eğrileri çizilmiştir.

Deneyler sonucu elde edilen kurutma eğrilerinin literatürde mevcut olan 15 ince tabaka kurutma modeline uygunluğunu incelemek amacıyla matematiksel modellemeleri

yapılmıştır. Tüm modelleme sonuçları incelendiğinde, kızılötesi kurutulan guava için R^2, χ^2 ve HKOK değerleri için elde edilen en yüksek ve en düşük veriler sırası ile; 0,999993 – 0,944826, 0,008627 – 0,000001, 0,070940 – 0,000824; mikrodalgada kurutulan guava için; 0,999968 – 0,965311, 0,009906 – 0,000013, 0,061450 – 0,001918, kızılötesi kurutulan çarkıfelek meyvesi için; 0,999979 – 0,923050, 0,020593 – 0,000003, 0,083941 – 0,001331, mikrodalgada kurutulan çarkıfelek meyvesi için; 0,999963 – 0,967535, 0,036862 – 0,000028, 0,060622 – 0,002160 arasında değişmiştir. Uygulanan 15 farklı kurutma modeli arasından en uygun modeller; kızılötesi kurutulan guava için Aghbashlo vd., Midilli ve İki Terimli Üstel, mikrodalgada kurutulan guava için Alibas, Midilli ve İki Terimli Üstel, kızılötesi kurutulan çarkıfelek meyvesi için Jena ve Das, Midilli ve Wang & Singh, mikrodalga kurutulan çarkıfelek meyvesi için Aghbashlo vd., Alibas ve İki Terimli Üstel olarak belirlenmiştir.

Anahtar Kelimeler: Kurutma, egzotik meyve, matematiksel modelleme, guava, çarkıfelek meyvesi

ABSTRACT

Drying of Some Exotic Fruits by Innovative and Hybrid Methods and Investigation of Their Physical Properties

Pınar ATA

Department of Chemical Engineering

Master of Science Thesis

Supervisor: Assoc. Prof. Azmi Seyhun KIPÇAK

Fruits are food groups that contain high vitamins and minerals. Therefore, fruit consumption is very important for human health. On the other hand, fruits contain a high amount of water. In this case, the fruit is one of the most prone to spoilage food products due to its high enzymatic microbiological activity. Increasing the shelf life of a fruit product is possible by stopping this microbiological activity. In this study, infrared drying and microwave drying methods were chosen to examine the effects of different power and temperature levels on the drying kinetics of guava and passion fruit samples. Temperature levels for infrared drying were selected as 60, 70 and 80 ℃, and power values for microwave drying were selected as 140, 210 and 350 W. Before starting the drying process, the moisture content was calculated as 5.0875 kg water / kg dry matter for guava and 2.8889 kg water / kg dry matter for passion fruit. When the data obtained are examined, the samples for infrared dried guava are dried to the point 0.2348 kg water / kg dry matter for 60 ℃, 0.2233 kg water / kg dry matter for 70 ℃, 0.2296 kg water / kg dry matter for 80 ℃. As a result of increasing the temperature from 60 ℃ to 80 ℃, the drying time of the samples was halved. All the increasing, constant and decreasing rate periods were observed in the drying curves. Effective moisture diffusions were calculated as 4.85×10^{-10}, 7.08×10^{-10} and 1.09×10^{-9} for 60, 70 and 80 ℃, respectively. The activation

energy was calculated as 39.42 kJ/mol. Likewise, as a result of microwave drying, guava samples dried up to 0.2314 kg water / kg dry matter at 140 W, 0.2338 kg water / kg dry matter at 210 W, and 0.2350 kg water / kg dry matter at 350 W. As a result of increasing the power value from 140 W to 350 W, the guava samples were dried in 4 times shorter time. Only increasing and decreasing rate periods were observed in the drying curves. Effective moisture diffusions were calculated as $1.73x10^{-8}$, $3.98x10^{-8}$ and $6.45x10^{-8}$ for 140, 210 and 350 W, respectively. The activation energy was obtained as 421.86 kJ/mol.

Considering the experimental results obtained from passion fruit, which was dried in infrared, the samples were dried until reached TO 0.4891, kg water / kg dry matter for 60 ℃, 0.4364 kg water / kg dry matter for 70 ℃, 0.4226 kg water / kg for 80 ℃. As a result of increasing the temperature from 60 ℃ to 80 ℃, the drying time of the samples was shortened by 1.8 times. All the increasing, constant and decreasing rate periods were observed in the drying curves. Effective moisture diffusions were calculated as $9.23x10^{-10}$, $1.19x10^{-9}$ and $1.63x10^{-9}$ for 60, 70 and 80 ℃, respectively. The activation energy was calculated as 27.91 kJ/mol. For the microwave dried passion fruit, it was dried up to 0.1326 kg water / kg dry matter at 140 W, 0.1343 kg water / kg dry matter at 210 W and 0.1371 kg water / kg dry matter at 350 W. As a result of increasing the power value from 140 W to 350 W, the guava samples were dried in 3.6 times shorter time. All the increasing, constant and decreasing rate periods for 140 W were observed in the drying curves. For 210 W and 350 W only a period of increasing and decreasing rate was observed. Effective moisture diffusions were calculated as $2.29x10^{-8}$, $4.00x10^{-8}$ and $7.86x10^{-8}$ for 140, 210 and 350 W, respectively. The activation energy was calculated as 392.93 kJ/mol.

Passion fruit, which was dried with the hybrid drying method and first half of it's moisture content was infrared dried at 60 ℃, and then the remaining moisture content was microwaved at 140 W, dried to 0.1168 kg water / kg dry matter. By doing the exact reverse of this process, half of the moisture content of passion fruit, which was first dried in the microwave at 140 W, and then the remaining moisture content was infrared dried at 60 ℃, was dried to 0.1452 kg water / kg dry matter. Drying curves were drawn for both hybrid drying methods.

Mathematical modeling was done to examine the compatibility of the drying curves obtained as a result of the experiments with the 15 thin layer drying models available in the literature. When all modeling results are examined, the highest and lowest data

obtained for R^2, χ^2 and HKOK values for infrared dried guava are between respectively; 0.999993 – 0.944826, 0.008627 – 0.000001, 0.070940 – 0.000824; for microwave dried guava; 0.999968 – 0.965311, 0.009906 – 0.000013, 0.061450 – 0.001918, for infrared dried passion fruit; 0.999979 – 0.923050, 0.020593 – 0.000003, 0.083941 – 0.001331, for microwave dried passion fruit; 0.999963 – 0.967535, 0.036862 – 0.000028, 0.006622 – 0.002160. The most suitable models among the 15 different drying models applied were; Aghbashlo et al., Midilli and Two Term Exponential for infrared dried guava, Alibas, Midilli and Two Term Exponential for microwave dried guava, Jena ve Das, Midilli and Wang & Singh for infrared dried passion fruit, Aghbashlo et al., Alibas and Two Term Exponential for microwave dried passion fruit.

Keywords: Drying, exotic fruit, mathematical modelling, guava, passion fruit

1
GİRİŞ

1.1 Literatür Özeti

Çarkıfelek meyvesi (Passiflora edulis), aromatik ve tropikal tadı olan bir meyve üreten, kısa ömürlü, yaprak dökmeyen çok yıllık bir asmadan yetiştirilir. Menşei Güney Amerika olan çarkıfelek meyvesi, Güney Amerika'da halk hekimliğinde anksiyete, uykusuzluk, astım, bronşit ve idrar yolu enfeksiyonlarını tedavi etmek için yaygın olarak kullanılmaktadır. Şu anda bu meyve dünya çapında yetiştirilmektedir ve gıda endüstrisi için yenilebilir bir meyve olarak kullanılmaktadır.

Anavatanı Güney Asya ve Karayipler olan guava, ülkemizde Mersin ve Antalya'da yetiştirilmektedir. Yüksek C vitamini içeriği ve besin değerleri sayesinde tüketilmesi sonucu vücuttaki kan basıncını düzenler, kanser riskini düşürür ve bağışıklık sistemini güçlendirir.

Meyve ve sebze ürünleri genellikle yüksek su içeriğine sahiptir ve bu da onları bozulabilir hale getirir. Bu sorunun üstesinden gelmenin bir yolu onları kurutmaktır. Gıda ürünleri için kurutma işlemi onlarca yıldır kullanılan bir yöntemdir. Bu uygulama, nihai ürünün uzun zaman için korunmasını sağlar. Çarkıfelek meyvesi ve guava, gıda endüstrisinde tüketiciler tarafından sıklıkla tercih edilen besin türleridir. Kurutma, maddelerin içindeki suyun veya diğer sıvıların buharlaştırma işlemi ile uzaklaştırılmasıdır. Kurutmanın amacı, mikroorganizmaların biyokimyasal reaksiyonlarını ve büyümesini durdurmak ve su oranını mikroorganizmaların çoğalamayacakları seviyeye indirmektir. Bu uygulama gıda ürünlerinin küflenmeden daha uzun süre dayanmasını sağlar. Uzun kuruma süresi ve daha az besin değeri kalite ve ekonomik değeri olumsuz yönde etkiler. Bu nedenle kurutucularla yapılan kurutma işlemi tekniği dikkatli seçilmeli, gıda ürünlerine özgü olmalıdır. Kullanılan kurutma işlemleri kuruma süresini kısaltmakta, raf ömrünü artırmakta, kaliteli ve taze gıda ürünleri elde edilmesini sağlamaktadır. Aynı zamanda su içerikleri uzaklaştırılmış gıda ürünlerinin nakliyesi ve taşınması da daha az zahmetli ve düşük maliyetlidir. Gıdaları kurutmak için endüstride kullanılan farklı yöntemler vardır. Bunlardan bazıları etüvde kurutma, mikrodalga kurutma, kızılötesi kurutma, dondurarak kurutma, sıcak havayla kurutma, güneşte kurutma, akışkan yataklı kurutma, sprey kurutma ve ozmotik dehidrasyondur (Dilip et. al, 2014).

Ürün içindeki suyun uzaklaştırılmasının ana mekanizmasının ve yönetim direncinin belirtilmesi bir kurutma modeli geliştirmek için önemli ve gereklidir. Kurutma işleminde kütle ve ısı transferi aynı anda gerçekleşir. Hem iç hem de yüzeydeki suyun buharlaşması, nemin aktarılması sürecinde gerçekleşir. Difüzyon ile nem, ürünün içinden yüzeye ve konveksiyon ile yüzeyden çevreleyen ortama taşınır (Beigi, 2016).

Hayvan ve tarım alanındaki birçok ürün, infrared kurutucu (IR) ve/veya mikrodalga kurutucu (MW) uygulaması ile başarıyla kurutulmaktadır. Ancak çarkıfelek meyvesi ve guavanın IR ve MW kurutma yöntemleriyle kurutulması hakkında bilgi bulunmamaktadır. Bu çalışmada çarkıfelek meyvesi ve guavanın ince tabaka kurutmadaki davranışı araştırılmış ve literatürde mevcut olan 15 ince tabaka kurutma modeli kullanılarak matematiksel modelleme yapılmıştır. Ayrıca bu gıda ürünlerinin kurutma sürecinde gerekli olan aktivasyon enerjisi ve efektif nem difüzyonu için hesaplamalar yapılmıştır (Kıpçak vd., 2018).

Gıda ürünlerinin kurutulması literatürde pek çok örneği bulunan çalışmalardır. Bunun sebebi kurutulmuş gıda maddelerinin raf ömürlerinin uzatılmasına katkı sağlaması, gıdaları soğukta muhafaza etmenin mümkün olmadığı durumlarda ürünlerin çürümesinin, bozulmasının önüne geçilebilmesi ve taşıma maliyetlerini düşürmektir.

Son yıllarda gıda sektöründe gıda ürünlerinin kurutularak tüketilmesi yaygınlık kazanmıştır. Egzotik meyveler de yaygın olarak kurutularak tüketilen ürünlerden biridir. Bu tüketim artışı ile birlikte literatürde de meyveler üzerinde pek çok farklı metotla kurutma çalışmaları yapılmıştır.

Sık tüketilen ve çokça satılan meyveler üzerinde yapılan çalışmalara örnek olarak, Rojas ve diğerleri, etanol ile ön işlem yaparak elmanın ultrasonik su banyosu yardımıyla kurutulmasını çalışmışlardır ve bunun sonucunda kurutma kinetiği modellemesinden, etanol ön işlemlerinin esas olarak kütle transferine karşı dış direnci azalttığı, ultrasonun ise dahili olan üzerinde daha büyük bir etkiye sahip olduğunu tespit etmişlerdir. Kurutulmuş örneklerde, etanol ön işlem süresi arttıkça büzülme azalmış ve rehidrasyon kapasiteleri daha fazla olmuştur. Elde edilen sonuçlar, önerilen teknolojilerin, fiziksel özellikler üzerinde olumsuz etkiler olmaksızın kurutmayı önemli ölçüde hızlandıran tamamlayıcı nitelikte olduğunu desteklemektedir (Rojas vd., 2020)

Xanthopoulos ve diğerleri, kayısı yarılarının güneşte kurutulması çalışmasında kuruma hızı ve renk kinetiğini, sürekli kurutmaya kıyasla kademeli olarak havayla kurutma

sırasında incelemişlerdir. Analiz, askorbik asit ile muamelenin, artan sıcaklık profili sırasında daha etkili olduğunu ve başlangıçta kullanılan yüksek kurutma sıcaklıkları nedeniyle antioksidan aktivitesinin düşüş sıcaklık profili sırasında kaybolduğunu göstermiştir (Xanthopoulos vd., 2019)

Koç ve diğerleri, incirin mikrodalga ile kurutulması çalışmalarında köpük kurutma yönteminde 3 ayrı sıcaklık değeri (60, 70, 80°C), mikrodalga kurutma yönteminde ise 3 ayrı güç değerinde (100, 300, 600 W) ile kurutma işlemini gerçekleştirmişlerdir. Sıcaklık ve güç parametrelerinin incirlerin kurutma kinetiği üzerindeki etkileri incelenmiş ve kurutma işleminin literatürdeki çoğu çalışmada olduğu gibi düşen bir kurutma periyodunda gerçekleştiği gözlemlenmiştir. Aynı zamanda köpük kalınlığının artışının kurutma hızı üzerinde negatif bir etkisi olduğu görülmüştür. Elde edilen deneysel veriler Fick'in 2. Difüzyon yasası kullanılarak matematiksel modellemelere yerleştirilmiştir. Arrhenius denklemi kullanılarak aktivasyon enerjisi hesabı yapılmıştır (Koç vd., 2018)

Bustos ve diğerleri, farklı kurutma metotlarının böğürtlenin antioksidan aktivitesi üzerindeki etkilerini çalışmışlardır. Bu araştırmanın amacı konvektif kurutmanın dut meyvelerinin rengi, biyoaktif bileşikleri ve antioksidan aktivitesi üzerindeki etkisini araştırmak ve ahududu, yaban mersini, frenk üzümü ve kuş üzümü meyvelerinin polifenolik bileşimini kimyasal olarak karakterize etmektir. Antosiyanin profili, delphinidin ve siyanidin türevlerinin, berry cinsleri arasında farklı baskınlık ile en bol bulunan antosiyanidinler olduğunu göstermiştir (Bustos vd., 2018)

Literatürde bulunan egzotik meyve çalışmalarına örnek olarak Tunckal ve diğerleri, ananas dilimlerini ısı pompası destekli kurutucu (HPD) yardımıyla kurutmuştur. Kurutma sıcaklıklarının kuruma hızı ve kuruma süresi üzerinde önemli etkileri olduğu görülmüştür. Spesifik nem ekstraksiyon oranı (SMER) değerlerinin, kurutma sıcaklıkları değiştikçe değiştiği gözlemlenmiştir. Kuruma hızı eğrileri, tüm kuruma sürecinin azalan hız döneminde gerçekleştiğini göstermiştir. Fick'in ikinci difüzyon yasası, çalışma esnasında kullanılan sıcaklıkların her biri için nem yayılma katsayısını belirlemek için kullanılmıştır. Efektif yayılma katsayısının sıcaklığa bağımlılığı, Arrhenius tipi bir denklem ile tanımlanmıştır (Tunckal vd., 2018)

Ozgen ve Celik tarafından kivi meyvesinin konvektif kurutucuda kurutulması deneysel olarak incelenmiştir. Hava hızı, dilimlerin kalınlığı ve kuruma süresi, kurutma işleminde değişken parametrelerdir. Testlere ek olarak, her bir parametrenin katkı oranını bulmak

için bahsedilen kurutma parametrelerinin kurutma üzerindeki etkileri ANOVA (Varyans Analizi) yöntemi ile analiz edilmiştir. Deneyler ve varyans analizleri sonucunda, kurutma hava hızının toplam kuruma süresi üzerinde önemli bir etkisi olduğu tespit edilmiştir. Ayrıca konvektif kurutucu ile farklı hızlarda çalışmanın parlaklık ve renk kalitesinin korunması açısından avantajlı olduğu sonucuna varılmıştır (Ozgen ve Celik, 2018)

Farklı sıcaklıkların (50, 60, 70 ve 80 °C) kumkuat dilimlerinin kuruma kinetiği üzerindeki etkilerini araştırmak amacıyla Izli ve diğerleri bir çalışma gerçekleştirmiştir. Bu çalışma, konvektif sıcak hava kullanarak kumkuatın kurutulmasını incelemeyi ve ince tabaka kurutma parametrelerinin belirlenmesinde farklı kurutma sıcaklıklarının etkisini ve kurutulmuş ve işlem görmemiş numuneler arasındaki renk, TP ve ATC içeriğindeki değişimi incelemeyi amaçlamaktadır. Kurutulmuş numunelerin diğer kalite özelliklerinde işlem görmemiş numuneye göre bir azalma olmuştur. Ayrıca, çeşitli sıcaklıklarda kurutulmuş örneklerin taze numuneye göre renk, toplam fenolik (TP) içeriği ve antioksidan kapasitesi (ATC) gibi kalite özellikleri belirlenmiştir (Izli vd., 2017)

Avokado, gıda endüstrisi için bir koruma zorluğu sunan besleyici bir meyvedir. Dantas ve diğerleri avokadolar üzerinde yaptıkları çalışmada avokadonun toz içecek olarak püskürtülerek kurutulmasıyla toz karışımların geliştirilmesi, besin değeri yüksek ve stabil ürünler üreten çekici bir seçenek olduğunu öne sürmüşlerdir. İki farklı avokado formülasyonu, rutma koşullarının toz karışımlar üzerindeki etkisini değerlendirmek için bir deney tasarımı kullanılarak püskürterek kurutulmuştur. Sonuçlar, daha küçük damlacıklarla kombinasyon halinde daha yüksek kurutma sıcaklıklarının daha yüksek verim, daha düşük kalıntı nem, daha düşük su aktivitesi ve yeşil renkli daha küçük, daha az yoğun parçacıklar ile sonuçlandığını göstermiş, ölçeklenebilir ve verimli bir kurutma işlemi kullanılarak avokadonun yüksek besin değerinin korunduğu gözlemlenmiştir (Dantas vd., 2018).

1.2 Tezin Amacı

Meyveler yüksek vitamin ve mineral içeren besin gruplarıdır. Bu sebeple, meyve tüketimi insan sağlığı açısından oldukça önemlidir. Öte yandan meyveler yüksek miktarda su içermektedir. Bu durumda yüksek enzimsel mikrobiyolojik etkinlik nedeniyle meyve, bozulmaya en yatkın gıda ürünlerinin başında gelmektedir. Bir meyve ürününün raf ömrünü artırmak, bu mikrobiyolojik etkinliğin durdurulması ile mümkündür.

Kurutma, besinlerin dayanıklılığını artırmak için uygulanan en eski yöntemlerden biridir. Kurutma veya dehidrasyon, suyun veya başka bir uçucu sıvının uzaklaştırılmasına dayanan fizikokimyasal dönüşümlerin eşlik ettiği kütle ve ısı transferlerinin bir arada olduğu işlemlerdir. Doğal olmayan yollardan, kurutucu kullanarak kurutmanın en büyük endişesi, kurutma süresinin doğal yöntemlere göre daha kısa olmasına rağmen enerjiyi yoğunlaştırmasıdır. Bunun sonucunda gıda maddesinin içeriğindeki besin değerlerinin kaybedilmesi veya tüketicinin satın almak istemeyeceği bir görüntüye sahip son ürün elde edilmesi bu yöntemlerin olası dezavantajlarından bazılarıdır.

Şu anda dünya çapında en önemli zorluklardan biri, hasat sonrası süreçte büyük bir kayıp meydana gelmesine sebep olan; başta meyve ve sebzeler olmak üzere gıdaların korunmasıdır. Konservasyonda daha iyi sonuçlar sunan alternatiflerden biri, suyun katı formdan ayrılmasını sağlayan yöntemlerden biri olan ve nem içeriğini mikrobiyal koşullarla bozulmanın güvenli ve önemli ölçüde en az seviyeye indirilmesinden oluşan en eski tekniklerden biri olan kurutmadır. Şu anda kuru ürünler hem tüketiciler hem de nakliyeciler tarafından tercih edilmektedir çünkü kuru ürün nakliye ve depolamayı kolaylaştırır, maliyetleri düşürür. (Cheng ve diğerleri, 2019).

Son on yıl içerisinde geleneksel yöntemlere alternatif olarak farklı kurutma yöntemleri endüstride ortaya çıkmaya başlamıştır. Bu yöntemlerin arasında mikrodalga kurutma, IR kurutma, sıcak hava ile kurutma ve dondurarak kurutma yöntemleri bulunmaktadır.

Literatürde günlük hayatta sıkça tüketilen meyveler için kurutma çalışmaları bulunsa da egzotik meyveler için yapılan çalışmalar yetersizdir. Çarkıfelek meyvesi ve guava meyveleri için literatürde hem yenilikçi (IR ve MW) hem de hibrit yöntemler kullanılarak yapılmış çalışma oldukça azdır. Bu proje kapsamında, çarkıfelek meyvesi ve guava meyveleri IR ve MW kurutma yöntemleri ile kurutulacak, ardından hibrit yöntem olarak önce içeriklerindeki su miktarının yarısı IR kurutucu, ardından kalan yarısı MW kurutucu,

sonrasındaysa içeriklerindeki su miktarının yarısı MW kurutucu, kalan yarısı ise IR kurutucu ile giderilecektir.

Yenilikçi ve hibrit yöntemler ile kurutulan çarkıfelek meyvesi ve guavanın fiziksel özellikleri incelenecek ve matematiksel modellemeleri yapılacak, efektif nem difüzyonları hesaplanacak ve aktivasyon enerjileri hesaplanacak ve farklı yöntemlerin ve sıcaklıkların bu parametreler üzerine etkileri incelenecektir.

Yapılacak matematiksel modellemeler sonucu çarkıfelek meyvesi ve guavanın ince tabaka kurutmadaki davranışı incelenecektir.

Bu çalışmanın temel amaçları;

- Deneysel IR ve MW kurutma eğrilerini literatüre dayalı olarak 15 farklı ince tabaka kurutma modeline uygunluğunu incelemek ve en iyi modeli bulmak.
- Numunelerin aktivasyon enerjisini ve etkin difüzyon katsayısını hesaplamak.
- Çarkıfelek meyvesi ve guava dilimlerinin kurutma özellikleri üzerindeki sıcaklık ve güç seviyesi etkisini araştırmaktır.

1.3 Orijinal Katkı

İnsan sağlığı üzerindeki olumlu etkileri sebebiyle pazar payında yüksek potansiyeli olan egzotik meyveler içerisinden guava ve çarkıfelek meyvesinin kurutulması hakkında literatürde yapılan çalışma sayısı oldukça yetersizdir. Bu egzotik meyvelerin içerdiği yüksek nem miktarı sebebiyle bozulmadan nakliye ve muhafaza edilmeleri oldukça yüksek maliyetlidir. Bu nem giderilerek egzotik meyvelerin raf ömürleri uzatılabilir.

Proje sonunda farklı parametreler için ayrı ayrı efektif nem difüzyon katsayıları, aktivasyon enerjileri ile renk sonuçlarından değişen kurutma yöntemini değişen sıcaklıklar ile birlikte egzotik meyvelerden çarkıfelek meyvesi ve guavaya nasıl bir etki yaptığı anlaşılacaktır. Renk bakımından daha uygun olan meyvelerin belirlenen kurutma türü ile kurutulmasının ardından rahatça tüketilebileceği beklenmektedir. İlerleyen zamanlarda bahsedilen yenilikçi ve hibrit yöntemler ile kurutulan egzotik meyvelerin marketlerde satılması ve yaygınlaşması beklenmektedir.

2
EGZOTİK MEYVELER

Meyveler canlı ve metabolize edici dokulardan oluşur; bu nedenle meyveler zaman, sıcaklık ve fiziksel kullanım streslerine dayanamazlar. Meyvelerin önemli bir kısmı, hastalık, aşırı üretim, yetersiz çeşit, uygun olmayan hasat ve hasat sonrası uygulamalar, uygun olmayan nakliye koşulları ve kötü depolama koşulları nedeniyle en yoğun üretim döneminde israf edilmektedir.

Meyveler, vücudumuzun çeşitli hastalıklarla savaşma gücünü artıran çeşitli biyoaktif nutrasötikler içeren günlük diyetimizin önemli bileşenleridir. Diyabet ve obezite dahil olmak üzere çeşitli sağlık sorunlarının tedavisi için geleneksel tedavilerde çeşitli etnik ve coğrafi olarak spesifik meyveler kullanılmaktadır (Babio, Bulló ve Salas-Salvadó, 2009).

Bir zamanlar sınırlı coğrafi bölgelerde yaşayan insanlarla sınırlı olan egzotik meyveler, egzotik olmayan ülkelerde oldukça yaygın bir yiyecek haline gelmiştir. Egzotik meyveler, yerli olmayan ve dışarıda yetiştirilen, menşe yerinde bulunan meyvelerdir. Bu da onları pahalı ve ulaşılması daha zor bir hale getirir. Bu sebeple bu meyvelerin israf edilmesi, bozulması ve tüketilemeyecek bir hale gelmesi hem ekonomiye hem de ulaşılabilirliğe zarar verir.

Çeşitli kaynak kısıtlamaları nedeniyle, egzotik meyvelerin anti-diyabetik ve anti-obez potansiyeli yeterince çalışılmamıştır. Bu nedenle, küresel bilim topluluğunun diyabet, obezite ve metabolik sendromun patogenezini önlemek için bu egzotik meyvelerin ve bileşenlerinin potansiyelinin daha fazla değerlendirilmesi hem insan sağlığı hem de literatüre katkı sağlaması açısından oldukça önemlidir.

Bazı egzotik meyvelere örnek olarak; yıldız meyvesi, ejder meyvesi, mangosten, liçi, durian, boynuzlu kavun, jabuticaba, çarkıfelek meyvesi, guava, yıldız elması, kurt üzümü, frenk üzümü, ananas, yaban mersini, kumkuat, pepino ve demirhindi verilebilir.

Uygun olmayan saklama koşulları ve kapları, fazla paketleme ve dikkatsiz kullanım, nakliye ve depolama esnasında meyvelerin veya köklerin, yumruların ayrılması, iç çürükler ve çiziklerin meydana gelmesi, meyvenin dış kabuğunun kazınması veya morarması gibi hasarlar çürümeye neden olan küf ve bakteriler için giriş noktaları sağlar, bunun sonucunda meyvelerde bozulmalar gerçekleşir (Mujumdar, 2011)

Meyveleri soğukta muhafaza etmek bozulmalarının önüne geçmek için uygulanabilecek seçeneklerden biridir. Ancak bu metot, tropikal kökenli olan ve düşük sıcaklıklara duyarlı olan egzotik meyveler için uygulanabilir değildir. Meyvelerin sıcaklığa karşı gösterebildiği tolerans seviyesi meyve türüne göre değişebilmektedir (Malik, 2006).

2.1 Çarkıfelek Meyvesi (Passiflora edulis)

Çarkıfelek meyvesi, birçok çarkıfelek türünden birisi olduğundan dolayı bu isim ile anılır ve Latince *Passiflora* kökeninden gelir. Bu cinsin türleri, Yeni Dünya'nın daha sıcak ve tropik bölgelerine dağılmışlardır; Asya, Avustralya ve Afrika'da çok daha nadir görülmektedirler. Çarkıfelek meyvesi, lezzetli bir meyve veren ve mor ve sarı meyveli formlarda oluşan odunsu, çok yıllık bir asmadır. Meyve küresel veya oval, mor veya sarı renkli ve 4 ila 7 cm çapındadır. Kalın bir kabuğun içinde, aromatik sarı veya portakal suyuyla dolu küçük keselerde sarılı birçok koyu kahverengi ila siyah renkli tohum bulunur. Çarkıfelek meyveleri, sarı forma göre daha küçük fakat daha aromatiktir.

Enlem ve boylam, bunlarla ilişkili sıcaklıklar dışında bir kısıtlama değildir. Mor çarkıfelek meyvesi en iyi subtropikal iklimde yetişir ve sarı çarkıfelek meyvesi, tam mevsimlik sıcak gün ve gecelerin olduğu tropik bir iklimi tercih eder. Mor ve sarı çarkıfelek meyvesi, ince dişli kenarlara sahip, 10-18 cm (4-7 inç) uzunluğunda üç loblu yapraklara sahiptir (Knight ve Sauls, 1994).

Bununla birlikte, sarı çarkıfelek meyvesi bile -5°C'ye kadar sıcaklıklarda hayatta kalabilir. Yabani bitkiler, ormanlarda, dere altlarında, terk edilmiş çiftlik ve ihmal edilmiş şehir arazilerinde bulunur. Genç bitkiler ise çiftlik hayvanları tarafından yenir, bu nedenle çarkıfelek meyvesi orta veya yoğun otlatma bölgelerinde neredeyse hiç bulunmaz. Çok sayıda böcek, mantar ve virüs türleri bitkilere saldırmak için hazır bekler [5].

Şu anda, Passiflora cinsinin yaklaşık 400 türü bilinmektedir ve bunların çoğu, 120'si Brezilya'dan olmak üzere Tropikal Amerika kökenlidir. Bu türlerin çoğu yenilebilir (Bernacci vd., 2003). Sarı çarkıfelek meyvesi, meyvelerinin kalitesi, canlılığı, verimi, sululuğu (Meletti & Brückner, 2001) ve tüketicinin tercihi nedeniyle çarkıfelek meyvesi yetiştirme alanının %95'ini oluşturur.

Hem sarı hem de mor çarkıfelek meyveleri askorbik asit içerir. Mor çarkıfelek meyvesi çeşidi sarı çarkıfelek meyvesine oranla biraz daha yüksek askorbik asit içeriği içerir. Askorbik asit, iyi antioksidan özelliklere sahip organik bir asittir ve iyi bir C Vitamini kaynağıdır. Mor çarkıfelek meyvesi türünün şeker:asit oranı 5:1'dir. Sarı çarkıfelek

meyvesinin şeker:asit oranı 3:8'dir. Mor çarkıfelek meyvesi genellikle sarı çarkıfelek meyvesinden daha tatlıdır. Çarkıfelek meyvesinin besin içeriği; potasyum, A vitamini, C vitamini, niasin ve lif bakımından yüksektir ve sodyum, kolesterol ve doymuş yağlar bakımından düşüktür [5].

Çarkıfelek meyvesi zengin, güçlü ama hoş bir aromaya sahiptir. Seyreltilmemiş meyve suyu oldukça konsantredir ancak diğer meyve suları için mükemmel bir katkı maddesidir veya su ve şeker eklendiğinde meyve suyu olarak içilebilir. Meyvesinin suyundan mükemmel bir jöle, turta dolgusu veya kek sosu yapılabilir. Etrafındaki meyve suyu keseleri olan tohumlar genellikle Avustralya'da meyve salatalarına eklenir. Mor çarkıfelek meyvesinin meyvesi (sarıdan daha tatlı ve daha az asitli) tek başına, çekirdekleri ve hepsi yenilebilir (Knight ve Sauls, 1994).

Kökeni Güney Amerika olan çarkıfelek meyvesi artık dünya çapında gıda endüstrisi için yenilebilir bir meyve olarak yetiştirilmektedir. Güney Amerika'da halk hekimliğinde anksiyete, uykusuzluk, astım, bronşit ve idrar enfeksiyonlarını tedavi etmek için yaygın olarak kullanılmaktadır (Zibadi, 2012)

Birkaç klinik öncesi deneyde; çarkıfelek meyvesi özlerinin, iltihaplanma, ağrı ve uykusuzluğun yanı sıra dikkat eksikliği hiperaktivite bozukluğu, hipertansiyon ve kanser tedavisi için potansiyel etkilere sahip olduğu görülmüştür. (Spencer ve Seigler, 1983) Proinflamatuar sitokinlerin, enzimin (miyeloperoksidaz) ve aracıların (bradikinin, histamin, P maddesi, ni-trik oksit) salınımının ve/veya etkisinin inhibisyonu dahil olmak üzere çeşitli mekanizmalar, çarkıfelek meyvesinin eylemlerini açıklıyor görünmektedir. Çarkıfelek meyvesinin yaprakları ve gövdeleri antinosiseptif, antitümör, antimikrobiyal ve antioksidan aktiviteler göstermiştir (Patel, 2009).

Çarkıfelek meyvesi tüm dünyada yaygın olarak bulunur. Çalışmalar, anti-inflamatuar, antimikrobiyal, lipid düşürücü, antioksidan ve anti-tümörde çarkıfelek meyvesi etkin kullanımını ortaya koymuştur. Bitki artık nesli tükenmekte olan türler haline geldiğinden, bu bitkinin yetiştirilmesi için tarımsal ve iklim koşulları üzerinde daha fazla çalışma yapılabilir (Patel, 2009).

Çarkıfelek meyvesi genel olarak reçel, jöle ve meyve sularında kullanılır. Tıbbi amaçlar için yatıştırıcı olarak ve ayrıca değerli bir besin kaynağı olarak da kullanılır. Yenilebilir bir meyve olarak, çarkıfelek meyvesini diyete lezzetli ve sağlıklı bir katkı sağlayan asitler ve şekerler, besinler ve besleyici olmayan fitokimyasallar gibi çeşitli bileşenler içerir.

Bitkinin tamamı; özellikle yaprakları, alkaloidler ve bir dizi başka fitoaktif kimyasal içerir. Bunlar arasında bilinen bir yatıştırıcı ve sakinleştirici olan passiflorin bulunur. Yaprakların özleri yüzyıllardır yerli Brezilyalılar tarafından sakinleştirici olarak kullanılmıştır. Bitki ayrıca idrar enfeksiyonlarını tedavi etmek için idrar söktürücü olarak kullanılır (Joy, 2010).



Şekil 2.1 Çarkıfelek meyvesi (*passiflora edulis*) [1]

2.2 Guava (Psidium Guavaja)

Guava (Psidium guajava), Myrtaceae familyasının bir üyesidir. Psidium cinsi yaklaşık 150 tür içerir ancak Psidium guajava bu cinsin en önemli meyvesidir (Pommer ve Murakami, 2009).

Guava'nın, Güney Meksika'dan Orta Amerika'ya veya Orta Amerika'ya uzanan bir bölgeden geldiğine inanılmaktadır (Morton, 1987). İspanyollar ve Portekizliler, guava meyvesinin dünyanın diğer bölgelerine dağıtımından sorumlu olarak kabul edilir.

Guava ağacının çeşitli topraklara ve iklimlere geniş ölçüde uyarlanabilirliği, dünya çapında tropikal ve subtropikal bölgelerde doğallaşmasını kolaylaştırmış olabilir. Botanik olarak guava meyvesi bir duttur. Meyveler orta ila büyük boydadır, ortalama ağırlığı 100-250 g ve çapı 5-10 cm'dir ve tepede dört veya beş çıkıntılı çiçek artıkları (çekirdekler) vardır (Şekil 2). Çeşitlerine bağlı olarak, meyveler küresel, oval veya piriform olabilir. Meyve yüzeyi pürüzlü ilâ pürüzsüzdür, tüylenme yoktur. Olgunlaşmamış ve olgunlaşmamış meyvelerin kabuk rengi çoğunlukla koyu yeşil olup, çeşide bağlı olarak olgunlaşma döneminde sarımsı-yeşil, uçuk sarı ve omuzlarda kırmızı allık ile sarıya dönüşür (Upadhyay, 2019).

Guava ilk olarak tropik Amerika'da tanıtılsa da aslında Hindistan'da yetiştirilmeye başlanmıştır ve bir Hint meyvesi olarak kabul edilmektedir. Hindistan'ın hemen hemen tüm bölgelerinde yetişir. İçerdiği C vitamini miktarı ve besin değerleri ile diğer meyvelerin önüne geçer. Meyvenin besin değerlerinin dışında, her yıl verdiği büyük hacimli mahsul, az bir masraf karşılığında yüksek bir ekonomik dönüş sağlar. Ekstrem sıcaklıklar, sıcak rüzgarlar, verimsiz ve kurak topraklar, tuzlu su, sağanak yağmurlar ve hepsinden öte; susuzluk ve gübresizlik bu meyvenin yetiştirilmesini ve verimini etkilemez. Bu sebeple birçok çiftçi guavayı ticari ölçekte yetiştirmektedirler (The guava, 2021). Hindistan'da ve ayrıca hemen hemen her eyalette 1500 m'ye kadar ekili gıda maddesi olarak bulunur (Chaturvedi vd., 2019)

Guava (Psidium gujava), genellikle taze tüketilen dünya çapında popüler bir tropikal meyvedir. Meyveler, beslenme profilinde düşük karbonhidrat, yağ ve protein içeriği ve yüksek oranda C vitamini ve polifenoller ve karotenoidler gibi fitokimyasallar ile karakterize edilir. Guava'nın metabolik bozukluklar, bağırsak enfeksiyonu, diyabet ve obezite için geleneksel terapötik faydaları iyi bilinmektedir; Guava'nın temel beslenmesinin ötesinde bu önemli fizyolojik özellikleri, gıda endüstrisinde gelecekteki bir araştırma ve geliştirme dalgası yaratır (Upadhyay, 2019).

Guava, likopen, ksantin, lutein, vitaminler, mineraller, tanenler, saponinler, enzimler, alkaloidler, glikozitler, proteinler, seskiterpenoid, alkoller, triterpenoid asitler, steroidler ve flavanoidler gibi birçok önemli bileşiğe sahiptir (Dakappa et al., 2013).

Guava yaprakları, β-copanene, β-sitosterol, guayavolik asitler, farnesen, β-bisabolen, caryophyllene oksit, izopropil alkol, longicyclene, ursolic, limonene, caryophyllene, α-pinene, β-pinenementhol, nerolidiol gibi çeşitli kimyasal bileşenler içerir. (Dakappa et al., 2013).

Guava meyvesi içerisinde çeşitli ve faydalı bir beslenme paketi bulunur. Meyvede bulunan karbonil bileşikleri meyveye özel bir koku verir. Genç meyvelerde yüksek miktarda tanecikler bulunur. Meyve kabuğu askorbik asit açısından önemli bir kaynaktır. Meyvenin büyük kısmı manganez, tiamin, riboflavin, niasin, demir ve A vitamini içerir. Su da meyvenin ana bileşenidir. Lipitler, protein ve karbonhidratlar az miktarda bulunur (Gutierrez RM, 2008).

Geleneksel olarak guava, farklı hastalıkların tedavisi için kullanılır ve farklı kısımları farklı amaçlar için kullanılır. Farklı ülkelerde guava çeşitli amaçlar için kullanılmıştır.

Örneğin; Brezilya'da, anoreksiya, ishal, sindirim bozuklukları, mukoza iltihaplanmaları, ülser, boğaz ağrısı ve mide yetmezliği tedavilerinde, Peru'da öksürük, ishal, akciğer hastalıkları, vertigo, dizanteri ve bağırsak kurdu tedavisinde, Filipinler'de boğaz ağrısı ve yara tedavisinde, Meksika'da karın ağrısı, ülser, bağırsak kurdu, kaşıntı ve uyuz tedavisinde, Küba'da soğuk algınlığı, hazımsızlık ve dizanteri tedavisinde, Haiti'de ise dizanteri, ishal, cilt yaraları, epilepsi, kaşıntı, uyuz, ülser ve kanama tedavisinde kullanılmıştır (Kamath vd., 2008)

Guavanın antioksidan özelliklerini belirlemek ve portakal ve muz gibi diğer meyvelerle karşılaştırmak için bir çalışma yapılmıştır. DPPH testi ve Fe testi sonucu yüksek fenolik bileşikler ve askorbik asit varlığı ile guavanın diğer meyvelerden daha fazla birincil antioksidan potansiyeline sahip olduğu gözlemlenmiştir (Jiménez-Escrig vd., 2001; Lim et. al, 2006; Thaipong vd. , 2006). Tohum ekstraktının antioksidan potansiyeli (aseton, metanol, etanol, izo-propanol) belirlenmiştir (Hussein vd., 2011).

Guava, yenilebilir meyveler için tropik bölgelerde yetiştirilen iyi bilinen faydalı bir ağaçtır. Besin değeri yüksektir ve antidiyabetik, antibakteriyel, antidiyareik, antioksidan, antikanser, antimikrobiyal, ateş düşürücü ve iltihap önleyici olarak işlev görür. Kabuğu birçok fitokimyasal içerir ve meyvesi vitaminler (A ve C), mineraller (demir, fosfor ve kalsiyum) açısından da zengindir. Guava bitkilerinde bulunan fenolik bileşikler kanser ve cilt hastalıklarına karşı oldukça etkilidir. Yapraklar, fungistatik ve bakteriyostatik ajan özelliklerine sahip oksidanlar içerir. Guava, biyolojik aktivitelerinden dolayı farklı hastalıkların önlenmesi ve tedavisi için kullanılabilir.

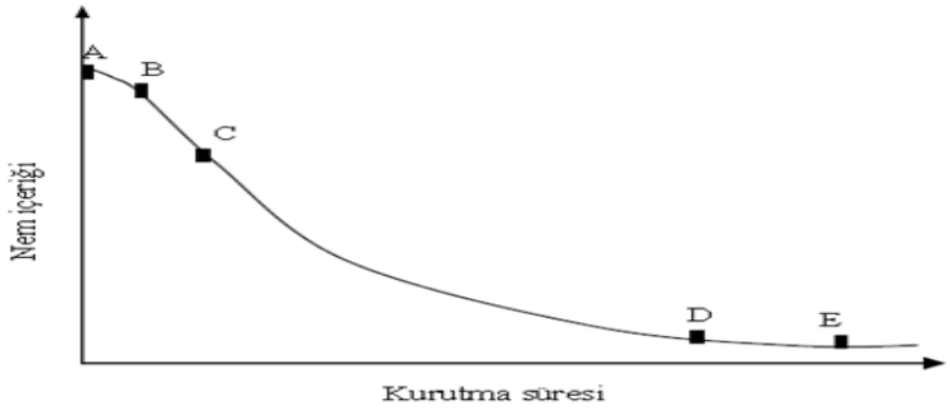


Şekil 2.2 Guava meyvesi (*guavaja psidium*) [2]

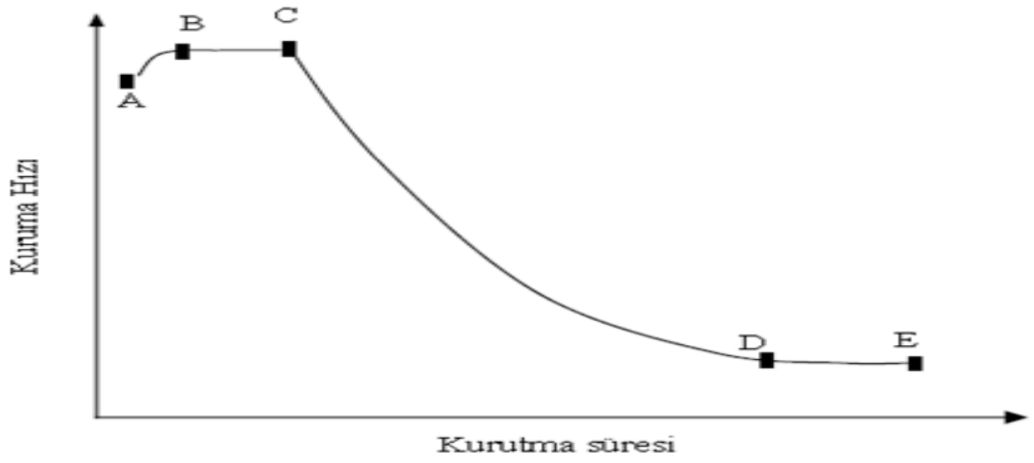
3
KURUTMA

Katı maddelerde nemin ayarlanması, birçok ürün çeşidinin imalatında önemli bir süreçtir. Bir birim işlem olarak kurutma, kimya endüstrisinde en yaygın ve önemli işlemlerden biridir. Kurutmanın amacı, birçok durumda malzeme üretimini sağlamak ve nakliyede ek ağırlıktan kurtulmaktır. Kurutma, suyun veya başka bir sıvının buharlaştırma yöntemiyle uzaklaştırılmasına dayanan fizikokimyasal dönüşümlerin eşlik ettiği bir kütle ve ısı transferi işlemidir. Sıvının buharlaşması için, ısı ürüne aktarılır ve kütle, çevreleyen gazda bir buhar olarak yer değiştirir. Sıcaklık ve basınç gibi kurutma koşullarının seçimi, kurutulan ürünün fizikokimyasal özelliklerine bağlıdır. Çekici son ürün, katı kurutma işleminde katı haldedir. Kurutulmuş katıların son nem içerikleri genellikle %10'dan küçüktür ve birçok numunede %1'den küçüktür. Çeşitli farklı kurutma yöntemleri vardır (Saravacos, 2001).

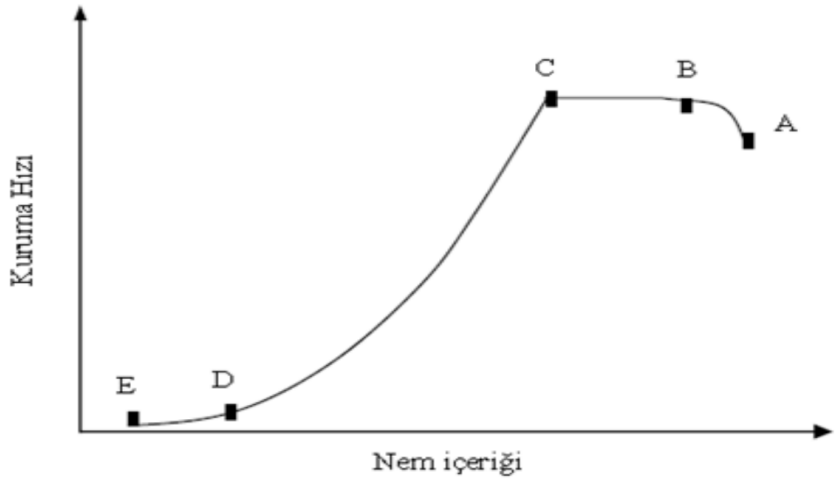
Kurutulan maddelerin nem düzeyi ile kuruma kinetikleri arasındaki ilişki aşağıda verilen kuruma eğrileri ile belirlenebilir.



Şekil 3.1 Ürün nem içeriğinin kurutma süresi ile değişimi [3]



Şekil 3.2 Kurutma hızının kurutma süresi ile değişimi [3]



Şekil 3.3 Kurutma hızının nem içeriği ile değişimi [3]

A – B Bölgesi: Kurutulan maddelerin yüzey koşullarının işlem yapılan kurutma sıcaklığı ile dengeye geldiği bölgedir. Bu bölgede genellikle bir artış görülmesinin yanında bu bölge kurutma işleminin tamamının çok az bir kısmını oluşturduğundan bu durum genel olarak kurutma işlemi incelenirken göz önünde bulundurulmayabilir.

B – C Bölgesi: Kuruma süresi artarken kuruma hızının sabit kaldığı bölge olarak bilinir. Bu periyot içerisinde madde yüzeyi ile suya doymuş durumdadır. Bu bölgede kuruma hızı ısı ve kütle transferine bağlıdır. Isı ve kütle transferinin sabit olduğu gözlemlenen B – C bölgesinde bu sebeple madde yüzeyindeki sıcaklık sabit kalır. Kurutma işleminde kuruma süresini belirleyen üç önemli parametre vardır:

- Madde yüzeyi ve kurutma atmosferi arasındaki sıcaklık veya nem farkı
- Isı ve kütle transferi katsayısı
- Kurutulan maddenin yüzey alanı

C – D Bölgesi: Kuruma hızının difüzyon hızını geçerek kurutma hızının düşmeye başladığı, başka bir deyişle kurutma yüzeyinde tamamen kurumanın gerçekleştiği bölgedir. Bu noktada maddenin içerisindeki nem miktarına kritik nem adı verilir. Kritik nem, her madde için farklıdır ve ayırt edici bir özelliktir. Kritik nem miktarı kuruma hızı, kurutulan maddenin boyutu ve nem içeriğine göre değişkenlik gösterir [3].

Kurutma, birçok gıda maddesinin işlenmesinde son aşamada vazgeçilmez bir birim işlemdir ve bu nedenle üretilen ürünün kalitesini büyük ölçüde belirler. Gıdaların kurutulması, gıda endüstrisinde büyük miktarlarda enerji tüketen önemli bir proses işlemidir. Bunların yanı sıra, her ürünün içerisindeki su miktarı farklı olduğu ve ürünün gözenek yapıları birbirinden farklı olduğundan kurutma işlemi ürüne özgü olarak seçilmelidir. Bu sebeple endüstride kullanılan kurutma prosesleri tek tip değil, çeşitlidir.

Kurutma prosesi, gıda ürünlerini saklamaya uygun hale getirmek için primer proses olarak gerçekleştirilebileceği gibi, bazı ürünlerin üretim proseslerinde sekonder proses olarak da gerçekleştirilebilir (Fusco vd., 1991; Senadeera vd., 2003). Daha uzun raf ömrü, lezzetlilik, ürün çeşitliliği ve önemli miktarda hacim azalması, kurutulmuş ürünlerin popülaritesinin nedenleridir (Chauhan ve Srivastava, 2009). Bu, ürün kalitesi ve süreç uygulamasındaki iyileştirmelerle daha da genişletilebilir. Aynı zamanda doğru ürüne doğru kurutma prosesini uygulamak da süreçlerin geliştirilmesi ve daha kaliteli bir son ürün elde etmeyi sağlar. Bu sebeple kurutulacak ürüne özgü kurutma çalışmaları gerçekleştirilerek proses türüne karar verilmelidir.

Kurutma bir dizi yakın eşanlamlıya sahiptir. Dehidrasyon, bir malzemeyi suyundan yoksun bırakma veya bileşen olarak su kaybı işlemidir. Terim, genellikle gıda kurutma işlemlerinde, nemi dışarı atmaya çalışan, ancak orijinal materyaldeki diğer uçucu bileşenleri tutan ve değerli aromatik ve aroma özelliklerinden sorumlu olan süreçleri tanımlamak için kullanılır. Kurutma, suyun daha kapsamlı bir şekilde uzaklaştırılması anlamına gelir. Gıda maddelerinin kurutulmasında, muhafaza amacıyla bu malzemelerin neredeyse tamamen dehidrasyonunu belirtmek için uygulanır. Terim, aynı zamanda, gazlardan nemin tamamen uzaklaştırılmasını tanımlamak için de yaygın olarak kullanılır.

Su ayrıca ozmotik dehidrasyon ile de uzaklaştırılabilir. Gıdalar, sınırlı çözünen alımı ile suyun önemli ölçüde çıkarılmasını sağlamak için konsantre tuz veya şeker çözeltileri ile işlenebilir. İşlem, su ve çözünen maddenin birleştirilmiş difüzyonu açısından tarif edilmiştir [Raoult-Wack et al. (1989)]. Çamurlar, harici bir doğru akım alanının etkisiyle susuzlaştırılmıştır; bu elektro-ozmoz olarak bilinir (Yoshida ve Yukawa (1992). Bu ozmotik teknikler aynı zamanda ısı ve kütle transfer süreçleri alanının dışındadır.

3.1 Kurutma Yöntemleri

Endüstrinin pek çok alanında kullanılan kurutma işlemi için kullanılan pek çok farklı kurutma yöntemi bulunmaktadır. Farklı tipte maddeleri kurutmak için farklı özelliklere sahip kurutucuların kullanılması gerekmektedir. Doğru kurutucunun kullanılması elde edilen son ürünün hem besin içeriği açısından hem de görsel açıdan kalitesini etkiler. Bu sebeple endüstride farklı alanlarda kullanılacak kurutma yöntemleri ürüne özgü ve doğru bir biçimde seçilmeli, aynı zamanda seçilen yöntemin maliyeti de göz önünde bulundurulmalıdır.

3.1.1 Mikrodalga Kurutma

MW kurutma, yüksek kurutma hızına sahip olması sebebiyle gıda maddelerini kurutmak için yaygın olarak kullanılır. MW kurutma, elektromanyetik alandan faydalanır ve bu sayede kurutma malzemesinin içindeki suyu hedef aldığı klasik kurutma yöntemlerinden farklılaşır. Üründeki suyun uzaklaştırılması için gereken süre çok kısa bir süre olup, suyun malzemenin içinden dışarıya bu transferi ortamın buhar basıncının farkına bağlı olarak gerçekleşir. Bu sayede klasik kurutma yöntemlerinde ısı transferi sorunu ortadan kalkmaktadır (Karaaslan, 2012). Bu yöntemin dezavantajları da vardır. Bunların bazıları yatırım maliyetinin yüksek olması, aroma kaybı, fiziksel hasar, bilinçsiz kullanımda olası tehlikeler, kurutma ortamında homojen MW dağılımının sağlanamaması olarak sayılabilir. MW ile kurutulmuş ürünlerin bazılarındaysa ciddi fiziksel hasarlar oluşabilir ve ürünler tüketilemeyecek bir forma ulaşabilir. Genel olarak MW kullanılan yöntemlerin hepsinde 4 temel değişken vardır: İşlemin hızı, enerji verimi, prosesin maliyeti ve kurutulmuş ürünlerin kalitesi (Gunasekaran, 1999).

Chandrasekaran et al., 2013 yılında MW kurutucunun bir ön işlem olarak kullanıldığı durumlarda, bu hasarın önüne geçilebildiği ve daha kısa süren bir kurutma işleminin gerçekleştirilebildiğini söylemiştir. Fakat, ısıya duyarlılığı yüksek olan meyve ve sebze ürünlerinde MW ön işlemli güneşte kurutma yöntemi sonucu ürünlerin renginde kararma

gözlemlendiği, ve yüksek ısı duyarlılığı sebebi ile ürünlerin içerisindeki besin değerlerinde bozulmalar gerçekleştiği gözlemlenmiştir (Giri ve Prasad, 2007; Wang vd., 2013).



Şekil 3.4 Mikrodalga fırını [4]

3.1.2 Etüv Kurutma

Etüvler, endüstride birçok alanda farklı amaçlarla kullanılmalarının yanında gıda sanayiinde de gıda maddelerini hızlı ve düşük maliyetle kurutmak için kullanılan bir alternatif kurutma yöntemidir. Kontrollü sıcaklık seviyelerine erişimi sayesinde nem içeriklerinin buharlaşmasını kolaylaştırır ve hızlı bir kurutma sağlar. Etüvlerin içerisinde gezen sıcak hava genellikle geri dönüştürülerek ısıtma maliyeti düşürülür. Aynı zamanda ısı kaybını önlemek için yapımında yalıtkanlar kullanılır (Azizov, 2015).

Etüvlerin çalışma mekanizması ve kullanımı oldukça kolaydır. Bu kullanım prensibi şu şekilde açıklanabilir:

- Kurutulmak istenen numune, sıcaklığı ayarlanmış ve önceden ısıtılmış etüv içerisine yerleştirilir.
- Cihazın panelinden gerekli tüm parametreler kurutulacak malzemenin yapısına uygun bir şekilde girilir.
- Etüv, ısıtma odası içerisinde havayı ısıtmaya başlar.
- Isıtma odasının içi tamamen ısınana dek hava üfleyici soğuk havayı içeriye üfler. Böylece ısınan soğuk hava ısıtma odası içerisinde sirkülasyona sebep olur.
- Bu sirkülasyon sonucunda homojen bir kurutma sağlanmış olur. Isıtma odasına eşit bir şekilde dağılan sıcaklık kurutulan malzemenin her yerinde eşit bir kurutma gerçekleşmesini sağlar.
- Kurutma işlemi esnasında ısıtma odasının içerisindeki bağıl nem korunur (Mujumdar, 2009)



Şekil 3.5 Etüv [5]

3.1.3 Dondurarak Kurutma

Dondurarak kurutma veya liyofilizasyon yöntemi, bir üründen buz veya diğer donmuş çözücülerin çıkarılması için süblimasyon sürecini kullanır. Süblimleşme, katının sıvı hale geçmeden doğrudan gaza dönüştüğü fiziksel hal değişimidir. Dondurarak kurutma işleminin başarılı olması ve verimin yüksek olması için ürünün seyreltme süresinin kısa olması gerekir. Bu yöntem, daha uzun bir raf ömrü sağlamayı teklif eder. Bu yöntem endüstride rafine kimyasallar ve seçici filtrelerin hazırlanmasında da kullanılmaktadır. Dondurularak kurutulmuş malzemeler çok hafiftir. Dondurarak kurutma yönteminde yer alan üç aşama (Reyes vd., 2017):

i) Dondurma
ii) Birincil kurutma
iii) İkincil kurutma

Bu üç aşamada dondurarak kurutma işlemi, dondurma, süblimasyon, desorpsiyon, vakum pompalama ve buhar yoğunlaşması olmak üzere beş temel aktiviteyi içerir (Liu vd., 2008) İlk olarak, sıvı partiküller düşük sıcaklıklara kadar soğutulur ve ürünün içerisinde bulunan su tamamen dondurulur. Daha sonra, indirgenmiş basınçta, donmuş çözücü ısıtılır ve katı halden doğrudan buhar fazına, yani süblimasyonla kurutma işlemine (birincil kurutma) çıkarılır. Bunu, donmamış çözücünün uzaklaştırılması için bir desorpsiyon işlemi (ikincil kurutma) takip eder. Bu nedenle, dondurma ve kurutma, dondurarak kurutma işlemi sırasında gerçekleşen eşit derecede önemli iki ana işlemdir (Tang ve Pikal, 2004).



Şekil 3.6 Liyofilizatör [6]

3.1.4 Güneşte Kurutma

Güneşte kurutma, düşük maliyet ve basit işlem başarısı gibi diğer yöntemlere göre avantajlara sahiptir. Yenilenebilir enerji kaynaklarından biri olan güneş enerjisi, kurutma işlemlerinde kullanıldığı takdirde ortaya atık çıkaran veya fosil yakıtlar kullanılarak gerçekleştirilen alternatif kurutma yöntemlerine göre daha doğa dostu, düşük maliyetli ve güvenli bir yöntem olarak ortaya çıkmaktadır.

Fakat bu avantajların yanında elbette bazı dezavantajları da bulunmaktadır. Bu dezavantajlardan bazıları, hava koşullarının tahmin edilemezliği, ortamdan kirlilik ve kurutma koşullarının kontrolünün zorluğudur. Kurutulan ürün, toz ve böcek gibi kirleticiler içerebilir ve mikrobiyal aktivite meydana gelebilir. Ayrıca uzun kuruma süresi ve geniş kurutma alanları gerektirir. Gerekli hava koşulu, havada nem bulunmayan kuvvetli rüzgarlar ve sıcak güneş ile sınırlıdır (Jayaraman, 2006).

Güneşte kurutma işleminin büyük ölçekli üretimlerde kullanılması uygun olmayabilir. Büyük ölçekli sistemlerde kullanılan güneşte kurutma yöntemi sonucu eşit olmayan bir kurutma işlemi gerçekleşebilir veya ürün kontaminasyona uğrayabilir. Bu durumda güneşte kurutmaya bir alternatif olarak güneş panelli kurutma sistemleri kullanılabilir.

Güneş panelli kurutma sistemleri aynı güneşte kurutma yönteminde olduğu gibi enerji olarak yenilenebilir bir enerji türü olan güneş enerjisini kullanır ve bu sebeple çevre dostu ve düşük maliyetlidir. Bu özellikleri sonucu elektriğe erişimin kısıtlı olduğu az gelişmiş ülkelerde de kullanılan bir alternatif yöntemdir.



Şekil 3.7 Güneş panelli kurutma sistemi [7]

Bir kurutma odasındaki sıcaklık, pasif veya aktif yöntemlerle daha yüksek verim için belirli bir mahsul için optimum seviyede tutulmalıdır. Güneş enerjisi kurutucusunun yaşam döngüsü maliyet analizi, inşaat için ilk yatırım, işletme maliyeti, yıllık bakım maliyeti, son olarak kurutulacak mahsulün yıllık maliyeti ve güneş enerjisi kurutucusunun ömrü ve kurtarma değeri gibi çeşitli faktörlere bağlıdır (Barnwal ve Tiwari, 2008).

3.1.5 Akışkan Yataklı Kurutucu

Akışkan yataklı kurutucuda, sıcak havanın katı parçacıklardan oluşan bir yataktan yüksek hızda geçirilmesiyle ürünler üzerindeki yerçekimi kuvvetleri yükselir. Artan hız, bir noktaya kadar kuruma hızını arttırır. Bu nedenle hız optimum bir oranda tutulmalıdır. Bu yöntemin avantajları, yüksek kütle ve ısı transferi, yüksek termal verim, kurutma için kısa temas süresi ve basit kontrol ile sonuçlanan yüksek su giderme oranlarıdır. Akışkan yataklı kurutucunun dezavantajları, organik çözücülerin uzaklaştırılması gerektiğinde kullanılamaması, daha fazla gaz işleme gerektirmesi ve besleme çok ıslak olduğunda akışkanlaştırma ve esnekliğin zayıf olmasıdır (Mujumdar, 2015).

Akışkan yataklı kurutucular aynı zamanda düşük sıcaklıklarda işlem gördüğünden ürünün içerisindeki mikrobiyal hareketliliği de kısıtlar ve bu koşullar altında yüksek oranda kütle transferini sağlayabilir. Bu durum ısı duyarlılığı yüksek maddelerin kurutulmasında bu yöntemin tercih edilmesine de sebep olmaktadır (Shewale vd., 2019).

Akışkan yatak; kurutma, sentez gibi proseslerde sıklıkla kullanılan bir metottur. Küçük ve yapışkan olmayan partiküllü maddelerin kurutulmasında diğer yöntemlere göre

üstünlük gösterir. Partiküllerin yerleşme derecesinden daha yüksek bir hızda verilen hava sonucu katı partiküller hareket etmeye başlar ve akışkan bir görünüm sergilerler. Bu sistemde sıcak hava kullanılması ürünün kuruma hızını artırır (Parlak vd., 2013). Sıcak havanın etkisiyle kuruyan partiküller verilen hava sayesinde devamlı hareket halinde olduğundan eşit bir kuruma gerçekleştirilir ve bu da kuruma süresinin kısalmasını sağlar (Kumar ve Belorkar, 2015).

Guignon vd., 2002 yılında yaptığı çalışmada kapsüllenmiş katı parçacıkların akışkan yatakta kurutulmasını incelemiştir. Birkaç ıslatma ve kurutma işleminden sonra bir film yapısının oluştuğunu gözlemlemişlerdir. Prosesi etkileyen ana parametrelerin ise püskürtme sıvısının akış hızı ve basıncı, kaplama çözeltisinin içeriği ve reolojisi, akışkanlaştırıcı havanın akış hızı ve sıcaklığı olduğunu ortaya koymuştur. Ayrıca, akışkan yatakta kurutma, sıcak noktaların oluşumunu engelleyerek eşit olmayan bir kurutuma işleminin önüne geçer ve hem katının hem de genel olarak prosesin tamamının kontrolünü kolaylaştırır (Palancar vd., 2001).



Şekil 3.8 Akışkan yataklı kurutucu [8]

3.1.6 Sprey Kurutucu

Sprey kurutma genellikle sıvı gıda ürünlerinin kurutulması için kullanılır. Bu yöntemde kuru ve sıcak bir ortam hazırlanmalıdır. Ayrıca sıvı haldeki kurutulacak ürünün bu sıcak ve kuru ortama püskürtülmesi için bir püskürtücü olmalıdır. Genelde sıvının püskürtülerek atomize edilmesi ve bu malzemenin kurutma ortamına temas ettirilmesinden oluşur, işlem sonunda kuru toz ortamdan ayrılır. Bu yöntem aynı zamanda

kuru farmasötik tozların üretimi için de uygundur. İlaçların biyofarmasötik dezavantajlarının üstesinden etkin bir şekilde gelir (Advances in Colloid and Interface Science Cilt 223, Eylül 2015, S: 40-54).

Sprey kurutma teknolojisinde morfolojiyi ve partikül boyut dağılımını etkileyen parametreler; katı konsantrasyonu, partikül boyutu, yüzey gerilimi ve süspansiyon viskozitesi olmakla birlikte bunlarla sınırlı değildir (Marie vd.,2021) Örneğin, Wang vd., 2009 yılında hidroksiapatitin sprey kurutulması ile ilgili olarak, hava akış hızının granül boyutu üzerinde bir etkisi olduğunu, granül boyutu ve hava akış hızı arasında bir ters orantı bulunduğunu, ancak bulamaç besleme hızının yüksek olduğu durumlarda bu etkinin daha az belirgin olduğunu görmüşlerdir.



Şekil 3.9 Sprey kurutucu [9]

3.1.7 Osmotik Dehidrasyon

Ozmotik dehidrasyon genellikle sebze ve meyve endüstrisinde kullanılır. Bu yöntemde hipertonik solüsyon hazırlanır ve kurutulacak gıdalar bu solüsyona daldırılır. Kurutulmuş gıda ürünleri genellikle sıcak hava akımı ile kurutulur. Ozmotik dehidrasyon proses verimini etkileyen ön arıtma, sıcaklık, ozmotik ajan konsantrasyonu, ürün parçalarının boyutu, fiziko-kimyasal özellikler, yapı ve basınç gibi bazı parametreler vardır (Amarowicz, 2012).

3.1.8 Tepsili Kurutucu

Tepsili kurutucularda tekrar tekrar sıcak hava sirkülasyonu vardır. Tepsiye yerleştirilen katı partiküllerden nemin uzaklaştırılması için konveksiyon yolu ile ısıtma gerçekleşir. Nemli hava aynı anda çıkarılır. Temiz hava tepsilere girer ve ısıtıcılarda ısınır. Katılardaki su yüzeyden buharlaştıkça, su kılcal hareketle katıdan içeriye doğru yayılır. Çıkıştan çıkan nemli hava. Temas süresi kısadır ve tek geçişte uzaklaştırılan su miktarı azdır (Misha vd., 2013).



Şekil 3.10 Tepsili kurutucu [10]

3.1.9 Vakum Kurutucu

Endüstride kullanılan kurutucuların büyük bir kısmında, gerekli buharlaşma ısısını sağlamak ve ürünün içindeki suyun verdiği buharlaşan nemi uzaklaştırmak için sıcak havanın içinden geçtiği doğrudan (konvektif) tip kullanır. Dondurarak kurutucu ve vakumlu kurutucular, diğer yöntemlere göre daha pahalı olan istisnalardır, bu nedenle ısıya duyarlı ürünler için kullanılırlar. Vakumlu kurutucuda malzemeler düşük basınç ortamında kurutulur, bu sayede gerekli ısı düşürülür ve daha hızlı kurutma yapılır (Parikh, 2015).



Şekil 3.11 Vakum kurutucu [11]

3.1.10 Sürekli Tünel Kurutucu

Güneşte kurutma ve diğer geleneksel kurutma yöntemleri, genellikle hava şartlarından dolayı düşük kaliteli ürünlerle sonuçlanır. Sürekli tünel kurutucu gibi mekanik kurutucular, pazardaki mahsul kolaylığını artırmanın yanı sıra kaliteyi de iyileştirebilir. Sürekli tünel kurutucuda kurutulmak istenen malzemeler kurutma amacıyla hava ısıtılan tünele gönderilir. Tünelin bir ucundan malzeme girilir ve diğer ucundan kurutulan malzeme alınır. Katılar, her bir tepsinin yüzeylerinden gazın geçtiği tüneller vasıtasıyla sürekli hareket eden tepsilere yerleştirilir. Çıkıştaki malzeme maksimum kurutma için gelen hava ile buluşur ve çıkış havası ıslak malzeme ile temas eder (Sabliov, C. vd., 1992) (Heldman et. al, 1992).



Şekil 3.12 Sürekli tünel kurutucu [12]

3.1.11 Döner Kurutucu

Döner kurutucular, granüler malzemelerin büyük ölçeklerde kurutulması için yaygın olarak kullanılan sürekli endüstriyel ve kimyasal işlemlerdir. Döner kurutucunun tipik bir örneği, çimento endüstrisinde kullanımlarıdır. Kuru çimento üretim prosesinde kil, kalker ve yaş cüruf gibi nem oranı yüksek hammaddelerin öğütme işleminden önce kurutulması gerekmektedir. Döner kurutucular, 1-5 m çapında ve 10-40 m uzunluğunda çelik levhalardan yapılmış silindirik kabuklardır. Kurutma işlemi, ıslak malzemenin katılara aynı anda veya ters akımda akan bir sıcak buharla temas ettirilmesine dayanır (Platin, vd. 1982). Sıcak gaz malzemedeki nemi buharlaştırır. Malzemeye verilen ısı, gazın sıcaklığını hızla düşürür ve bu nedenle kurutucudan çıkan gaz düşük sıcaklıkta olur (Maiumdar 1987).



Şekil 3.13 Döner kurutucu [13]

3.1.12 Tamburlu Kurutucu

Tamburlu kurutucular süt ürünleri, tahıllar, nişasta ve bebek mamaları gibi gıda maddelerinin kurutulmasında kullanılır. Kurutma işlemi sırasında, içten 200 °C'ye kadar sıcaklıkta buharla ısıtılan tambur dış yüzeyine ince tabaka halinde bulamaç uygulanır. Nemin büyük bir kısmı suyun kaynama sıcaklığında uzaklaştırılır. Besleme noktasından yaklaşık dörtte üç tur sonra ürün kurutulur ve bir sıyırıcı ile çıkarılır. Kurutulan ürünler daha sonra öğütülerek toz veya pul haline getirilir [5].



Şekil 3.14 Tamburlu kurutucu [14]

3.1.13 Kızılötesi Kurutma

Kızılötesi konvektif kurutucu (IR) iki bileşenden, yani tüp tipi bir kızılötesi ısıtıcıya sahip bir kurutma odası ve bir sıcak hava besleme ünitesinden oluşur. Kurutucuda, kızılötesi radyasyon yoğunluğunun yanı sıra hava sıcaklığı, voltaj gibi değişkenler bulunmaktadır. Hava hızı, kurutma odasına giden hava besleme hattına yerleştirilen bir damper yardımı ile düzenlenir (Sharna vd. 2015)

Elektromanyetik radyasyon yayılımı için ortam şart değildir. Radyasyonun dalga boyu spektrumu, ısıtma kaynağının sıcaklığına ve formuna bağlıdır. Her malzeme, ürettiği ısı nedeniyle "termal radyasyon" adı verilen sıcaklık seviyesi ile radyasyon yayar. Termal radyasyon, elektromanyetik spektrumda 0,78 µm ile 1000 µm arasındaki değerler arasında olduğunda kızılötesi olarak adlandırılır (Riadh vd., 2015).

Bir cisim termal radyasyonu emebilir ve bu enerjiyi ısıya dönüştürebilir, yüzeyden yansıtabilir veya malzeme aracılığıyla iletebilir. Bu uygulama sırasında çevredeki hava önemli ölçüde ısınmaz. Bu kurutma yöntemi, geleneksel yöntemlere göre çok daha fazla avantaja sahiptir; kurutma hızının yüksek olması, malzemenin özelliklerine/geometrisine göre tam olarak ayarlanabilmesi, ısıtıcıların yüksek toplam verimi ve uzun ömürlü olması maliyet tasarrufu sağlar ve ısıtılacak veya kurutulacak ürünle doğrudan temasa gerek duyulmaz (Zhou, 2018).



Şekil 3.15 Kızılötesi kurutma

3.2 Literatürde Meyveler Kullanılarak Yapılan Kurutma Çalışmaları

2018 yılında gerçekleştirilen bir çalışmada, farklı sıcaklık değerlerinin (50 – 100 °C) hindistan cevizi kalıntısının kurutulması üzerindeki etkileri araştırılmıştır. Kuruma süresi ve kuruma hızı (DR), 50-110 °C kurutma sıcaklığında sırasıyla 540-100 dakika ve 0.0048-0.0182 g su/g kuru madde/dakika aralığında bulunmuştur. Nem oranındaki (MR) kuruma süresinin zamana bağlı değişimini belirlemek için altı farklı kurutma modeli (Lewis, Page, Henderson ve Pabis, Logaritmik, Midilli vd. ve lineer-artı-üstel model) kullanılmıştır. Doğrusal-artı-üstel model, en yüksek ortalama R^2 değeri olan 0.9985 ve en düşük HKOK değeri olan 0.01463 ile deneysel MR'ye öngörülen MR'nin en iyi şekilde uyduğu model olarak belirlenmiştir. Modelin sabitleri ve katsayısı ile kurutma sıcaklığının değişiminin polinom tipinde olduğu görülmüştür. Kurutma sıcaklığının bir fonksiyonu olarak genelleştirilmiş doğrusal-artı-üstel model, 0.9709 R^2 ile MR tahmininde en iyi sonucu vermiştir (Wutthigarn vd., 2018).

2020 yılında gerçekleştirilen bir çalışmada, muz örneklerinin kalitesi üzerindeki kurutma sıcaklığı etkileri araştırılmıştır. Araştırma için 60 °C, 70 °C ve 80 °C olmak üzere üç farklı kurutma sıcaklığı kullanılmıştır. Konvektif kurutucu kullanılan bu çalışmada, muz örnekleri 1. gün için konvektif kurutucunun kurutma odasının farklı bölmelerinde 60 °C kurutma sıcaklığında kurutulmuştur. Deney, 2. gün ve 3. gün için sırasıyla 70 °C ve 80 °C kurutma sıcaklıkları için tekrarlanmıştır. Analizler, kurutma sıcaklığı arttıkça mikrobiyal yükün azaldığını göstermiştir. Sıcaklık arttıkça örneklerin nem içeriği, ham lif ve karbonhidratları azalırken, örneklerin kül, yağ ve proteini artmıştır. Laboratuvarda

elde edilen sonuçlar ve hesaplanan veriler, literatürde bulunanlarla iyi bir uyum göstermiştir (Adeleye vd., 2020)

Portakal dilimlerinin mikrodalga kurutucu kullanılarak kurutulduğu bir deneysel çalışmada, portakal numuneleri 4 mm kalınlığında dilimler halinde kesilmiş ve 30, 50 ve 70 V'luk üç voltajda ön işlem olarak 3, 5 ve 7 dakika süre boyunca işlenmişlerdir. Daha sonra 90, 360 ve 900 W'luk üç ayrı güç değerinde mikrodalga kurutucu ile kurutulmuşlardır. İstatistiksel analiz sonuçları, ohmik zaman, ohmik voltaj ve mikrodalga gücünün, enerji ve ekserji verimliliği ile özgül enerji ve ekserji kaybı için %1 düzeyinde önemli olduğunu göstermiştir. En yüksek enerji ve ekserji verimi 900 W'da ve 7 dakikalık ohmik sürede gözlenmiştir. Meyve ve sebzelerin kurutulması en çok enerji tüketen işlemlerden biridir ve bu nedenle kurutma hızı ve enerji tüketimini azaltmak için kurutma hızının artırılması gerektiği öngörülmüştür. Mahsul derisi, mahsullerde nem giderme oranını azaltmada en önemli faktörlerden biridir. İç kısımdan yüzeye nem transferine karşı büyük bir direnç görevi görür. Mahsul ön işlemi, mumu çıkararak ve şekil vererek kuruma hızını hızlandırabildiği bildirilen mahsuller için kurutma işleminde önemli bir adımdır (Azadbakht ve Torshizi, 2020).

2012 yılında üzümleri kurutabilen çanak tipi güneş hava ısıtıcısı şeklinde verimli bir kurutucu geliştirmek için bir çalışma yapılmıştır. Pakistan'daki Khyber Agency'de (FATA) bir kurutma odasına bağlı küçük bir güneş enerjili hava ısıtıcısı 2011 yılının Ağustos ayında üzümleri kurutmak için geliştirilmiştir. Farklı gün ve zamanlamalarda iki hava akış hızı, ilki doğal (0.01 kg/sn) ve ikincisi konvektif (0.21 kg/sn ve 0.28 kg/sn) hava akış hızı verilerek bu güneş enerjili hava ısıtıcısının verimi değerlendirilmiştir. Verimlilik, doğal durumda yüzde 12'den, saniyede 0,21 ve 0,28 kg konvektif hava akış hızlarında yüzde 24 ve yüzde 35'e yükselmiştir. Ayrıca, üzümler 50°C sıcaklıkta ve yüzde 20'den az nemde kurutulmuştur. Üzümlerin çanak tipi güneş hava ısıtıcısının kurutma odası ile 24 saatte kurutulduğu gözlemlenmiştir. Çalışma sonucunda, minimum zamanda yüksek verimle kurutulmuş üzümler elde etmek için çanak tipi güneş hava ısıtıcısının yüksek akış hızlarında çalıştırılması gerektiği sonucuna varılmıştır (Hanif vd., 2012).

Dut yapraklarının (Morus alba) katma değerli formları kan şekerini, kalp damar hastalıklarını, iltihap seviyelerini, kolesterolü düşürmeye ve kalp hastalıklarıyla mücadeleye önemli ölçüde yardımcı olur. 2022 yılında yapılan bir araştırma, dut çayı üretimi için dut yapraklarının kurutulmasında en uygun yöntemin araştırılmasını amaçlamaktadır. Biyokimyasal kalite parametrelerinin korunması için dut yapraklarının

kurutulmasında uygun bir kurutma teknolojisi seçmek amacı ile, güneşte kurutma (31 - 35 ºC), gölgede kurutma (21 - 25 ºC), tepsili kurutucu (50 ºC), vakum kurutucu (45 ºC) ve güneş tüneli kurutma (55 ºC) yöntemleri seçilmiştir. Kuruma özellikleri, renk özellikleri ve biyokimyasal kalite parametreleri, ISO/IEC17025:2005'e göre NABL tarafından akredite edilmiş laboratuvarda belirlenmiştir. Kurutma, hazır dut çayı üretimi için en önemli birim işlemdir. Kurutma yöntemleri, dut yapraklarının yaklaşık bileşimini ve renklerini etkilemiştir. Gölgede ve vakumlu kurutma yöntemlerinde daha iyi besin değerlerinin bulunduğu gözlemlenmiştir. Bu nedenle, gölgede kurutma veya vakumla kurutma, yaklaşık bileşim ve renkler göz önüne alındığında işleme yöntemleri olarak tercih edilebilir. Protein içeriğinin, gölgede kurutulmuş dut yapraklarında en yüksek olduğu, ardından vakumla kurutulmuş dut yapraklarında ve en az vakumla kurutulmuş dut yapraklarında olduğu bulunmuştur. Gölgede kurutma, maksimum biyoaktif bileşikleri ve renk aktivitesini koruyan dut yapraklarının en iyi kurutma yöntemi olarak seçilmiştir. Bu nedenle, hazır dut çayının işlenmesi için gölgede kurutma yöntemi en çok tercih edilen yöntemdir (Sarkhel vd., 2022).

Hurma hamurunun kuruma davranışı ve özellikleri, laboratuvar ölçekli bir vakum odasında 1, 1.5 ve 2 cm numune kalınlıklarında ince tabaka halinde 60, 70 ve 80ºC sıcaklıklarda incelenmiştir. Hurma hamurunun kuruma kinetiğinin modellenmesi, belirli sıcaklıklar ve numune kalınlıkları esas alınarak incelenmiştir. Deneysel nem kaybı verileri, literatürde mevcut olan sekiz ince tabaka kurutma modeline uyarlanmıştır. Modifiye edilmiş Henderson-Pabis, Verma ve Jena ve Das-Das modelleri, diğer modellere kıyasla deneysel kurutma verilerine daha iyi uygunluk göstermiştir. Efektif nem yayılımı 6.0854×10^{-8} ile 4.868×10^{-7} m^2s^{-1} arasında değişmektedir. Sıcaklık ve numune kalınlığındaki artışla etkin yayılım artmıştır. Etkili nem yayılımının sıcaklığa bağımlılığı, Arrhenius tipi bir denklemle ifade edilmiştir (Ashraf-Vonna vd., 2012).

Karpuz tohumlarının kurutma kinetiği, kütle transfer parametreleri ve spesifik enerji tüketimini araştırmak için farklı 40, 50 ve 60 °C sıcaklıklarında ve 1,5 ms^{-1} sabit hava hızında konvektif tepsi kurutması gerçekleştirilmiştir. Kuruma özellikleri, kuruma eğrileri ile nem oranı, nem içeriği, kuruma hızı ve kuruma süresi ile belirlenmiştir. Karpuz tohumlarının kuruma özelliklerinin kuruma sıcaklığından önemli ölçüde etkilendiği gözlemlenmiştir. Karpuz tohumlarının ince tabaka kurutma kinetiği için en iyi modeli tahmin etmek için sekiz yarı deneysel model kullanılmıştır. Midilli-Kucuk ($\chi2 = 7.70 \times 10{-}6$, HKOK = 0.0109, $R^2 = 0.9955$) modelinin deneysel kurutma eğrileri için en uygun

model olduğu bulunmuştur. Etkin nem yayılımının, 27.66 kJ/mol aktivasyon enerjisi ile 1.79×10^{-10} ila 3.39×10^{-10} m^2/s aralığında olduğu bulundu. Kütle transfer parametrelerinin araştırılmasından, nemin difüzyonunun kuruma olgusunun iç ve dış direnci tarafından kontrol edildiği gözlemlenmiştir. Karpuz tohumlarının 60 °C sıcaklıkta kurutulması önerilmiştir (Dhurve vd., 2022).

Papaya meyvesi oldukça besleyicidir, ancak çok kırılgandır ve bu nedenle sınırlı bir raf ömrüne sahiptir. Ürün olarak daha uzun süre korunması için kurutma esastır. Bu çalışmada, papaya dilimlerine vakum (VD) ve konvektif havayla kurutma (AD) ile ön işlem olarak ultrasonlu ve ultrasonsuz (US) ozmotik dehidrasyon (OD) uygulanmıştır. Taze ve kurutulmuş papaya dilimleri için nem içeriği, kuruma süresi, su aktivitesi, toplam renk değişimi, toplam fenolik içerik, radikal temizleme aktivitesi, doku ve Fourier Dönüşümü Kızılötesi (FTIR) spektrumları değerlendirilmiştir. Ön işleme tabi tutulmuş numunelerdeki daha yüksek fenoller ve antioksidanlar, kavitasyon yoluyla hapsedilmiş hücre içi polifenollerin salınmasına bağlandı. Bununla birlikte, konvektif AD dilimlerinin ardından OD ön muamelesinin renk özellikleri ve dokusu daha iyi bulundu. Renk tutma, aksi takdirde diğer tedavilerde bozulacak olan karotenoid korumasından kaynaklanabilirken, daha düşük kırılganlık, daha düşük pektin ile ilişkilendirilmiştir. Kızılötesi spektroskopi, ön işleme tabi tutulmuş kurutulmuş papaya dilimlerinde fitokimyasalların ve antioksidanların tutulduğunu doğruladı. Bu çalışmanın sonuçları, USOD-VD'nin beslenmenin korunması için etkili olduğunu, OD-AD'nin ise fiziksel özelliklerin korunması için uygun olduğunu vurgulamaktadır (Chandra vd., 2020).

2013 yılında yapılan bir çalışmada mango üzerinde dondurarak kurutmanın matematiksel modeli incelenmiştir. Bir mango çeşidi olan 'NamDok Mai' -40 °C'de dondurulmuş ve -40 °C'de 6 saat, ardından -20 °C'de 10 saat ve daha sonra -10 °C'de 6 saat dondurularak kurutulmuştur. İkincil kurutma sıcaklığı ve süresi 10, 20, 30 °C sıcaklıkta sırasıyla 2, 4, 6, 8 saat sürmüştür. Kurutma işlemi sırasındaki basınç değerleri 20, 30, 40 ve 80 Pa olarak kaydedilmiştir. En uygun koşulların ikincil kurutma aşamasında 10 °C 'de 6 saat ve 20 Pa ile olduğu gösterilmiştir. Newton, Page, Değiştirilmiş Page ve Henderson ve Pabis'in ince tabaka kurutma modelleri, belirleme katsayısı (R^2), indirgenmiş ki-kare (χ^2) ve Ortalama Hata Karesi (HKOK) temel alınarak değerlendirilmiştir. Değiştirilmiş Page modelinin, 0.998 belirleme katsayısı, 0.00026'lık indirgenmiş ki-kare değeri ve 0.016215'te HKOK ile en iyi model olduğu bulunmuştur (Kaewdam vd., 2013).

Dolaylı güneş konvektif kurutma, daha az enerji yoğun ve uygun maliyetlidir. Bu nedenle, kurutucunun farklı özelliklerini belirleyerek dolaylı güneş konvektif kurutucu sisteminin verimliliğini araştırmak ve hem kurutma hem de depolama süresinin meyve kalitesi üzerindeki etkilerini değerlendirmek için çalışma yapılmıştır. "Burlat" çeşidinin tatlı kirazları 60, 70 ve 80 °C'de kurutulduktan sonra bir yıl süreyle saklanmış ve toplam fenolikler, antioksidan aktivite, toplam flavonoidler ve toplam antosiyaninler açısından analiz edilmiştir. Deneysel sonuçlar, Fick'in ikinci yasası ile belirlenen efektif nem yayılımının $2{,}85\times10^{-9}$ ile $6{,}51\times10^{-9}$ m^2/s arasında değiştiğini ve aktivasyon enerjisi değerinin 2388,67 kJ/kg olduğunu göstermiştir. Kuru kirazın toplam enerji tüketimi ve özgül elektrik enerjisi, artan sıcaklıkla birlikte düşüş eğilimi göstermiştir. Midilli-Küçük modelinin kirazların kurutulmasında en uygun model olduğu raporlanmıştır. Ek olarak, 12 aylık depolanmış kuru kirazın değerlendirilmesi, toplam fenoliklerin ve antioksidan aktivitenin en yüksek tutulduğunu gösterirken, toplam flavonoidler ve antosiyaninler sırasıyla %24 ve %33 oranında azalmıştır (Ouaabou vd., 2020).

Bu çalışmada, farklı kızılötesi güç seviyelerinde karşılaştırmalı çalışma yapmak için yenilikçi kurutma yöntemini temsil eden kızılötesi radyasyonla kurutma seçilmiştir. Nar yan ürünlerinin kızılötesi ile kurutulması 88, 104, 125, 146 ve 167 W güç seviyelerinde gerçekleştirilmiştir. Sonuçlar, kızıl ötesi gücün nar yan ürünlerinin kurutma özellikleri üzerinde önemli bir etkiye sahip olduğunu göstermiştir. Deneysel verilere üç ince tabaka kurutma modeli (Aghbashlo ve diğerleri, Jena ve Das, Midilli ve Küçük) yerleştirilmiştir. Kurutma verileri (nem oranı - kuruma süresi) başarıyla Aghbashlo ve ark. Modeline uygunluk göstermiştir. 3.296×10^{-9} ila 1.431×10^{-8} m^2/s arasında değişen etkili nem yayılımını belirlemek için Fick'in difüzyon yasası kullanılmıştır. Aktivasyon enerjisi, değiştirilmiş bir Arrhenius tipi denklem ile 4.424 kW/kg olarak tahmin edilmiştir (Kipcak, 2018).

Ekolojik ve sosyal durumun bozulmasına bağlı olarak, üretim teknolojilerinin oluşturulması, hammaddelerin doğal biyolojik olarak aktif maddelerinin maksimum korunmasını sağlayan ve ayrıca biyolojik işlemler kullanan konserve ürünler özellikle önemlidir. 2021 yılında yapılan bir çalışmada, kurutma sürecini incelemek için çeşitli türlerde kavunlar kullanılmıştır. Örneğin, ilk nem oranı %86 olan GOST. Aynı zamanda, çeşitli faktörlerin deney için ürünün kalitesi ve verimi üzerindeki etkisini incelemek için, aynı çeşitte kavunlar alınarak, 1500 g ağırlığa ve belirli bir nem içeriğine sahip kavunlar farklı kalınlıklarda kesilmiştir. Hazırlanan numunelerden üç parça, her biri 500 g olmak

üzere 0,01 g hassasiyetle VLR-500 terazisinde tartılmıştır. Bir numune, işlenmeden seçilen ayar modunda kurutulmuştur. Tartılan diğer kısım ise, belirli bir sıcaklıkta, farklı şeker konsantrasyonlarında belirli bir süre şurup içinde tutulduktan sonra kurutulmuştur. Her 30 dakikada bir şurup içinde tutulan numune alınarak içindeki kuru maddeyi belirlemek amacıyla tartımı alınmıştır. Mevcut verilerin araştırılması ve analizi sonucunda, yoğun tabakaların (örneğin şeker şurubu) biyolojik hammaddelerin hamuru üzerindeki olağan etkisine kıyasla, ultrasonik maruziyet ile bir kombinasyonun daha etkili olduğu ortaya çıkmıştır. Kavun posasının ozmotik kurumasını etkileyen ana faktörler tespit edilmiştir. Ürünün nem içeriğinin işlem süresine bağımlılığı için bir denklem enterpolasyon yöntemiyle elde edilmiştir (Radjabov vd., 2021)

Dondurarak kurutma, ürün kalitesi üzerinde minimum etkiye sahip bir dehidrasyon işlemidir. Bu nedenle özellikle meyvelerde olduğu gibi biyoaktif bileşiklerden zengin gıdalarla birlikte kullanılması yeterlidir. Bu anlamda, yüksek enerjili, zaman alıcı bir süreç olmasına rağmen, esas olarak enerji maliyetinin düşürülmesi durumunda, meyve ürünleri elde etmek için dondurarak kurutmanın kullanılması için artan fırsatlar beklenebilir. Bu çalışmada, hem arap zamkı hem de peynir altı suyu proteini izolatı kullanımının etkisi ve raf sıcaklığının bir mandalina çerezinin kalitesi üzerindeki etkisi incelenmiştir. Biyopolimerlerin eklenmesi ve 40 °C'ye kadar ısıtılması, atıştırmalıkların daha çıtır olmasını sağlamıştır. Ek olarak, biyopolimerler, dondurarak kurutma boyunca ısıtılırken atıştırmalıkların maruz kaldığı renk değişimini korumuştur. Bununla birlikte, C vitamini içeriğinde fark edilir değişiklikler meydana gelmemiştir (Navarrete vd., 2019).

Taze ve ozmotik olarak ön işleme tabi tutulmuş (%35 izomaltuloz çözeltisi kullanılarak) çilekler son derece bozulabilirdir. Bu çalışma, onları aralıklı mikrodalga kurutma (IMD) ve ısıtılmış havayla kurutma (HAD) ile kurutmayı ve kalitatif parametrelerini değerlendirmeyi amaçlamıştır. Numune sıcaklığı, 60 °C'lik bir ayar noktası sıcaklığı ve oda sıcaklığında sürekli hava akışı benimsenerek izlenmiştir. HAD, numuneler 60 °C'de havaya maruz bırakılarak gerçekleştirilmiştir. IMD, HAD'den daha hızlı olması (%64,91'e kadar) ve daha az enerji tüketmesi (%73,16'ya kadar) ile öne çıkmıştır. IMD sırasında magnetron çoğu zaman kapalıdır (%74,13'e kadar). İzomaltuloz emdirme, her iki yöntemde de kuruma oranlarını azaltarak kuruma süresini artırmıştır. Kurutulmuş numuneler, güvenli aralıkta (a_w<0.6) su aktivitesi (a_w) göstermiştir. Emprenye işlemi, izomaltuloz ile zenginleştirmenin yanı sıra, çekmesi azaltılmış bir ürün elde etmek için

gerçekleştirilmiştir. Ön işleme tabi tutulmamış çilekler, özellikle IMD yöntemiyle daha düşük a_w, sertlik ve toplam renk farkına ve daha yüksek seviyelerde biyoaktif bileşik ve antioksidanlara sahipti. Taze çileklerle ilgili olarak IMD ile antosiyaninlerin, fenolik bileşiklerin ve antioksidan kapasitenin sırasıyla %47.46, %70.26 ve %81.18'e varan oranları elde edilmiştir. Bu nedenle, IMD'nin, taze ve izomaltuloz ile emprenye edilmiş çilek kurutma için alternatif bir yöntem olduğu görülmüştür (Macedo vd., 2022).

Ejder meyvesinin mikrodalga ve konvektif kurutma sırasındaki sıcaklık profilini tahmin etmek için tahmine dayalı üç boyutlu bir analitik model geliştirmek üzere bir çalışma gerçekleştirilmiştir. Mikrodalga kurutmanın modellenmesi için birleşik bir elektromanyetik (Maxwell denklemi) ve ısı transferi modeli kullanılmıştır. Bu işlemde 15 mm'lik dragon meyve küpü mikrodalga kurutma işlemi sırasında 200, 400 ve 600 W mikrodalga gücünde ve konvektif kurutma işlemi sırasında 60°C sıcak hava sıcaklığında kurutulmuştur. Mikrodalga kurutma sırasında, çekirdek veya merkez sıcaklığı, ejderha meyvesi küpünün yüzeyindeki sıcaklıkla karşılaştırıldığında maksimum olmuştur. 60 saniyelik kurutma süresi için 200, 400 ve 600 W mikrodalga gücüne maruz bırakılan ejder meyvesi küpünün merkezindeki tahmini sıcaklık sırasıyla 34.67, 44.34 ve 54.02°C'dir. Bu model, ejder meyvesi küplerinin sıcak hava ile kurutulması ve mikrodalga ile kurutulması sırasında gıda ürünü sıcaklık dağılımını tahmin edebilir. Kurutma işleminin ekonomisi genellikle bu işlemlerin doğasından ve işleyişinden etkilenir ve bu nedenle kurutma işleminin modellenmesi endüstri için çok önemli bir faktördür. Bu sonuçlar, ısı ve nem dağılımını ölçmek ve ayrıca meyve ve sebzelerin kurutma sürecini izlemek, enerji ve zaman tasarrufu sağlamak için kullanılabilir (Raj ve Dash, 2021).

Kurt üzümünün kuruma hızını iyileştirmek adına bir çalışma gerçekleştirilmiştir. Elektrohidrodinamik (EHD) kurutma işlemi altında farklı ön işlem yöntemleri kullanılarak kurt üzümünün kuruma yapısı ve mikro yapısı incelenmiştir. Sonuçlar, ön işlemden sonraki kuruma hızının ön işleme tabi tutulmamış kurt üzümünden önemli ölçüde daha yüksek olduğunu ve farklı ön işlem yöntemlerinin bir EHD kurutma sisteminde kurt üzümünün kurutma özellikleri üzerinde farklı etkileri olduğunu göstermiştir. Farklı ön arıtma yöntemlerinin etkin nem difüzyon katsayısı üzerindeki etkileri azalan sırayla şu şekilde sıralanmıştır: KOH > NaOH > Na_2CO_3 > Ultrasonik > Sukroz ester (Ni vd., 2020).

İncirlerin güneşte kurutulma davranışlarının incelendiği bu çalışmada İskenderun-Hatay'da yetiştirilen incir (Ficus carica) için kurutma deneyleri yapılmıştır. Kurutma

işlemi azalan oran döneminde gerçekleşmiştir. Kurutma verilerinin, Lewis, Henderson ve Pabis, Page, Logaritmik, İki Terimli, İki Terimli Üstel, Verma vd. ve Wang ve Singh modellerine uygunluğu test edilmiştir. Bu modellerin performansı, gözlemlenen ve tahmin edilen nem oranları arasında katsayı (R^2), azaltılmış ki-kare (χ^2) ve ortalama kare hata (HKOK) belirlenmesi karşılaştırılarak araştırılmıştır. Sonuçlar, Verma ve ark. modelinin R^2 değeri 0.9944, χ^2 değeri 0.000483 ve HKOK değeri 0.062857 olan incirlerin güneşte kuruma eğrisini tatmin edici bir şekilde tanımladığı bulunmuştur (Doymaz, 2005).

Meyvelerin yüksek besinsel ve fonksiyonel değeri, yüksek katma değerli ürünler elde etmek için dondurarak kurutma yöntemini kullanmayı gerektirebilir. Kurutma bitiş noktasını sıralı olarak belirlemek için, arap zamkı ve bambu lifi eklenmiş veya eklenmemiş bir greyfurt püresinin raf sıcaklığı olarak 20 veya 40 ºC uygulandığında sıcaklığın etkileri araştırılmıştır. Elde edilen sonuçlar, numunedeki süblimleşmenin sonunu belirlemek için ürünün ısınma hızının izlenmesine işaret etmekte olup, bu oranın azalmaya başladığı zamana denk gelmektedir. Ele alınan değişkenlere gelince, greyfurt püresine eklenen biyopolimerlerin işlem süresini etkilemediği ve dondurarak-kurutucu raflarının sıcaklığının arttırılması, işlem süresinin %40 oranında azaltılmasını mümkün kılmıştır (Egas-Astudillo vd., 2020).

Konvektif havayla kurutmaya tabi tutulan taze ve ozmotik olarak suyu alınmış guavanın fizikokimyasal ve duyusal özellikleri değerlendirilmiştir. Kurutulmuş meyvelerin renk stabilitesi, buzdolabında 30, 60 ve 90 günlük depolamadan sonra da analiz edilmiştir. Guava dilimleri, 0,4 ve 0,5 g mL^{-1}'de sakaroz, 0,2 g L^{-1}'de sükroz 0.3 g mL^{-1} + sukraloz, %41 (a/a) ters şeker ve seyreltilmemiş ters şeker şurubu çözeltilerine daldırıldı. Toplam çözünür katılar, toplam titre edilebilir asitlik, pH, renk, aroma, görünüm, tat ve doku değerlendirildi. Çözünür katılar, kullanılan çözünen tipinin etkisi olmaksızın daldırma süresinin fonksiyonunda doğrusal olarak artmıştır. Ozmotik dehidrasyona tabi tutulmayan kurutulmuş numuneler, ozmotik olarak dehidrasyona tabi tutulanlara kıyasla daha yüksek renk değişimi göstermiştir. Ozmotik olarak kurutulmuş guavalar tüketiciler tarafından iyi kabul edilirken, konvektif kurutulmuş guavalar reddedilmiştir (Queiroz vd., 2007).

Bu çalışmanın amacı, farklı çalışma koşullarında vakumlu dondurarak kurutmaya tabi tutulan kivi meyvesinin enerji koruma sürecini ve kurutma kinetiğini araştırmaktır. Bu çalışmada, üç sürecin ürün kalitesi üzerindeki etkisi incelenmiş ve görünüm, renk, tat,

depolama, besin bileşenleri ve maliyet açısından en iyi süreç vurgulanmıştır. Bu işlemlerin farklılıkları birincil kurutma aşamasındadır. Örneğin, maksimum erime sıcaklığının altında (İşlem 1, maksimum erime sıcaklığında (İşlem 2) ve üstünde (İşlem 3) sıcaklıklarda numuneler kurutulmuştur. Sonuçlar, yeterli birincil kuruma süresine sahip işlemlerin daha düşük nihai nem içeriğine sahip olduğunu göstermektedir. Kurutma sırasında, hızlı bir sıcaklık artışına sahip İşlem 3, daha iyi rehidrasyon hızına ve mikro yapıya sahiptir. Genel olarak en iyi süreç, en yüksek performans indeks puanına sahip süreç 3'tür ve süreç süresi kısadır, bu da diğer süreçlere kıyasla enerji tüketiminde %35 tasarruf sağlayabilir (Wang vd., 2022).

Liçi, yüksek şeker içeriği sebebiyle kurutma işlemlerinde büyük bir dezavantaja sahiptir. Bu durum liçinin kurutulmuş bir atıştırmalık olarak tüketiciye sunulmasının önünde bir engel oluşturmaktadır. Bu çalışmada, mikrodalga kurutma teknikleri kullanılarak yeni atıştırmalıklar geliştirmek amacıyla liçi ile mor tatlı patates karıştırılmış ve bu sayede numunenin içerisindeki şeker oranı düşürülmüştür. Optimum içerik oranı ve kurutma koşulları, ürünün organoleptik özellikleri (gevreklik ve ağız hissi) ve kalite özelliği üzerindeki etkileri açısından değerlendirilmiştir. Sonuçlar, hamur karışımına %4 patates nişastasının eklenmesinin kurutulmuş yongaların gevrekliğini iyileştirdiğini göstermiştir. Ayrıca, arzu edilen atıştırmalıkları üretmek için mor tatlı patates ve liçi arasındaki optimum oranın 7:3 (W:W) olduğu bulunmuştur. Kurutma parametreleri açısından, yüksek güç yoğunluğu, daha kısa kuruma süresi ve iyileştirilmiş besin maddelerine sahip ürünler ile sonuçlanmıştır. Genel olarak, kurutma işlemi için kullanılan yöntem, deneyler boyunca hiç esmerleşmeye neden olmamıştır. Bu nedenle, bu araştırma endüstriyel uygulama için iyi bir geleceğe sahiptir (Qiao vd., 2012).

Hindistan'ın mango meyvesi üretimindeki hakimiyeti göz önüne alındığında, bu çalışmanın amacı, kurutma koşullarının ve ön işlemlerin mangonun fiziksel özellikleri üzerindeki etkilerini araştırmaktır. Kurutma kinetiği analizi için 7 farklı ince tabaka kurutma modeli ile sonuçlar değerlendirilmiştir. Ağartma ön işleminin kurutma kinetiği üzerindeki etkisi, nem oranı ile birlikte belirli zaman aralıklarında araştırılmıştır. Kullanılan modellerin veriler ile uyumunu belirlemek için belirleme katsayısı (R^2), Ortalama Kare Hatası ve Hata Karelerinin Toplamı parametreleri kullanılmıştır. Ardından, Çok Kriterli Karar Verme yöntemleri kullanılarak mango örneklerinin kurutulmasını optimize etmek için beş farklı kurutma yöntemi (Açık Güneş Kurutucu, Kontrollü Güneş Kutusu Kurutucu, Sıcak Hava Fırın Kurutucu, Mikrodalga Fırın

Kurutucu ve Elektrikli Fırın Kurutucu) kullanılmıştır. Son olarak, sonuçları doğrulamak için duyarlılık analizi yapılmıştır. Page, İki Terimli, Difüzyon ve Weibull matematiksel modellerinin deneysel verilere diğer modellere göre daha iyi uyum sağladığı sonucuna varılmıştır. Ağartma, kuruma süresini kısalttığı için kuruma üzerinde etkilidir. Optimizasyon sonuçlarına göre, elektrikli fırınlı kurutucu ve mikrodalga fırınlı kurutucu en iyi sonuçları vermiş ve enerji tüketimi, kurutucu maliyeti, kuruma süresi göz önüne alındığında hem kontrollü hem de beyazlatılmış numuneler için en iyi kurutma yöntemleri olarak kabul edilmiştir (Singh vd., 2022).

Meyve ve sebzelerin çeşitli muhafaza yöntemleri arasında, kurutma basit olmakla birlikte, çok eski zamanlardan beri yaygın olarak uygulanmaktadır. Papaya küpleri, 50°C'de havayla kurutmadan önce ön işlemler olarak Sodyum meta bisülfit, Kalsiyum klorür, ağartma ve bunların kombinasyonları ile muamele edilmiş ve kontrol numunesi ile karşılaştırılmıştır. Dehidrasyon için gereken sürenin, ön işleme tabi tutulmuş numuneler için kontrol numunelerine göre nispeten daha kısa olduğu gözlemlenmiştir. Beyazlatma ve Sodyum meta bisülfit ile ön işleme tabi tutulan numunelerin rehidrasyon oranı maksimum 2,96 olarak gözlenmiştir (Pandey vd., 2008).

Şeftali üzerinde uzak kızılötesi ve mikrodalga kurutma özellikleri ve diğer gıda ürünlerinde mikrodalga kurutma ile birlikte uzak kızılötesi kurutma özellikleri için çok az ayrıntılı bilgi mevcuttur. Bu sebeple gerçekleştirilen bu çalışmada, mikrodalga ve uzak-kızılötesi dehidrasyon özelliklerini ve şeftali üzerinde uzak-kızılötesini takiben mikrodalga kurutmayı içeren iki aşamalı kurutma işlemini incelemek için deneyler yapılmıştır. Mikrodalga kurutma gücü ve kızılötesi kurutma gücü arttıkça şeftalinin dehidrasyon oranı artmış ve tam kurutma enerji tüketimi azalmıştır. Şeftali, mikrodalga kurutma veya uzak kızılötesi kurutma ile kurutulduğunda iki düşme oranı periyodu yaşamıştır. Şeftalinin nem içeriği altında ilk düşme oranı periyodu 1.7'den fazla (kuru bazik), nem içeriği 1.7'hih altında ikinci düşme oranı periyodunu yaşamıştır. Aynı su kaybı daha fazla enerji tüketeceğinden ve nem içeriği 1,7'den az olduğunda daha dik bir enerji-nem içeriği eğrisi elde edilmiştir. Bununla birlikte, mikrodalga kurutmadan farklı olarak, uzak kızılötesi kurutmanın ilk periyodunda hızlanan bir dehidrasyon oranı periyodu mevcuttur. Kızılötesi kurutma gücünün, mikrodalga kurutma gücünün ve önceki uzak kızılötesi kurutmada ikinci mikrodalga kurutmaya dönüşen (üç faktör) nem içeriği değişiminin enerji tüketim oranı ve duyusal kalite (iki endeks) üzerindeki etkileri önemlidir (Wang ve Sheng, 2006).

Meyveler mevsimliktir ve genellikle yılın belirli bir mevsiminde bulunur. Ürünlerin yıl boyunca tüketilmesini sağlamak için hasat sonrası işlemler uygulanmaktadır. Kurutma, hasat sonrası en önemli işlemlerden biridir ve genellikle sıcak hava yöntemi kullanılmaktadır. Bu çalışmada, gelecek vadeden bir kurutma teknolojisi olan elektrohidrodinamik yöntem sıcak hava ile birleştirilerek 'Ankara' armudu örnekleri kurutulmuştur. Bu çalışma, farklı hava hızı ve voltaj değerlerinin kuruma süresi, renk, rehidrasyon kapasitesi ve mikro yapı üzerindeki etkilerini araştırmayı amaçlamaktadır. Ayrıca kurutma eğrilerini en iyi açıklayan modeli elde etmek için kurutma işlemlerinin deneysel sonuçlarına on adet matematiksel kurutma modeli uygulanmıştır. Kurutma işlemleri için iki farklı hava hızı (1.5 ve 2.5 m/s) ve dört farklı voltaj değeri (15, 20, 25 ve 30 kV) kullanılmıştır. Armut ürünlerinin en kısa sürede (80 dk) kurutulması işlemi 30 kV-2.5 m/s uygulamasında olmuştur. Ankara armudunun kuruma eğrilerini en iyi açıklayan modeller Logaritmik ve Midilli ve ark. Modelleri olmuştur. Bu çalışmada kullanılan EHD-sıcak hava yöntemi, konvansiyonel kurutmaya alternatif olabilir ve kısa sürede daha kaliteli ürünler sunmak için uygun hava hızı ve voltaj değeri belirlenerek kurutma endüstrisinde uygulanabilir bir yöntem olabilir (Polat ve Izli, 2022).

Bu çalışmanın amacı, erik meyvelerinin sıcak havada kurutma özellikleri üzerine ön işlemlerin ve sıcaklığın etkilerini değerlendirmektir. Erik meyveleri, 28 °C'de zeytinyağı/K_2CO_3 veya ayçiçek yağı/K_2CO_3 ile ve 96 °C'de 15 saniye ağartma, 96 °C'de 15 saniye boyunca sıcak su ile ön işleme tabi tutulmuş ve bir sıcak hava kurutucusunda 50, 60 ve 70 °C sıcaklıkta kurutulmuştur. Sonuçlar, sıcaklıktaki artışın kuruma süresini azalttığını, etkin yayılmayı ve büzülmeyi arttırdığını göstermiştir. Modifiye edilmiş Henderson ve Pabis ve Vega-Gálvez modellerinin, kurutma ve rehidrasyon kinetiğini tahmin etmede diğer matematiksel modellerden daha üstün olduğu görülmüştür. Ayçiçek yağı/K_2CO_3 ön işleminin eriğin kuruma ve kalite özelliklerini iyileştirmeye yardımcı olabileceği görülmüştür (Ojediran vd., 2021).

Bu çalışmada, ahududu tozlarının kalitesi üzerindeki taşıyıcının türü (maltodekstrin, arap zamkı ve inülin) ve içeriğinin (50, 60, %70 katı) etkisini değerlendirilmiştir. Farklı toz türleri, mikropartiküllerin yapısı, su aktivitesi ve nemleri dikkate alınarak karşılaştırılmıştır. Düşük sıcaklıkta sprey kurutma, yapay zeka gibi modern yöntemlerin elektron mikroskobuyla desteklenen görsel teknikle birlikte kullanılması kuşkusuz bir yeniliktir. Bu girişimin amacı, yüksek kalite özellikleri ile karakterize edilen ahududu tozlarını elde etmek için gerekli süreci izlemektir. Oluşturulan süreçler, düşük Ortalama

Kare Kök ve %99 düzeyinde yüksek sınıflandırma etkinliği ile karakterize edilmiştir (Przybyl vd., 2021).

Bu araştırmanın amacı, önerilen güneş tüneli kurutucu ve fotovoltaik (PV) sisteminin yıldız meyvesini kurutmak için performansını analiz etmektir. Önerilen tasarım, tünel tipi bir kurutma odası ve termal depolama ünitesinden oluşmaktadır. Parafin mumu (PCM), güneş ışığının olmadığı saatlerde termal enerjiyi kullanmak için tünel kurutma odasına monte edilmiş bir termal depolama malzemesi olarak kullanıldı. Güneş enerjisiyle kurutma odasının dış yüzeyindeki ısı yalıtım kaplaması, tünel kurutucunun ısıl performansını artırır. Önerilen bu tasarımın genel verimliliği analiz edilmiştir. Sonuçlar, yıldız meyvesinin kurumasının, sabit bir kuruma hızı periyodunun gözlemlenmediği düşen hız periyodunda gerçekleştiğini göstermiştir. Kalite analiz verileri, güneşte kurutulan numunelerde açık güneşte kurutulmuş numunelere kıyasla daha yüksek TPC (47.59 mg GAE/gram numune) ve DPPH (73.59 μmol TE/gram numune) değerlerinin elde edildiğini ortaya koymuştur. Yıldız meyve dilimleri üzerinde yapılan duyusal analizler (tat, aroma ve lezzet), güneşte kurutulmuş dilimlerin açık güneşte kurutulmuş örneklere göre daha iyi kalite özelliklerine sahip olduklarını göstermiştir (Kondareddy vd., 2020).

Mandalina kabuklarını kurutmak için en uygun ve etkili yöntemi belirlemek için farklı yöntemlerden (güneşte kurutma, sıcak havayla kurutma, dondurarak kurutma, vakumla kurutma ve orta ve kısa dalga kızılötesi kurutma) yararlanılmıştır. Sonuçlar, orta ve kısa dalga kızılötesi kurutmanın nutrasötik bileşenleri korumak için en iyi yöntem olduğunu göstermiştir; örneğin, C vitamini 3.39 mg/g'dan (güneşte kurutma) 6.77 mg/g'a (D.W.) yükseltilmiştir. Ayrıca kuruma süresi güneşte kurutmaya göre %96'nın üzerinde kısaltılabilmiştir. Bu bulgular, yüksek kaliteli kurutulmuş mandalina kabukları üretmek için güvenilir ve zaman kazandıran bir metodoloji sağlayacaktır (Xu vd., 2017).

Karpuz kabuğu (Citrullus lanatus) meyvesi önemli bir tarımsal atıktır ancak aynı zamanda da yenilebilir ve potansiyel bir besin kaynağıdır. Bu kabuk kurutulabilir ve çeşitli gıda uygulamalarında kullanılabilen toz forma dönüştürülebilir. Karpuz kabuğu parçalarının akışkan yatakta kurutulması, yüksek kaliteli bir kurutulmuş karpuz kabuğu tozu üretmek için hızlı bir kurutma yöntemi olarak araştırılmıştır. Kabuk parçaları (1x1x0.5 cm), ağırlıkta neredeyse hiç değişiklik olmayana kadar 70°C'de (4 m/s) bir Sherwood Scientific Tornado Fluidized Bed Dryer (Sherwood Scientific Ltd, Cambridge, UK) içinde kurutulmuştur. Kurutulan numuneler daha sonra ince bir toz (180 um) halinde

öğütülmüştür. Taze kabuğun başlangıç nem içeriği ve su aktivitesi (a_w) değerleri sırasıyla ortalama 7.78 g H_2O/g DM (%88.43 wb) ve 0.979'dur. Kabuk, 53 dakika sonra 0.025 g H_2O/g DM (%2.4 wb) ortalama nem içeriğine ve 0.463 nihai ortalama su aktivitesine kadar kurutulmuştur. Kuruma azalan hız periyodunda gerçekleşmiş ve kuruma hızı sabitleri (k) ortalama 0,0830 1/dk, karşılık gelen yayılma değerleri ortalama 3,50 x 10^{-9} m^2/s olarak hesaplanmıştır. Aghbashlo et al. hatanın ortalama karekköüne (HKOK) ve ki-kare istatistiğine dayalı olarak, modelin MR verilerine en iyi uyduğu bulunmuştur. Sonuçlar, karpuz kabuğu tozlarının imalatında kullanılacak karpuz kabuğu parçalarının kurutulması için hızlı bir kurutma yöntemi olarak akışkan yataklı kurutmanın yüksek bir potansiyele sahip olduğunu göstermektedir (Mujaffar ve Dadbahal, 2019).

Bu çalışma, elma, erik ve elma ve erik karışımı (50:50, w/w) derilerin kalite parametreleri üzerine konvektif ve güneşte kurutmanın etkisini test etmiştir. Ayrıca kimyasal yöntemlerle belirlenen fiziksel, duyusal ve kimyasal özellikler kızılötesi spektroskopik yöntemle karşılaştırılmıştır. Konvektif kurutma, özellikle erik derisi için kuru madde, briks, pH ve titre edilebilir asitliği (TA) ve artan a_w, toplam fenolik bileşik (TPC) ve antioksidan kapasiteyi (AOC) önemli ölçüde azaltmıştır. Kimyasal yöntemlerle karşılaştırıldığında, meyve derisi üretiminde fiziko-kimyasal özelliklerin sağlam ve hızlı bir şekilde belirlenmesi için daha yüksek determinant katsayısı, kesinlik ve tahmin determinant değerlerinin oranı ile daha düşük bias ve HKOKP değerlerine sahip kızılötesi spektroskopik yöntem önerilmiştir (Nizamlioglu vd., 2022)

Aralıklı mikrodalga konvektif kurutma (IMCD), mikrodalga, konvektif ve mikrodalga konvektif kurutmanın eksikliklerinin üstesinden gelmek için kullanılan nispeten gelişmiş bir kurutma teknolojisidir. Bu araştırma, ısıtma modellerinin elma diliminin mekanik özelliklerinin evrimi üzerindeki etkisine yeni bir ışık tutmayı amaçlamıştır. Bu araştırmada, konvansiyonel kurutma IMCD'den türetilen numunelerin kurutma ve rehidrasyon kinetiğinin karşılaştırmaları da mekanik özelliklerindeki değişimler ışığında gerçekleştirilmiştir. Sonuç, IMCD ile kurutulmuş ve konvektif kurutulmuş gıda malzemeleri arasında kurutma ve rehidrasyon kinetiğinde önemli farklılıklar olduğunu göstermektedir. Aynı miktarda nemi gidermek için konvektif ısıtma, IMCD'ye kıyasla yaklaşık 10 kat daha fazla zaman alır. Ayrıca, IMCD kurutulmuş numunelerde daha iyi rehidrasyon kapasitesi ve görünümü bulunmuştur. Sonuç olarak, IMCD'nin, geleneksel kurutmadan daha yüksek kaliteyi korumanın yanı sıra enerji açısından verimli bir hızlı kurutma seçeneği sunduğu görülmüştür (Joardder ve Karim, 2022).

Dondurma ön işlemlerinin sıcak hava ile kurutulan üzümlerin kurutma kinetiği ve kalitatif özellikleri (büzülme, rehidrasyon, renk, tekstür, toplam fenol içeriği, antioksidan aktivite) üzerine etkileri incelenmiştir. Sonuçlar, üzüm kurutmadan önce bir dondurma ön işleminin kullanılmasının çekmeyi (84 ± 1'den 72 ± %1'e), renk değişikliklerini, sıkılığı (1,7 ± 0,1'den 0,9 ± 0,1 N'ye), kuruma süresini ve artan rehidrasyonu, toplam rehidrasyonu azalttığını göstermiştir. Korelasyon katsayısı en yüksek ve ortalama karekök hatası ve ki-kare değeri en düşük olan Page modeli en iyi model olarak seçilmiştir. Taramalı elektron mikroskobu kullanılarak hem geleneksel hem de kriyojenik dondurma uygulanan numunelerde donma çatlakları gözlenmiştir (Noshad ve Ghasemi, 2020).

Kumkuat, yüksek miktarda C-glikozit flavonoidler ve dihidrokalkon bileşikleri içeren küçük, eliptik şekilli bir meyvedir. Kurutma, kumkuat için alternatif bir muhafaza yöntemi olabilir, ancak kabuğun nem difüzyonu üzerindeki sınırlayıcı etkisine bağlı olarak meyvenin nem içeriğini azaltmak uzun zaman alır. Ultrasonik, kabuğun mikro yapısında deformasyon meydana getirerek ve ardından kavitasyon sonucu nem yayılımını artırarak etkili bir ön işlem olabilir. Bu çalışmada, kumkuat dilimlerinin sıcak hava ile kurutulmasından önce ultrason ön işleminin etkisi araştırılmıştır. Bu amaçla kumkuatlar 400 ml'lik cam behere yerleştirilmiş, her behere 1:4 (w/w) meyve:su oranında 25°C'de destile su eklenmiş ve 20 kHz frekanslı ultrasonik prob ile %100 genlikte 5 dakika sonike edilmiştir. Ön işlem görmüş kumkuatlar keskin bir bıçakla boylamasına iki parçaya bölünmüş ve 60°C hava sıcaklığında 0,3 m/s hava hızında kabinli kurutucuda kurutulmuştur. Kuruma verileri ultrasonik uygulama ile kuruma hızının arttığını ve kuruma süresinin kısaldığını göstermiştir. Deneysel kurutma verilerine uyan beş farklı ince tabaka kurutma modeli ve Page ve Değiştirilmiş Page modelleri, daha yüksek R^2 (0.9896-0.9974) ve daha düşük χ^2 (0.0001-0.0004) ve HKOK (0.0029-0.0044) değerleri vererek işlem görmemiş ve ultrasonik ön işlemden geçirilmiş kumkuatların kuruma özelliklerini tanımlamak için en uygun modeller olarak belirlenmiştir (Ayranci vd., 2017).

Fonksiyonel içerik geliştirmeye yönelik partikül sistemleri, böğürtlen atıklarının akışkan yataklı kurutulmasıyla elde edilmiştir. Akışkanlaşma davranışı, kuruma özellikleri ve fizikokimyasal ve fonksiyonel özellikler, farklı hava sıcaklıklarında (50, 60 ve 70 °C) ve 6 m/s hava akış hızında incelenmiştir. Bu koşullar altında, heterojen ve yüksek nemli bir malzeme olan böğürtlen atığı, kabarcıklı akışkanlaştırma rejimi altında ve inert malzeme

kullanılmadan başarıyla granüllere dönüştürülebilmiştir. Page modeli, böğürtlen atığının kuruma davranışını tahmin etmek için en uygun model olarak belirlenmiştir. Kuruma hızı artan sıcaklık ile birlikte artmıştır ve $a_w < 0,3$ olan bir granüle ulaşma süresi 30 dakikadan (50 °C'de) 12 dakikaya (70 °C'de) düşürülmüştür, bu da daha düşük nem ve boyutta ve adil akışkanlığa sahip partiküller üretmeye yardımcı olmuştur. Ek olarak, lif türleri arasında daha iyi bir denge ve böğürtlen pigmentlerinin ve renginin yüksek tutulması sağlanmıştır (Sozzi vd., 2021).

Bu çalışmada, muz kurutmak için doğrudan cebri konveksiyonlu ev tipi güneş enerjisi kurutucusunun performansı sunulmaktadır. Düz bir plaka kollektör üzerinde polikarbonat plaka örtülü bir güneş kurutucusu yapılmış ve parabolik biçimde tasarlanmıştır. Gelen güneş ışınımının kurutucuya iletilmesine izin verirken ısı kayıplarını azaltmak için bir polikarbonat kapak kullanılmıştır. Bu güneş kurutucusunda Ocak-Temmuz 2019 boyunca beş grup muz kurutulmuştur. Her parti için 10 kg muz kurutulmuştur. Sonuçlar, kurutucudaki kurutma havasının sıcaklığının sabah 8:00 ile akşam 18:00 arasında 35 °C ila 60 °C arasında değiştiğini göstermiştir. Kurutucudaki muzun nem içeriği, 4 gün içinde %72 (ıslak baz, wb) başlangıç değerinden %28 (wb) nihai değerine düşürülürken, güneşte kurutulmuş örneklerin nem içeriği 40'a düşürülmüştür. Doğal güneşte kurutmaya kıyasla güneş enerjisiyle kurutucuda kurutma süresinde önemli bir azalma olmuş ve kurutma süresinde %48 tasarruf sağlanmıştır. Lezzet, renk ve doku açısından yüksek kalitede güneşte kurutulmuş ürün elde edilmiştir. Kurutucunun geri ödeme süresi yaklaşık 1,1 yıl olarak öngörülmüştür (Nabnean ve Nimnuan, 2020).

Yaban mersini işlemek için yeni bir kurutma teknolojisi, uzak kızılötesi radyasyon ısıtma destekli darbeli vakumlu kurutma (FIR-PVD) işlemi numuneler üzerinde uygulanmıştır. Kurutma sıcaklığı, vakum basıncı süresi (VPD) ve ortam basıncı süresinin (APD) yaban mersini kurutma özellikleri ve kalite özellikleri üzerindeki etkileri FIR-PVD altında incelenmiştir. Sonuçlar, kurutma sıcaklığının, APD'nin ve VPD'nin kurutma süresi ve kurutulmuş yaban mersini renk ve yapışkanlık için beklenen kalite özellikleri üzerinde önemli bir etkiye sahip olduğunu göstermiştir. Sıcak hava ile kurutulmuş yaban mersini ile karşılaştırıldığında, FIR-PVD, 65 °C'de kurutma sırasında yaban mersini hücre duvarlarına ciddi şekilde zarar vermiştir. FIR-PVD ürünleri, sıcak havayla kurutmaya kıyasla daha düşük renk farkı, daha iyi mekanik özellikler ve rehidrasyon performansı elde etmiş ve kuruma süresini kısaltarak, oksijene maruz kalmayı azaltarak ve mikro yapıyı değiştirerek daha yüksek antioksidan kapasiteyi korumuştur (Liu vd., 2022).

Bu çalışma, mikrodalga-vakum destekli kurutmanın, farklı ön işlemlere tabi tutulan bütün kızılcıkların kurutma kinetiği, biyoaktif bileşikleri ve antioksidan aktivitesi üzerindeki etkilerine odaklanmıştır. Sonikasyon, konvektif dondurma ile birlikte sonikasyon, mikrodalga-vakum ön işlemi, mikrodalga-vakum ön işlemi kombine edilmiştir. Sıcak hava konvektif kurutma ile karşılaştırıldığında, mikrodalga vakum destekli kurutmanın, kuruma süresini %54 kısalttığı görülmüştür. Mikrodalgaların kurutmanın son aşamasında uygulanması, konvektif başlangıç aşamasından 17 kat daha yüksek kurutma hızları elde edilmesini sağlamıştır. Farklı başlangıç işlemleri arasında, dondurma, kuruma süresi açısından en iyi sonuçları vermiştir. Sonikasyon, biyoaktif bileşenlerin tutulması, antioksidan aktivite ve kurutulmuş meyvelerin genel görünümü için en iyi sonuçları vermiştir (Zhou vd., 2021).

Durian, besin değerleri ve eşsiz tadı nedeniyle en popüler meyvelerden biridir. Durian ürünleri, pazar ihtiyaçlarını karşılamak için sürekli olarak geliştirilmiştir. Bu çalışmada durian (Durio zibethinus Murr.), normalde buğday unundan yapılan bisküvilerde kullanılmak üzere durian unu üretmek için 1200 W'da mikrodalga vakumlu kurutmaya tabi tutulmuştur. Sonuç olarak, buğday unu ile karşılaştırıldığında, durian ununun daha düşük viskoziteye, yapıştırma sıcaklığına, jelatinleşme sıcaklıklarına ve jelatinleşme entalpisine, ancak daha yüksek su emme kapasitesine sahip olduğu görülmüştür (Bai-Ngew vd., 2021).

Su aktivitesi, ürünü sentezleyecek mikroorganizmanın kullanabileceği su miktarı ile ilişkisi nedeniyle katı hal fermantasyon prosesinde çok önemli bir faktördür. Bu nedenle, substratın karakterizasyonu için sorpsiyon izotermlerinin elde edilmesi gereklidir. Bu çalışmanın amacı, kuru kaju elmasının (Anacardium occidentale L.) fermantasyon işleminin normal sıcaklıklarında (25, 30, 35 e 40 ºC) adsorpsiyon izotermlerini elde etmektir. Elde edilen deneysel veriler beş farklı matematiksel modele yerleştirilmiş ve modellere uygunluk test edilmiştir. Bunun sonucunda en uygun modellerin BET, GAB, Oswin ve Henderson & Smith olduğu görülmüştür. Elde edilen izotermler katı hal fermantasyon işlemi ile pektin üretimi için mikroorganizmanın biyosentezini en üst düzeye çıkaran su aktivitelerini elde etmek için uygun nem içeriğinin belirlenmesine katkı sağlamıştır (Alcântara vd., 2009).

Ananas, antienflamatuar özellikleri, antioksidanlar açısından zengin, bağışıklık sistemini güçlendirme gibi çeşitli faydaları olan lezzetli ve sağlıklı bir tropik meyvedir. Ananasın raf ömrünün uzatılmasındaki en etkili yöntem kurutmadır. Mevcut çalışma, ananas için

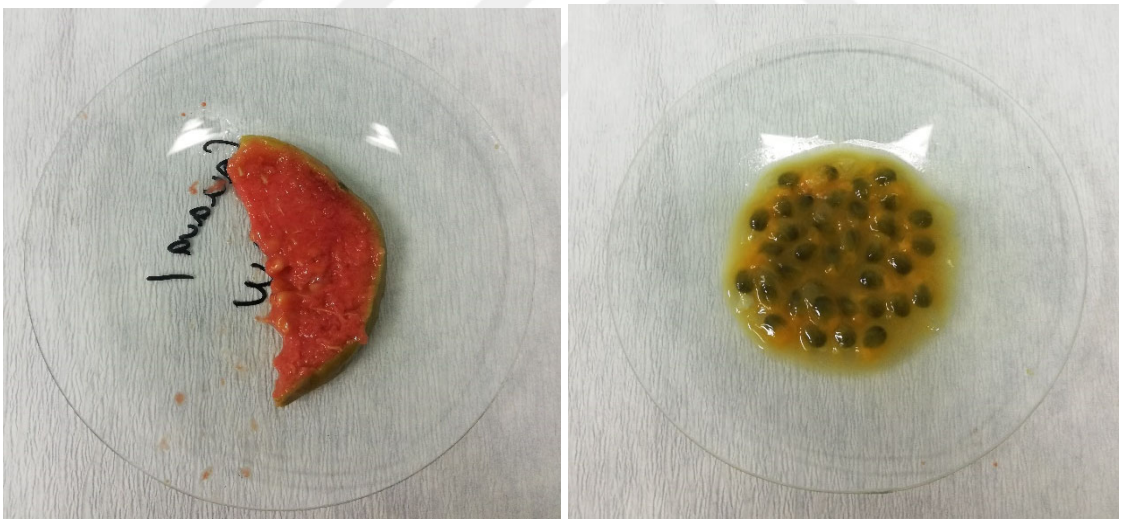
özel olarak hazırlanmış çeşitli kurutma tekniklerinin kapsamını, pratik fizibilitesini araştırmak ve aynı anda çeşitli kriterleri göz önünde bulundurarak en uygun kurutma yönteminin bulunmasını sağlamayı hedeflemiştir. Kurutma kinetiğinin anlaşılmasına yardımcı olmak adına altı farklı matematiksel model elde edilen deneysel veriler ile karşılaştırılmıştır. Ancak ananas için açık güneşte kurutma, kontrollü güneşte kurutma, elektrikli fırında kurutma, mikrodalga fırında kurutma, sıcak hava fırınında kurutma yöntemleri arasında hangi yöntemin daha efektif olduğuna matematiksel modelleme yoluyla karar vermek mümkün olmamıştır. Enerji tüketimini en aza indirerek, ürünün besin değerini koruyarak ve kuruma süresini kısaltarak çeşitli kurutma süreçlerini optimize etmeye yardımcı olmak için SWARA-MOORA ve SWARA-WASPAS gibi hibrit MCDM modelleri kullanılmıştır. Bu modeller, kurutma işlemlerini fayda sırasına göre sıralar ve daha az enerji tüketen, maksimum besin maddelerini koruyan ve kurutma için daha az zaman alan ananas için en iyi kurutma yöntemini bulur. Karşılaştırılan altı kurutma yöntemi arasında mikrodalga fırında kurutmanın, ananas örneklerini en verimli ve etkili bir şekilde kurutma potansiyeline sahip olduğu görülmüştür (Chauhan vd., 2021).

4
DENEYSEL ÇALIŞMALAR

4.1 Hammadde ve Örnek Hazırlama

Guava ve çarkıfelek meyvesi Antalya'da sebze – meyve halinden temin edilmiştir. Satın alınan çarkıfelek meyvesinin menşei Kolombiya, guava meyvesinin menşei ise Antalya'dır. Numuneler deneylere başlanmadan önce buzdolabında 4 °C'de muhafaza edilmiştir. Deneyler gerçekleştirilmeden önce numuneler buzdolabından çıkartılmış ve oda sıcaklığına gelmeleri için 1 saat boyunca dışarıda bekletilmişlerdir.

Guava numuneleri 5 mm kalınlığında ve 6±0,1 gram dilimler halinde kesilerek işleme alınmışlardır. Çarkıfelek meyveleri ise tohumlu ve sulu yapıları sebebi ile 6±0,1 gram olacak şekilde saat camı üzerinde tartılmış ve yaklaşık 5 cm çapında bir alana yayılarak işleme hazırlanmışlardır.



Şekil 4.1 Nem tayini analizine hazırlanan guava ve çarkıfelek meyvesi numuneleri

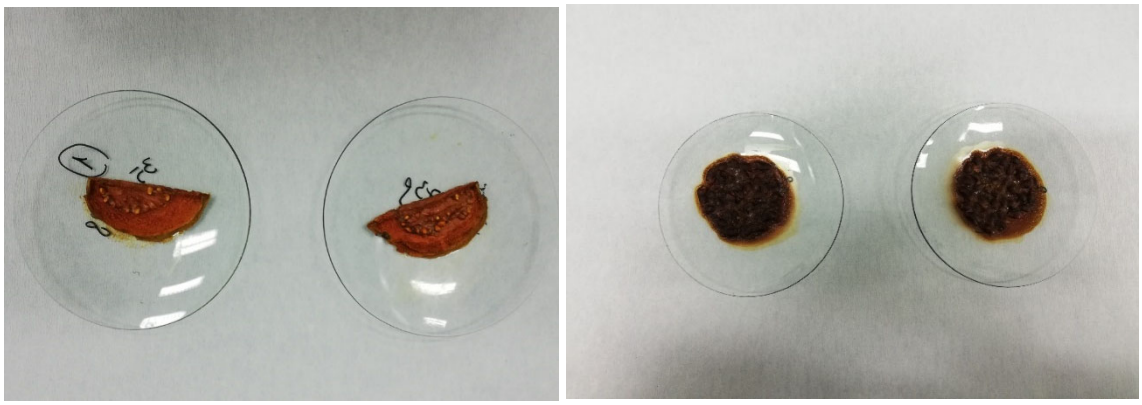
Kurutma işlemlerine başlamadan önce her iki egzotik meyvenin içerisinde bulunan nem miktarını ölçmek amacıyla ikişer adet numune 0.001 g hassasiyete sahip Radwag AS 220.R2 dijital terazide (Radwag, Radom, Polonya) (Şekil 4.2) ilk tartımları alınıp ardından etüvde yaklaşık 3 saat kurutulmuş, ardından etüvden çıkarılan numuneler (Şekil 4.3) oda sıcaklığına gelene dek desikatör içerisinde bekletilmiştir. Oda sıcaklığına gelen

numunelerin son tartımları alınarak içeriğindeki nem miktarı aşağıdaki formül ile hesaplanmıştır;

$$\text{Nem Miktarı} = \frac{\text{İlk ağırlık-Son ağırlık}}{\text{Son ağırlık}} \text{ x } 100 \qquad (4.1)$$



Şekil 4.2 Radwag AS 220.R2 dijital terazi (Radwag, Radom, Polonya)



Şekil 4.3 Nem tayini yapılan guava ve çarkıfelek meyvesi numuneleri

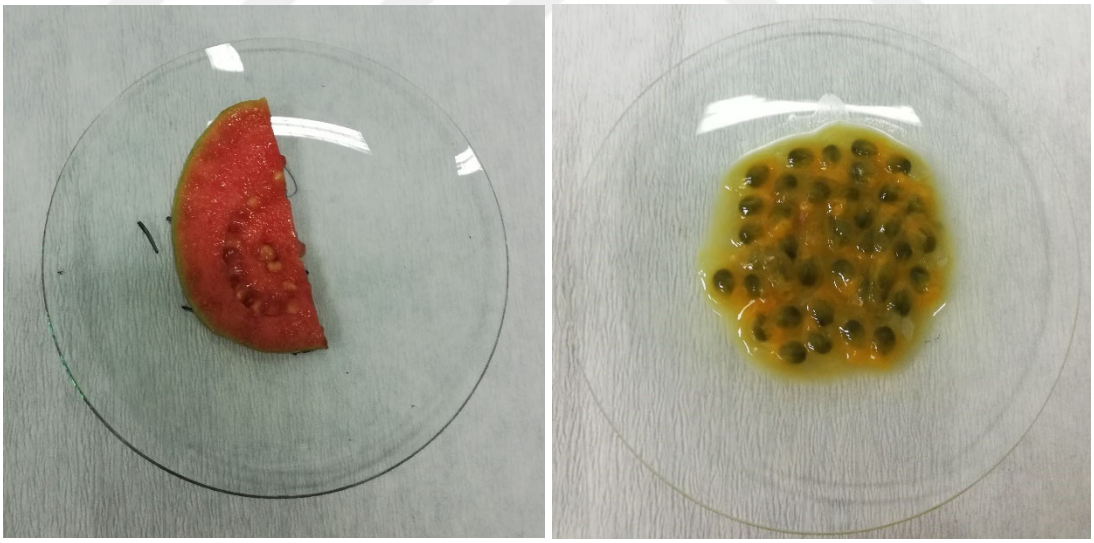
Bu tayinin sonucunda çarkıfelek meyvesinin yaş bazda nem miktarının %74,28, kuru bazda 5,0875 kg su/kg kuru madde, guavanın ise yaş bazda nem miktarının %83,59, kuru bazda 2,8889 kg su/kg kuru madde olduğu gözlemlenmiştir.

4.2 Mikrodalga Kurutma

Hazırlanan çarkıfelek meyvesi ve guava numuneleri önceden 0.001 g hassasiyete sahip Radwag AS 220.R2 dijital terazi (Radwag, Radom, Polonya) kullanılarak darası alınmış saat camları üzerinde tartılmıştır. Ardından numuneler 140 W, 210 W ve 350 W güç değerlerinde, maksimum 1080 W güçte çalışan DeLonghi Compact Wave MW 205.S 21 (Şekil 4.4) litre iç kapasiteli mikrodalga fırın ile kurutulmuşlardır.



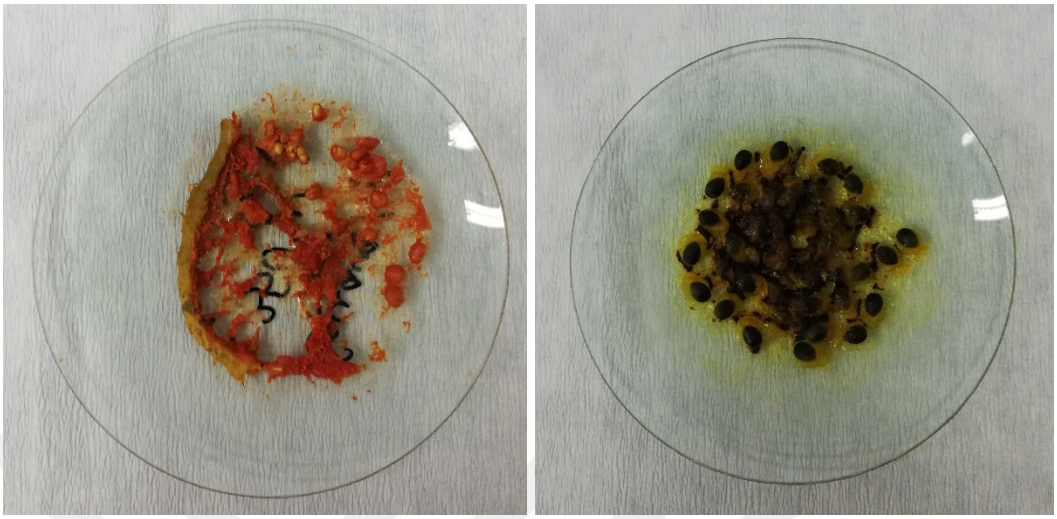
Şekil 4.4 DeLonghi Compact Wave MW 205.S mikrodalga kurutucu



Şekil 4.5 Mikrodalga kurutucu ile kurutulmaya hazırlanan guava ve çarkıfelek meyvesi numuneleri

Kurutma işlemi sırasında 140 W ve 210 W güç değerlerinde dakikada bir, 350 W güç değeri içinse 30 saniyede bir numuneler mikrodalga kurutucu içerisinden çıkartılarak hassas terazide tartılmış ve tüm ağırlıklar daha sonra kullanılmak üzere dijital ekrandan değer okunarak kaydedilmiştir. Bu işlem numunelerin kendi ısısıyla nem kaybetmesini

engellemek amacı ile oldukça hızlı gerçekleştirilmiştir. Çarkıfelek meyvelerinin toplam nem miktarının %5-%10 arasına denk gelen 0,13 kg su / kg kuru madde miktarına kadar meyveler kurutulmuştur (Şekil 4.6).



Şekil 4.6 Mikrodalga kurutucu ile kurutulan guava ve çarkıfelek meyvesi numuneleri

Mikrodalga kurutucudan çıkartılan kurutulmuş çarkıfelek meyvesi ve guava numuneleri desikatör içerisinde oda sıcaklığına soğutulmalarının ardından polietilen torbalarda paketlenmiştir. Ağızları sıkıca kapatılan torbalar desikatör içerisinde muhafaza edilmiştir.

Kurutma sırasında kaydedilen her bir ölçüm için N (g), KH ve NO değerleri hesaplanmış ve grafikleri çizilmiştir. Ardından elde edilen sonuçlara göre gerekli hesaplamalar yapılmıştır.

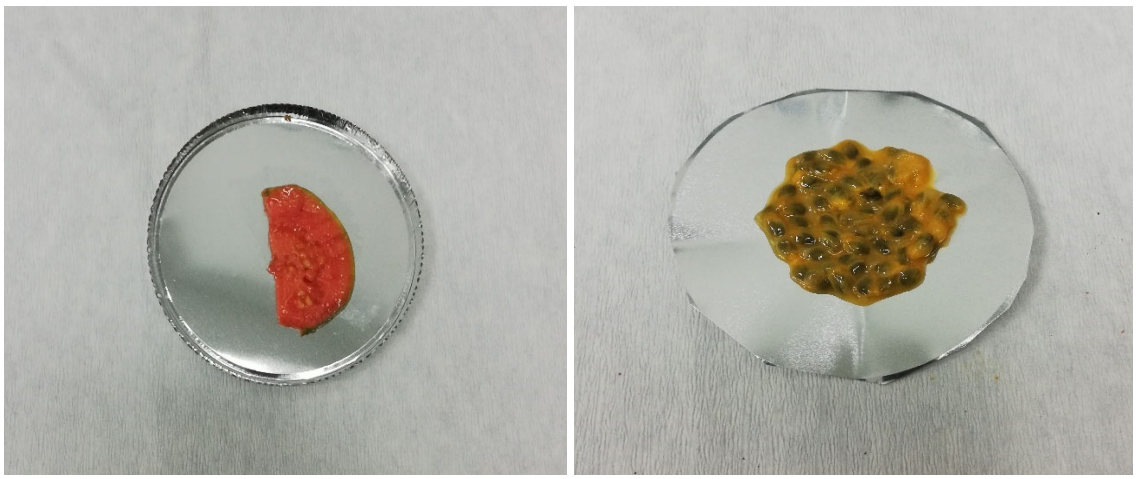
4.3 Kızılötesi Kurutma

Kızılötesi kurutma analizleri sırasında Radwag MA 50R Kızılötesi Nem Analiz Cihazı cihazı kullanılmıştır (Şekil 4.7). Bu cihaz 50 gr numune kapasiteli olup 250 °C sıcaklığa kadar çıkabilmektedir. Ayrıca, verilerin buradan okunabilmesi için bir Sıvı Kristal Ekran'a (LCD) sahiptir.



Şekil 4.7 Radwag MA 50R kızılötesi nem analiz cihazı

Hazırlanan çarkıfelek meyvesi ve guava numuneleri içerisine önceden darası alınarak sıfırlanmış numune tabakaları üzerine yerleştirilmiştir. IR kurutma yöntemi 60, 70 ve 80˚C sıcaklıklarda kullanılmıştır. IR cihazının sıcaklık seviyesi ayarı dijital kontrol butonları ile yapılmakta ve numune alüminyum bir numune kabı üzerine yerleştirilerek cihaza konulmaktadır. Başlangıç ağırlığı kaydedilmiş, ardından kapak kapatılmış ve deney başlatılmıştır. Her 15 dakikada bir dijital ekrandan değer okunarak numune ağırlığı kaydedilmiştir. Çarkıfelek meyvesinin içerisinde yaklaşık 0,42 kg su / kg kuru, guavanın ise içerisinde yaklaşık 0,23 kg su / kg kuru madde kalıncaya dek kurutmaya devam edilmiştir.



Şekil 4.8 Kızılötesi kurutucu ile kurutulmayan hazırlanan guava ve çarkıfelek meyvesi numuneleri

IR kurutucudan çıkartılan kurutulmuş çarkıfelek meyvesi ve guava numuneleri desikatör içerisinde oda sıcaklığına soğutulmalarının ardından polietilen torbalarda paketlenmiştir. Ağızları sıkıca kapatılan torbalar desikatör içerisinde muhafaza edilmiştir.



Şekil 4.9 Kızılötesi kurutucu ile kurutulan guava ve çarkıfelek meyvesi numuneleri

Kurutma sırasında kaydedilen her bir ölçüm için M (g), DR ve MR değerleri hesaplanmış ve grafikleri çizilmiştir. Ardından elde edilen sonuçlara göre gerekli hesaplamalar yapılmıştır.

4.4 Hibrit Kurutma

Yenilikçi yöntemlere alternatif bir yöntem olarak hibrit kurutma işleminde çarkıfelek meyvesi önce IR kurutucuda ardından mikrodalga kurutucuda kurutulmuş, ardından bu işlemin tersi gerçekleştirilerek numuneler önce mikrodalga kurutucuda ardından IR kurutucuda kurutulmuş ve deneysel veriler elde edilmiştir.

Hazırlanan çarkıfelek meyvesi numuneleri önceden 0.001 g hassasiyete sahip Radwag AS 220.R2 dijital terazi (Radwag, Radom, Polonya) kullanılarak darası alınmış saat camları üzerinde tartılmıştır. Çarkıfelek meyvesinin içerisindeki nem miktarının yarısı önce Radwag MA 50R Kızılötesi Nem Analiz Cihazı kullanılarak 60˚C sıcaklıkta giderilmiştir ve bu esnada her 15 dakikada bir dijital ekrandan değer okunarak numune ağırlığı kaydedilmiştir. 45 dakika sonunda elde edilen numune 1,1891 kg su / kg kuru madde içermektedir.

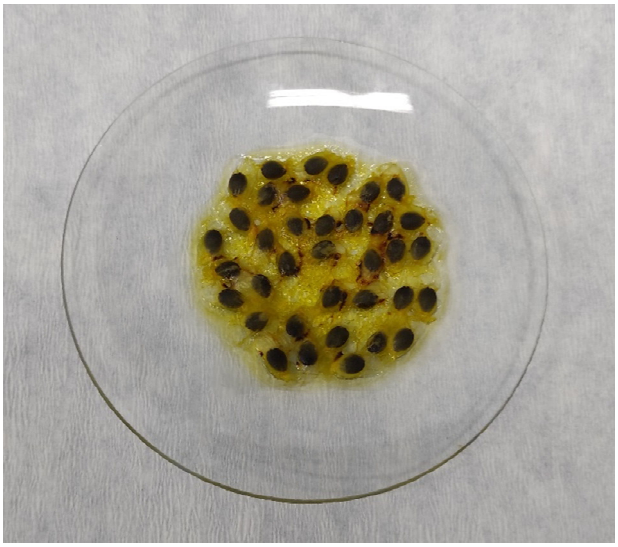
Numune ardından DeLonghi Compact Wave MW 205.S kurutucuya alınarak 140 W güç değerinde kurutulmuştur. Bu işlem sırasında numuneler her 1 dakikada mikrodalga kurutucu içerisinden çıkartılarak Radwag AS 220.R2 dijital teraziye (Radwag, Radom,

Polonya) yerleştirilmiş ve tüm ağırlıklar daha sonra kullanılmak üzere dijital ekrandan değer okunarak kaydedilmiştir. Bu işlem numunelerin çıkartıldığı süre içerisinde numune yüzeyinin ısısı ile birlikte içeriğindeki nemi kaybetmemesi amacı ile oldukça hızlı gerçekleştirilmiştir. 6 dakika sonunda elde edilen nihai çarkıfelek meyvesi numunesi 0,1168 kg su / kg kuru madde içermektedir.

Gerçekleştirilen hibrit kurutma yönteminin tersi olarak ise hazırlanan çarkıfelek meyvesi numuneleri önceden Radwag AS 220.R2 dijital hassas terazide darası alınmış saat camları üzerinde tartılmıştır. Ardından numuneler DeLonghi Compact Wave MW 205.S kurutucuya yerleştirilmiş ve nem miktarının yarısı 140 W güç değerinde giderilmiştir. Bu işlem esnasında numuneler her 1 dakikada mikrodalga kurutucu içerisinden çıkartılarak Radwag AS 220.R2 dijital teraziye yerleştirilmiş ve tüm ağırlıklar daha sonra kullanılmak üzere dijital ekrandan değer okunarak kaydedilmiştir. Elde edilen numunenin içerisinde 1,1142 kg su / kg kuru madde vardır.

Nem miktarlarının yarısı mikrodalga kurutucu kullanılarak giderilen çarkıfelek meyvesi numunesi Radwag MA 50R Kızılötesi Nem Analiz Cihazı'na alınmış ve kalan nem içerikleri 60˚C sıcaklıkta giderilmiş, bu esnada her 15 dakikada bir dijital ekrandan değer okunarak numune ağırlığı kaydedilmiştir. Elde edilen nihai çarkıfelek meyvesi numunesi 0,1452 kg su / kg kuru madde içermektedir.

Elde edilen tüm deneysel veriler kaydedilmiştir.



Şekil 4.10 Hibrit yöntem ile kurutulan çarkıfelek meyvesi numunesi

4.5 Kurutma Kinetiği Hesaplamaları

Sıvı veya buhar difüzyon mekanizması, meyve ve sebze gibi gıda ürünlerinin kurutulmasında nemin uzaklaştırılmasını kontrol eder. Difüzyona dayalı ince tabaka kurutma denklemi incelenirken tek boyutlu difüzyon dikkate alınır ve kullanılan denklem Fick'in ikinci yasasıdır.

Çarkıfelek meyvesi ve guavanın nem içeriği bilgisinden bulunan boyutsuz nem oranı (MR):

$$\mathrm{N} = \frac{\mathrm{m}_{su}}{\mathrm{m}_{\mathrm{km}}} \tag{4.2}$$

$$\mathrm{KH} = \frac{\mathrm{N}_{\mathrm{t+dt}} - \mathrm{N}_{\mathrm{t}}}{\mathrm{dt}} \tag{4.3}$$

$$\mathrm{NO} = \frac{\mathrm{N}_{\mathrm{t}} - \mathrm{N}_{\mathrm{e}}}{\mathrm{N}_{\mathrm{i}} - \mathrm{N}_{\mathrm{e}}} \tag{4.4}$$

Burada N nem miktarı (kg su/kg kuru madde), m_{su} numune içerisindeki su miktarı (kg), m_{km} kuru madde miktarıdır (kg). KH kuruma hızını (kg su/kg kuru madde x dk), $N_{(t+dt)}$, t+dt anındaki nem içeriği (kg su/kg kuru madde), t kurutma zamanıdır (dk). NO nem oranı, N_t, N_0 ve N_e ise sırasıyla herhangi bir kurutma anındaki nem miktarı, başlangıç nem miktarı ve dengedeki nem miktarıdır (kg su/kg kuru madde) (Kipcak, 2015).

4.6 Efektif Nem Difüzyon Katsayısı Hesaplamaları

19. yüzyılda, Fick yasaları, difüzyonun temel açıklamasını şu şekilde yazan Adolf Fick tarafından geliştirildi:

- Konsantrasyon gradyanı, difüzyon nedeniyle molar akı ile orantılıdır.
- Boşlukla konsantrasyonun ikinci türevi, uzayda bir noktadaki konsantrasyon değişim hızıyla orantılıdır.
- Difüzyon katsayısı sabittir ve büzülme ihmal edilebilir.

Gıda maddeleri genellikle azalan hız periyodunda kuruma gerçekleştirir. Fick'in ikinci yasası kullanılarak azalan hız periyodunda gerçekleşen kurumayı tanımlamak için farklı matematiksel modeller ortaya koyulmuştur. Fick'in ikinci difüzyon kanunu denklem 4.5'de verilmiştir.

$$\frac{\partial \mathrm{M}}{\partial \mathrm{t}} = \nabla[D_{eff}(\nabla M)] \tag{4.5}$$

Kurutulan gıda maddelerinin ince tabaka halinde kurutulmasından dolayı Fick'in ikinci yasasında bazı düzenlemeler yapılarak denklem 4.6 elde edilmiştir. Bu denklem düzenlenirken yapılan bazı varsayımlar:

- Kütle transferi sadece difüzyon sayesinde yapılır.
- Difüzyon katsayısı sabittir.
- Sıcaklık kurutma sırasında sabittir.

$$NO = \frac{8}{\pi^2} \exp\left(-\pi^2 x \frac{D_{eff} x\, t}{4 x\, L^2}\right) \quad (4.6)$$

Bu denklemde verilen D_{eff} efektif nem yayılma katsayısını (m^2/s), t kurutma hızını (s), NO nem oranını ve L ürünün yarı kalınlığını (m) ifade eder.

Efektif difüzyon katsayısına etkileyen birçok parametre vardır. Bunlardan bazıları; gıda maddesinin içeriği, nem miktarı, gözenek yapısı ve kurutma sıcaklığıdır (Srikiatden vd., 2006; Guo vd., 2017).

Denklem 4.6'da her iki tarafın da logaritması (ln) alınırsa, denklem 4.7 elde edilir.

$$\ln(NO) = \ln\left(\frac{8}{\pi^2}\right) - \left(\frac{\pi^2 x\, D_{eff} x\, t}{4L^2}\right) \quad (4.7)$$

Hesaplanmak istenen her sıcaklık için çizilen ln(NO)'ya karşı zaman grafiğinin eğimi, efektif nem difüzyonu katsayısı olan D_{eff}'i verir. Bu formül denklem 4.8 ve 4.9'da verilmiştir.

$$Eğim = \left(\pi^2 x \frac{D_{eff} x\, t}{4L^2}\right) \quad (4.8)$$

$$D_{eff} = \left(\frac{eğim x\, 4L^2}{\pi^2}\right) \quad (4.9)$$

4.7 Arrhenius Denklemi

Arrhenius denklemi ilk olarak J.J. Hood tarafından, bazı reaksiyonların hız sabitlerinin sıcaklıkla değişimi esasına dayanan çalışmaları ile formüle edilmiştir. Denklemin adını taşıyan İsveçli kimyager Svante Arrhenius ise, reaksiyon hız sabiti ve sıcaklık arasındaki ilişkinin hemen hemen her türlü reaksiyona uygulanabileceğini göstermiştir. Arrhenius denklemi, gıdaların kimyasal reaksiyon hızı ve biyolojik süreçleri üzerindeki sıcaklığın etkisini modellemek için yaygın olarak kullanılmaktadır. Modelin doğruluğu, T'nin °K'de

olduğu 1/T grafiğine karşı ln[k(T)] doğrusallığı ile gösterilebilir. Burada, bu grafiğin eğimi, reaksiyonun aktivasyon enerjisi hesabı için kullanılır (Peleg vd. 2012).

$$k=Ae^{-Ea/RT} \tag{4.10}$$

burada k reaksiyon hızını, A bir sabiti, R termodinamik gaz sabitini, E_a aktivasyon enerjisini ve T sıcaklığı gösterir.

Bu denklem şu şekilde yazılabilir:

$$\ln k=\ln k_0-\frac{Ea}{RT} \tag{4.11}$$

Kurutma işleminde, etkin difüzyon katsayısı ve başlangıç difüzyon katsayısı kullanılarak aktivasyon enerjisinin hesaplanması için Arrhenius denklemi kullanılır. Böylece; denklem şu şekilde yazılabilir:

$$\ln D_{eff}=\ln D_0-\frac{Ea}{RT} \tag{4.12}$$

4.8 Aktivasyon Enerjisi Hesaplamaları

Aktivasyon enerjisini belirlemek için kurutma sıcaklığına bağlı etkin nem yayılımı şu şekildedir:

$$D_{eff}= D_0 \exp\left(-\frac{E_a}{R \times T_{abs}}\right) \tag{4.13}$$

Arrhenius sabiti D_0 (m^2/s) ile gösterilirken, evrensel gaz sabiti R (8.314×10^{-3} kJ/mol °K) ile gösterilir, mutlak sıcaklık (°K) ile gösterilir ve aktivasyon enerjisi E_a (kJ/mol) ile gösterilir.

4.9 Matematiksel Modelleme ve İstatistiksel Veri Analizi

Çarkıfelek meyvesi ve guava için en uygun kurutma modelini bulmak amacıyla elde edilen deneysel veriler içerisinden zaman ve nem oranları Statistica 8.0 (StatSoft, Tulsa, ABD) isimli bir bilgisayar programı kullanılarak literatürde sıkça kullanılan 15 farklı ince tabaka kurutma modeline yerleştirilmiştir. Modellerin parametreleri, doğrusal olmayan bir regresyon analizi kullanılarak hesaplanmıştır.

Tablo 4.1 Matematiksel model isimleri ve denklemleri

Model İsmi	Matematiksel Denklemi
Aghbashlo vd., 2004	$NO = \exp(-k_1 t/1+k_2 t)$
Alibas, 2012	$NO = a \times \exp[(-kt^n)+bt]+c$
Henderson ve Pabis, 1961	$NO = a \times \exp(-kt)$
Jena ve Das, 2007	$NO = a \times \exp(-kt+b\sqrt{t}) + c$
Lewis, 2010	$NO = \exp(-kt)$
Logaritmik, 1999	$NO = a \times \exp(-kt) + c$
Midilli vd., 2002	$NO = a \times \exp(-kt^n)+bt$
Page, 1949	$NO = \exp(-kt^n)$
Parabolik, 2004	$NO = a + bt + ct^2$
Peleg, 1993	$NO = 1 - (t/a+bt)$
İki Terimli, 1998	$NO = a \times \exp(-k_0 t) + b \times \exp(-k_1 t)$
İki Terimli Üstel, 1974	$NO = a \times \exp(-k_0 t) + b \times \exp(-k_1 t)$
Verma, 1985	$NO = a \times \exp(-kt)+(1-a)\exp(-gt)$
Wang ve Singh, 1978	$NO = \exp(-(t/b)^a)$
Weibull, 2006	$NO = a-b \times \exp[-(kt)^n]$

Bu çalışmada en yüksek R^2 ve en düşük X^2 ve HKOK değerlerine sahip modeller en iyi modeller olarak kabul edilmiştir. R^2, X^2 ve HKOK değerli sırası ile aşağıdaki denklemler kullanılarak hesaplanmıştır:

$$R^2 = 1 - \frac{\sum_{i=1}^{N}\left(NO_{exp,i} - NO_{pre,i}\right)^2}{\sum_{i=1}^{N}\left(NO_{exp,i} - \left(\frac{1}{n}\right)NO_{exp,i}\right)^2} \quad (4.14)$$

$$X^2 = \frac{\sum_{i=1}^{N}\left(NO_{exp,i} - NO_{pre,i}\right)^2}{N-z} \quad (4.15)$$

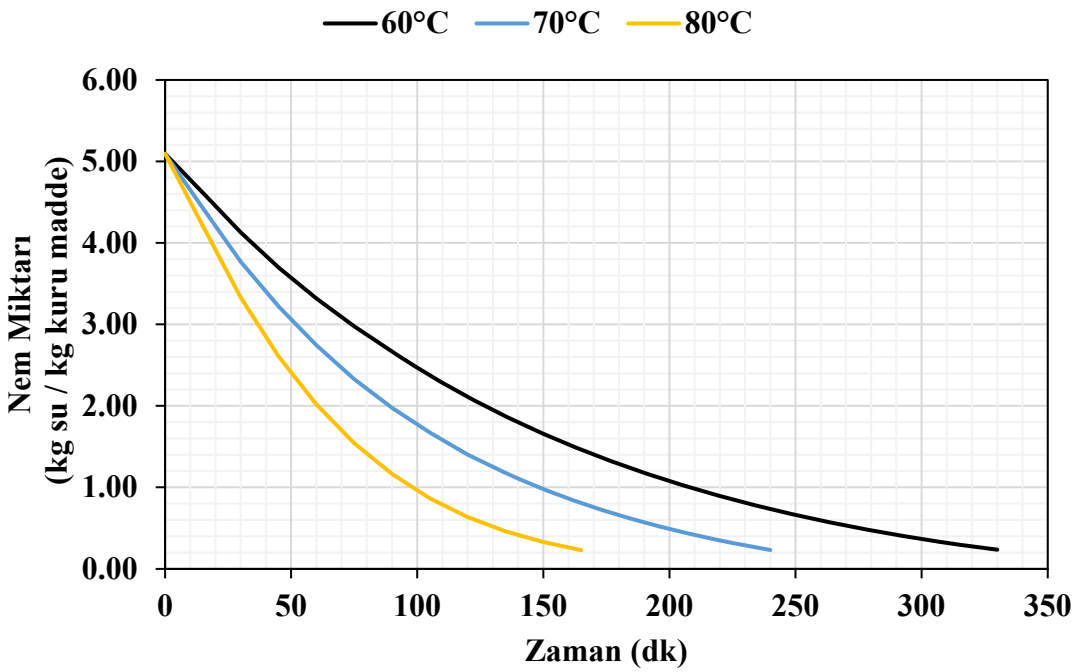
$$HKOK = \left(\frac{1}{N}\sum_{i=1}^{N}\left(NO_{pre,i} - NO_{exp,i}\right)^2\right)^{\frac{1}{2}} \quad (4.16)$$

Burada NO_{exp} ve NO_{pre}, sırasıyla nem oranlarının deneysel ve tahmini değerlerini temsil eder. Toplam deney sayısı N, karşılaştırılan modeldeki sabit parametre sayısı ise z ile gösterilir.

5
DENEYSEL SONUÇLAR VE TARTIŞMA

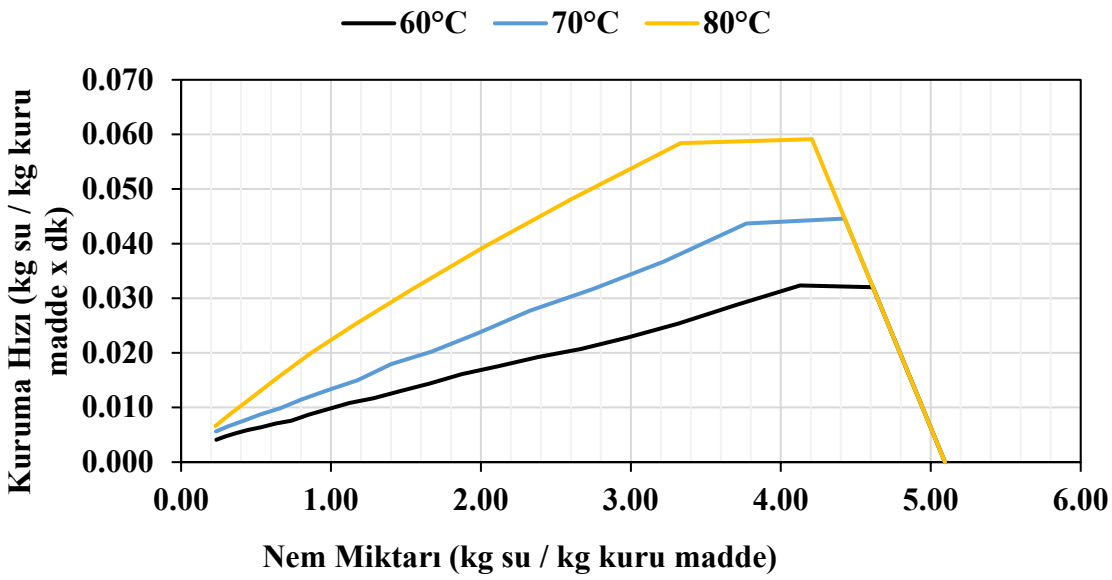
5.1 Kızılötesi Kurutucuda Kurutulan Guava Kurutma Eğrileri

Guava numuneleri için IR kurutucuda 60, 70 ve 80 ºC'de kurutma işlemleri sırasıyla 330, 240 ve 165 dakikada tamamlanmıştır ve her bir sıcaklık için sırası ile kurutulmuş numunelerde kalan nem miktarları 0,2348; 0,2323 ve 0,2296 kg H_2O/kg kuru madde olarak hesaplanmıştır. Her üç sıcaklık için de grafikler incelendiğinde artan sıcaklık değeri ile birlikte kurutma süresinin azaldığı görülmüştür. Bu durum, sıcaklık arttıkça kütle ve ısı transferine bağlı olarak su kaybının da arttığını göstermektedir. Bu bilgiler doğrultusunda kurutma süresi ve sıcaklık arasında ters bir orantı olduğu söylenebilir. Örneğin, Şekil 5.1'de görüldüğü üzere sıcaklığın 60 ºC'den 80 ºC'ye artırılması sonucu kurutma işleminin tamamlanması için gereken zamanda bir düşüş gözlemlenmiştir.



Şekil 5.1 Kızılötesi kurutulan guava numunelerine ait nem miktarları

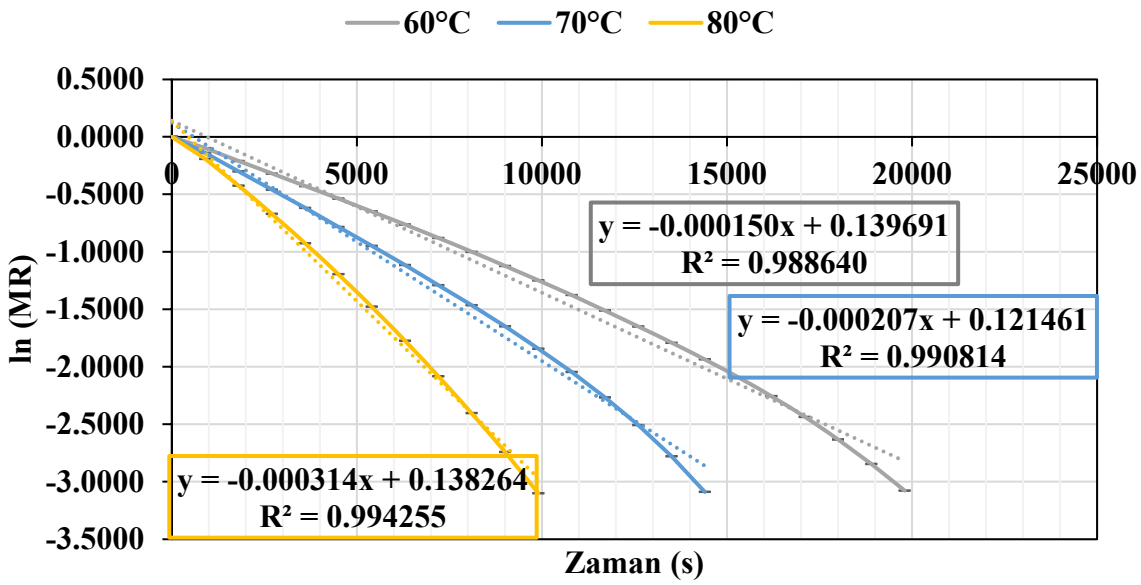
Kurutmanın başlangıcında tüm sıcaklık değerleri için kuruma periyodunun artan hızda olduğu gözlenmiştir. Şekil 5.2 incelendiğinde, 60, 70 ve 80ºC için 0,0985 kg H_2O/kg kuru madde dakikaya ulaşmıştır. Ardından 60, 70 ve 80ºC'lerde sabit kuruma evresi başlamış ve 0,0323; 0,0437 ve 0,0584 kg H_2O / kg kuru madde dakikaya kadar devam etmiştir. Ardından tüm sıcaklıklar için kuruma hızı eğrisinin büyük bir kısmının gerçekleştiği azalan hızda kuruma periyodunda başlamıştır. Bu süreçte kuruma hızları 60, 70 ve 80 ºC için sırasıyla 0,0041; 0,0056 ve 0,0066 kg su/ kg kuru madde dakikaya kadar düşmüştür.



Şekil 5.2 Kızılötesi kurutulan guava numunelerine ait kuruma hızlarının nem miktarları ile değişimi

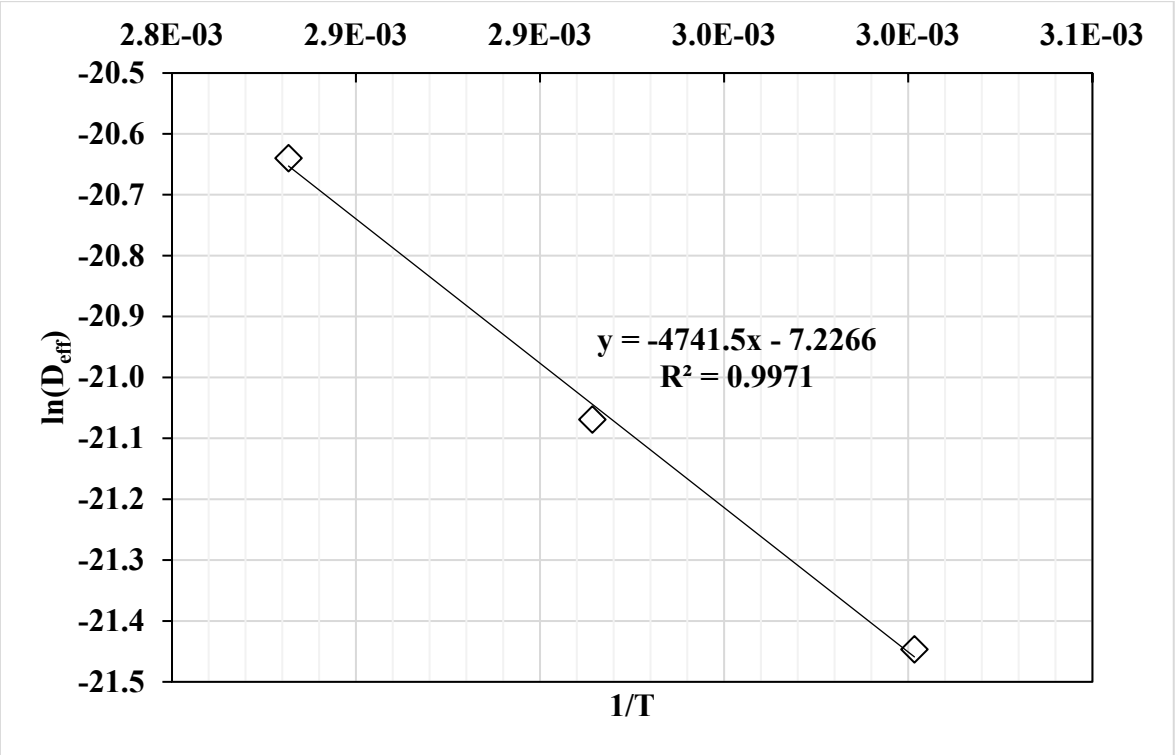
5.2 Kızılötesi Kurutucuda Kurutulan Guava İçin Efektif Difüzyon Katsayısı ve Aktivasyon Enerjisi Hesaplaması

Efektif nem difüzyon katsayısını (D_{eff}) hesaplamak için Fick'in ikinci difüzyon yasası kullanılmıştır. Bunun için öncelikle kurutma sürelerine (saniye) karşı nem miktarlarının logaritması grafiği (Şekil 5.3) çizilmiştir. Bu eğrilerin eğimleri denklem 4.9'da yerine koyularak efektif nem difüzyon katsayıları her sıcaklık için ayrı ayrı hesaplanmıştır. Guava için bu değerler 60, 70 ve 80 ºC için sırası ile $4{,}85 \times 10^{-10}$, $7{,}08 \times 10^{-10}$ ve $1{,}09 \times 10^{-9}$ olarak hesaplanmıştır. Bu değerlere bakıldığında artan sıcaklık ile birlikte D_{eff} değerlerinin de arttığı gözlemlenmiştir.

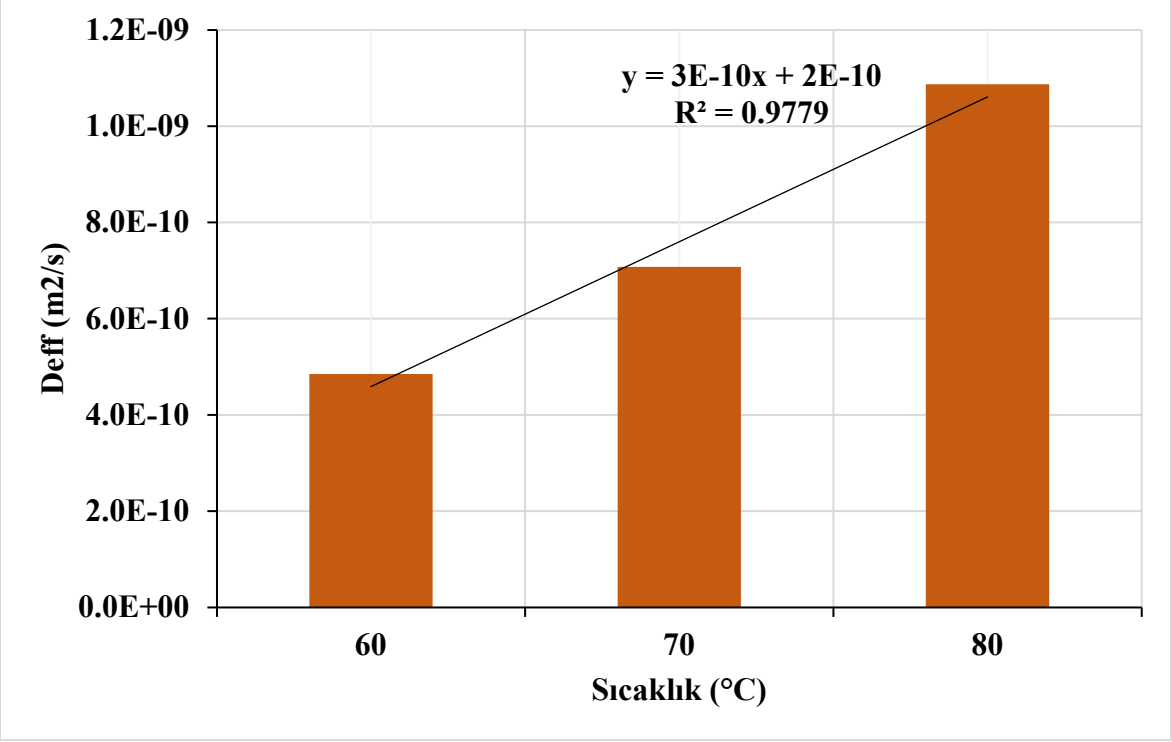


Şekil 5.3 Kızılötesi kurutulan guava numunelerine ait efektif nem difüzyon eğrileri

Aktivasyon enerjisini hesaplamak için, 140, 210 ve 350 W hesaplanan efektif difüzyon katsayılarının logaritmalarına karşı mutlak sıcaklığın tersi (1/T) grafiği çizilmiştir (Şekil 5.4). Bir maddenin aktivasyon enerjisi, o maddenin içerisindeki nemin yayılmaya başlamasını sağlayacak minimum gereklilikteki enerji miktarını göstermektedir. IR kurutucu ile kurutulan guava numunelerinin aktivasyon enerjilerini hesaplamak için öncelikle çizilen D_{eff}'in doğrusallaştırılmış haline karşı çizilen mutlak sıcaklığın tersi grafiğinin eğimi bulunmuştur. Şekil 5.4'de görüldüğü üzere eğim 4741,5 olarak hesaplanmış ve bu eğim aktivasyon enerjisini hesaplamak için denklem 4.13'de yerine konularak R (8,314 J/mol.K) ile çarpılmıştır. Sonuç olarak, IR kurutucu ile kurutulan guava için aktivasyon enerjisi 39,42 kJ/mol olarak elde edilmiştir.



Şekil 5.4 Kızılötesi kurutulan guava numunelerine ait efektif difüzyon katsayılarının logaritmalarına karşı mutlak sıcaklığın tersi



Şekil 5.5 Kızılötesi kurutulan guava numunelerinin 60, 70 ve 80 °C'deki hesaplanan D_{eff} değerleri

5.3 Kızılötesi Kurutucuda Kurutulan Guava İçin Matematiksel Modelleme Sonuçları

Kızılötesi kurutucuda 60, 70 ve 80ºC için deneyler sonunda elde edilen kurutma verilerine göre matematiksel modelleme yapılmış ve bu verilerin tahmin edilmesinde en uygun modeller belirlenmiştir. Uygulanan matematiksel modeller arasında Aghbashlo vd., Midilli ve İki Terimli Üstel modelleri en yüksek R^2 değerleri ve en düşük χ^2 ile HKOK değerlerine sahip olarak en yakın sonuçları yakalamışlardır. R^2 değerleri her sıcaklık için sırasıyla Aghbashlo vd. için; 0,999850, 0,999858, 0,999696, Midilli için; 0,999979, 0,999979, 0,999993, İki Terimli Üstel için; 0,999282, 0,999571, 0,999909 olarak, χ^2 değerleri ise sırası ile Aghbashlo vd. için; 0,000013, 0,000013, 0,000034, Midilli için; 0,000002, 0,000002, 0,000001, İki Terimli Üstel için; 0,000063, 0,000040, 0,000010 olarak hesaplanmıştır. HKOK değerleri ise sırası ile Aghbashlo vd. için; 0,003465, 0,003428, 0,005302, Midilli için; 0,001280, 0,001319, 0,000824, İki Terimli Üstel için; 0,007571, 0,005954, 0,002905 olarak hesaplanmıştır. Matematiksel modelleme parametrelerinin tümü Tablo 5.1'de sunulmuştur.

Tablo 5.1 IR kurutucuda guavanın farklı sıcaklıklarda elde edilen matematiksel model sabitleri ve istatistiksel parametreler

Model	Parametre	Sıcaklık (°C)		
		60	70	80
Aghbashlo vd.	k_1	0,006709	0,009685	0,013576
	k_2	-0,000730	-0,000865	-0,001825
	R^2	0,999850	0,999858	0,999696
	χ^2	0,000013	0,000013	0,000034
	HKOK	0,003465	0,003428	0,005302
Alibas	a	0,213440	0,235230	0,242788
	k	0,325270	38,58507	6,100805
	n	11,54874	0,000000	0,000000
	b	-0,00258	-0,00343	-0,004971
	g	0,786560	0,764770	0,757212
	R^2	0,945513	0,944826	0,945496
	χ^2	0,005555	0,006463	0,008627
	HKOK	0,065934	0,067544	0,070940
Henderson ve Pabis	a	1,026867	1,022637	1,033641
	k	0,007867	0,011072	0,016519
	R^2	0,996824	0,997842	0,995843
	χ^2	0,000278	0,000202	0,000461
	HKOK	0,015919	0,013359	0,019592

Tablo 5.1 IR kurutucuda guavanın farklı sıcaklıklarda elde edilen matematiksel model sabitleri ve istatistiksel parametreler, devamı

Model	Parametre	Sıcaklık (°C)		
		60	70	80
Jena ve Das	a	0,772286	0,351369	123,778200
	k	0,008892	0,012339	0,019900
	b	0,015486	0,015499	0,032100
	c	0,246870	1,040678	-4,821700
	R^2	0,998349	0,999052	0,999406
	χ^2	0,000159	0,000103	0,000082
	HKOK	0,011477	0,008854	0,007408
Lewis	k	0,007653	0,010819	0,015983
	R^2	0,995792	0,997099	0,994209
	χ^2	0,000351	0,000255	0,000583
	HKOK	0,018324	0,015489	0,023123
Logaritmik	a	1,084771	1,066628	1,091345
	k	0,006531	0,009574	0,013885
	c	-0,081402	-0,061607	-0,076154
	R^2	0,999974	0,999948	0,999139
	χ^2	0,000002	0,000005	0,000106
	HKOK	0,001435	0,002080	0,008917
Midilli	a	1,000153	1,001635	1,000166
	k	0,006176	0,008930	0,008976
	n	1,026667	1,028690	1,130011
	b	-0,000146	-0,000147	-0,000073
	R^2	0,999979	0,999979	0,999993
	χ^2	0,000002	0,000002	0,000001
	HKOK	0,001280	0,001319	0,000824

Tablo 5.1 IR kurutucuda guavanın farklı sıcaklıklarda elde edilen matematiksel model sabitleri ve istatistiksel parametreler, devamı

Model	Parametre	Sıcaklık (°C)		
		60	70	80
Page	k	0,004560	0,007129	0,008301
	n	1,103654	1,089498	1,153242
	R^2	0,999078	0,999466	0,999917
	χ^2	0,000081	0,000050	0,000009
	HKOK	0,008576	0,006642	0,002764
Parabolik	a	0,971099	0,970497	0,987854
	b	-0,005582	-0,007874	-0,011939
	c	0,000009	0,000017	0,000038
	R^2	0,997728	0,996750	0,998376
	χ^2	0,000208	0,000326	0,000200
	HKOK	0,013464	0,016393	0,012244
İki Terimli Üstel	a	1,587490	1,558243	1,676288
	k	0,009568	0,013292	0,020977
	R^2	0,999282	0,999571	0,999909
	χ^2	0,000063	0,000040	0,000010
	HKOK	0,007571	0,005954	0,002905
İki Terimli	a	-0,043861	-0,045147	-0,094296
	k_0	3,587847	4,798115	3,756552
	b	1,043861	1,045147	1,094296
	k_1	0,008004	0,011324	0,017491
	R^2	0,997465	0,998567	0,998671
	χ^2	0,000245	0,000155	0,000184
	HKOK	0,014222	0,010887	0,011079

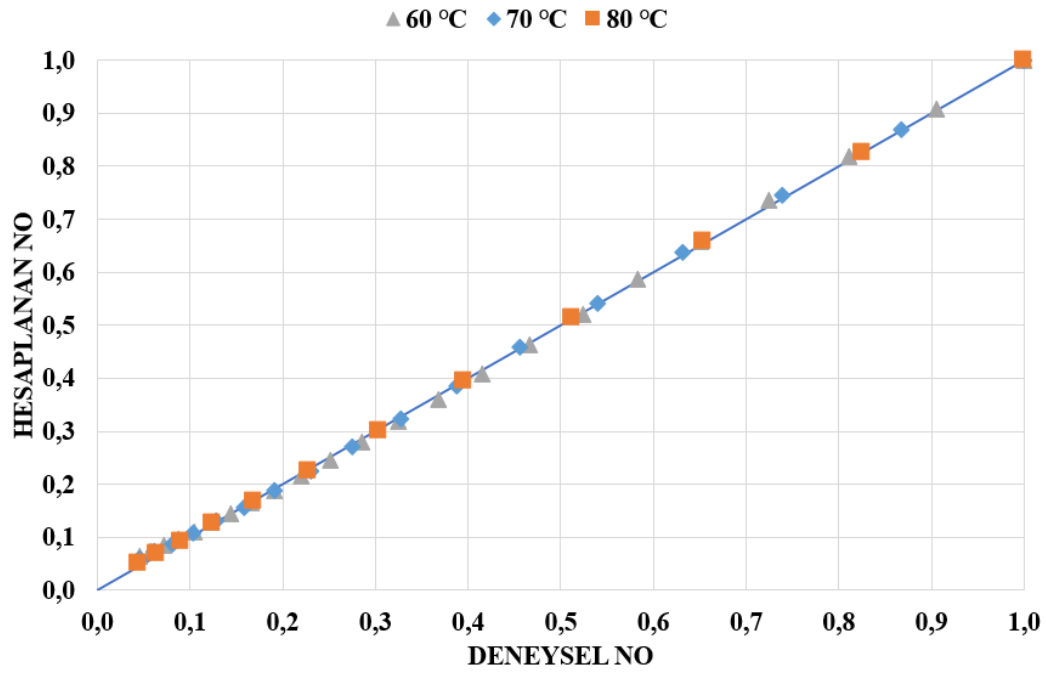
Tablo 5.1 IR kurutucuda guavanın farklı sıcaklıklarda elde edilen matematiksel model sabitleri ve istatistiksel parametreler, devamı

Model	Parametre	Sıcaklık (°C)		
		60	70	80
Verma	a	1,567452	1,666105	-0,094296
	k	0,005528	0,007989	3,710654
	g	0,003063	0,005065	0,017491
	R^2	0,999981	0,999936	0,998671
	χ^2	0,000002	0,000006	0,000164
	HKOK	0,001236	0,002307	0,011079
Wang ve Singh	a	-0,005924	-0,008350	-0,012220
	b	0,000009	0,000019	0,000040
	R^2	0,996351	0,995283	0,998133
	χ^2	0,000158	0,000442	0,000207
	HKOK	0,012027	0,019749	0,013131
Weibull	b	132,190900	93,452320	63,730740
	a	1,103700	1,089500	1,153240
	R^2	0,999078	0,999466	0,999917
	χ^2	0,000081	0,000050	0,000009
	HKOK	0,008576	0,006642	0,002764

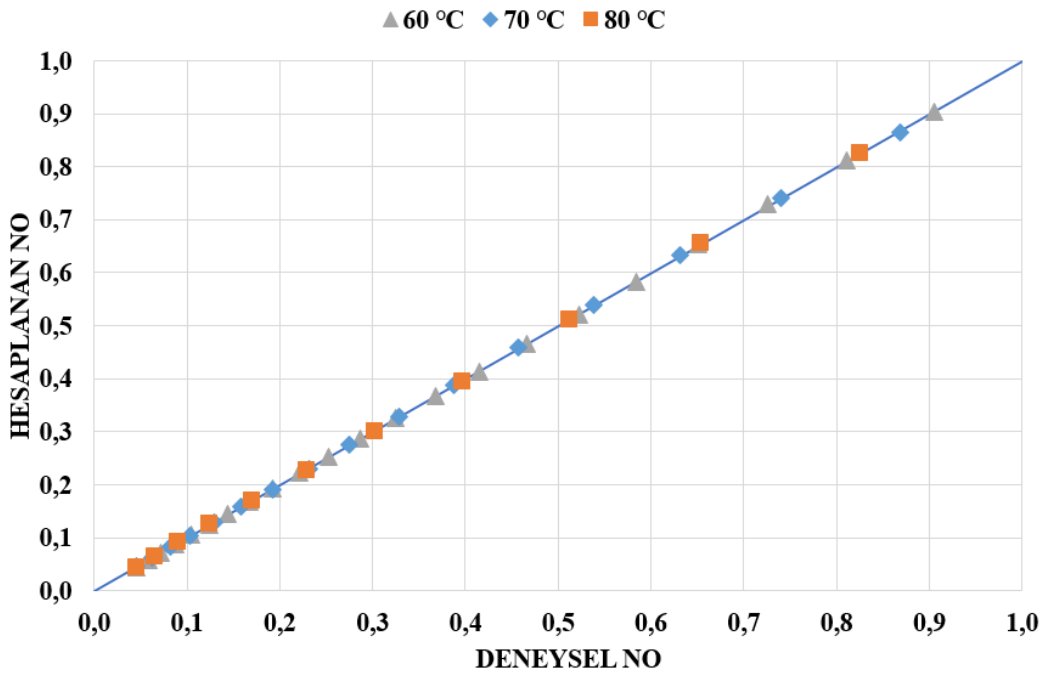
5.3.1 Kızılötesi kurutucuda kurutulan guava için farklı sıcaklıkta farklı matematiksel modellerde deneysel – hesaplanan kurutma hızı grafikleri

Seçilen modelleri doğrulamak için, kurutma hızı ve deneysel kurutma hızı grafikleri, tüm kurutma sıcaklıkları için (60, 70 ve 80ºC), Şekil 5.6, 5.7 ve 5.8'de en uygun modeller kullanılarak gösterilmektedir. 0,999 ve daha yüksek R^2 değerlerine sahip modellere yer

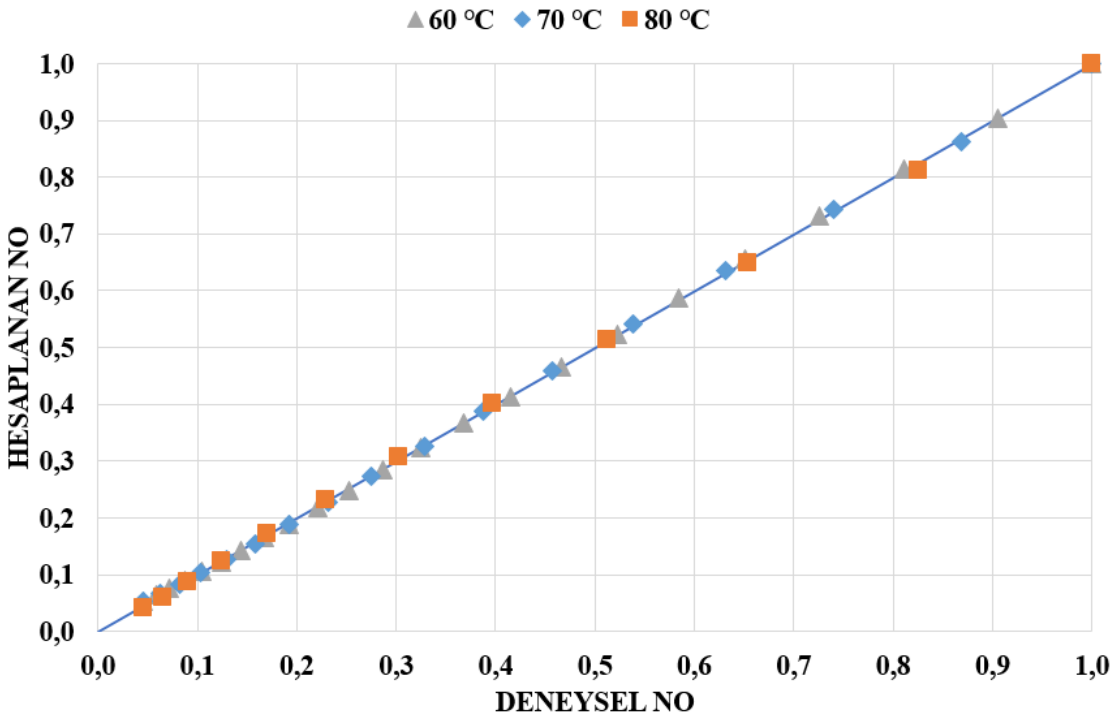
verilmiştir. Elde edilen deneysel veriler grafikte kesiştirilmiş ve bir doğru üzerinde toplanmıştır. Şekil 5.6, 5.7 ve 5.8'de görülebildiği üzere sırası ile İki Terimli Üstel, Midilli ve Aghbashlo vd. modellerinde deneysel ve hesaplanan veriler grafikte bir uyum içerisindedir.



Şekil 5.6 Kızılötesi kurutucuda kurutulan guavanın kuruma hızlarının İki Terimli Üstel modeli



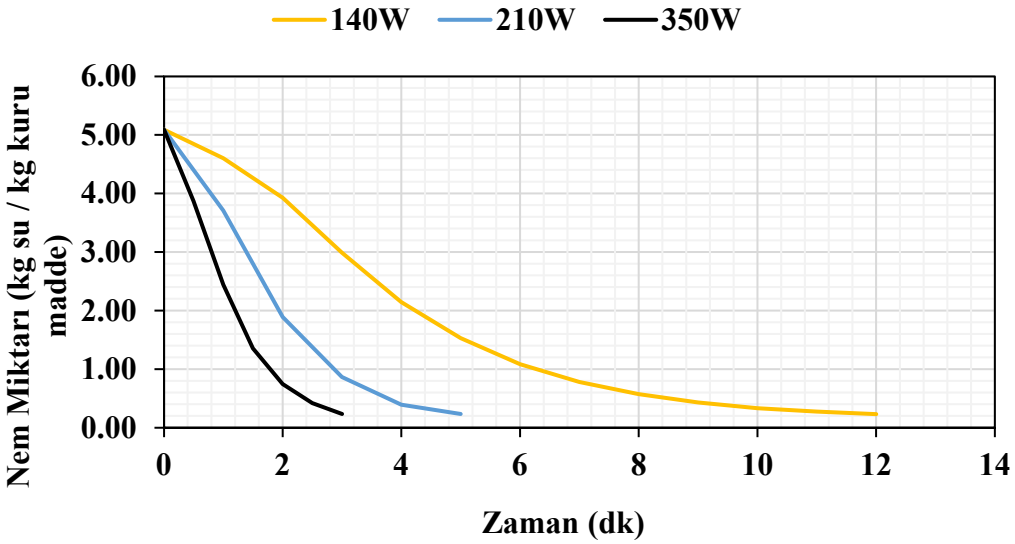
Şekil 5.7 Kızılötesi kurutucuda kurutulan guavanın kuruma hızlarının Midilli modeli



Şekil 5.8 Kızılötesi kurutucuda kurutulan guavanın kuruma hızlarının Aghbashlo modeli

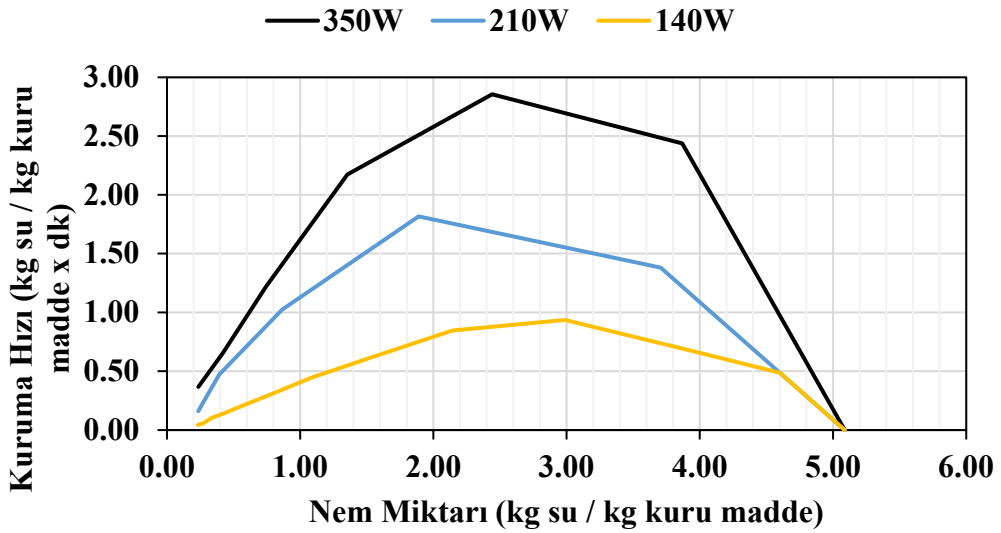
5.4 Mikrodalga Kurutucuda Kurutulan Guavanın Kurutma Eğrileri

Guava numuneleri için MW kurutucuda 140, 210 ve 350 W'ta kurutma işlemleri sırasıyla 12, 5 ve 3 dakikada tamamlanmıştır ve her bir sıcaklık için sırası ile kurutulmuş numunelerde kalan nem miktarları 0,2314; 0,2338 ve 0,2350 kg H_2O/kg kuru madde olarak hesaplanmıştır. Her üç güç değeri için de grafikler incelendiğinde artan güç değeri değeri ile birlikte kurutma süresinin azaldığı görülmüştür. Bu durum, mikrodalga kurutucunun güç değeri arttıkça kütle ve ısı transferine bağlı olarak su kaybının da arttığını göstermektedir. Bu bilgiler doğrultusunda kurutma süresi ve güç değeri arasında ters bir orantı olduğu söylenebilir. Örneğin, Şekil 5.9'da görüldüğü üzere güç değerinin 140 W'tan 350 W'a artırılması sonucu kurutma işleminin tamamlanması için gereken zamanda bir düşüş gözlemlenmiştir.



Şekil 5.9 Mikrodalgada kurutulan guava numunelerine ait nem miktarları

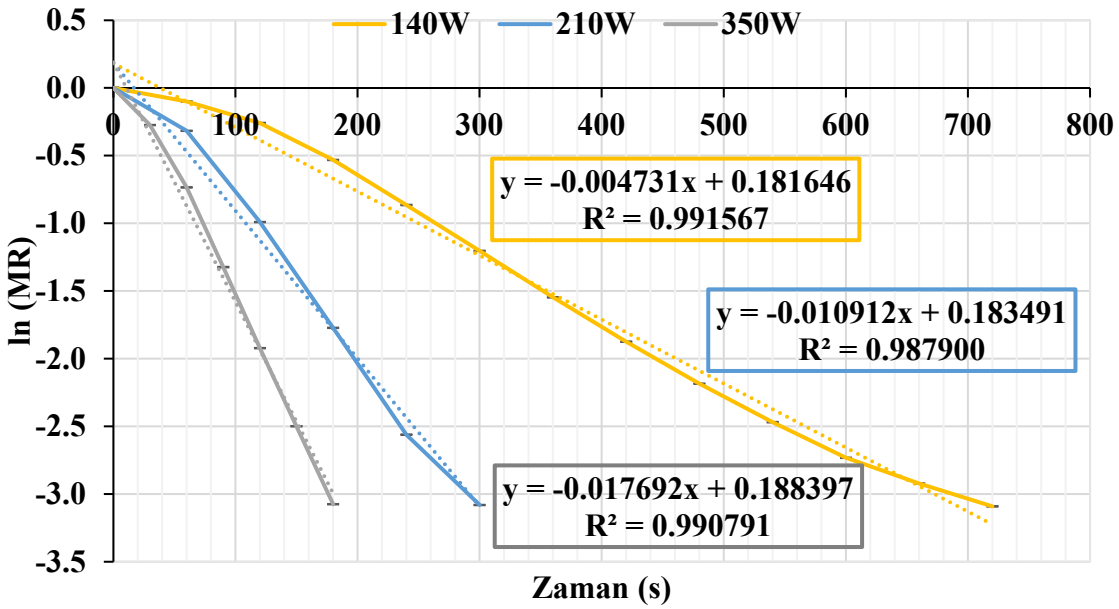
Kurutmanın başlangıcında tüm güç değerleri için kuruma periyodunun artan hızda olduğu gözlenmiştir. Şekil 5.10 incelendiğinde, 140, 210 ve 350 W'lar için sırasıyla 0,9368; 1,8164 ve 2,8559 kg H_2O / kg kuru madde dakikaya ulaşmıştır. 140, 210 ve 350 W'larda sabit kuruma evresi gözlemlenmemiştir. Ardından tüm güç değerleri için kuruma hızı eğrisinin büyük bir kısmının gerçekleştiği azalan hızda kuruma periyodunda başlamıştır. Bu süreçte kuruma hızları 140, 210 ve 350 W için sırasıyla 0,0425; 0,1592 ve 0,3662 kg su/ kg kuru madde dakikaya kadar düşmüştür.



Şekil 5.10 Mikrodalgada kurutulan guava numunelerine ait kuruma hızlarının nem miktarları ile değişimi

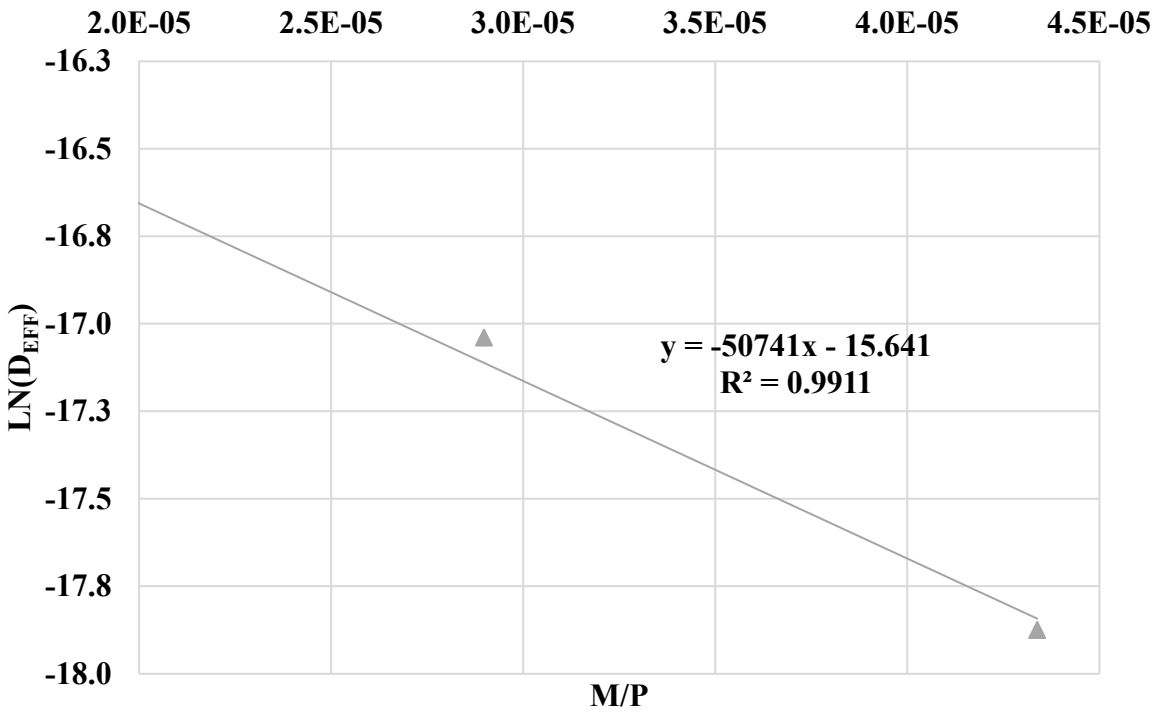
5.5 Mikrodalga Kurutucuda Kurutulan Guava için Efektif Difüzyon Katsayısı ve Aktivasyon Enerjisi Hesaplaması

Efektif nem difüzyon katsayısını (D_{eff}) hesaplamak için Fick'in ikinci difüzyon yasası kullanılmıştır. Bunun için öncelikle kurutma sürelerine (saniye) karşı nem miktarlarının logaritması grafiği (Şekil 5.11) çizilmiştir. Bu eğrilerin eğimleri denklem 4.9'da yerine koyularak efektif nem difüzyon katsayıları her güç değeri için ayrı ayrı hesaplanmıştır. Guava için bu değerler 140, 210 ve 350 ºC için sırası ile $1{,}73\times10^{-8}$, $3{,}98\times10^{-8}$ ve $6{,}45\times10^{-8}$ olarak hesaplanmıştır. Bu değerlere bakıldığında artan güç değeri ile birlikte D_{eff} değerlerinin de arttığı gözlemlenmiştir.

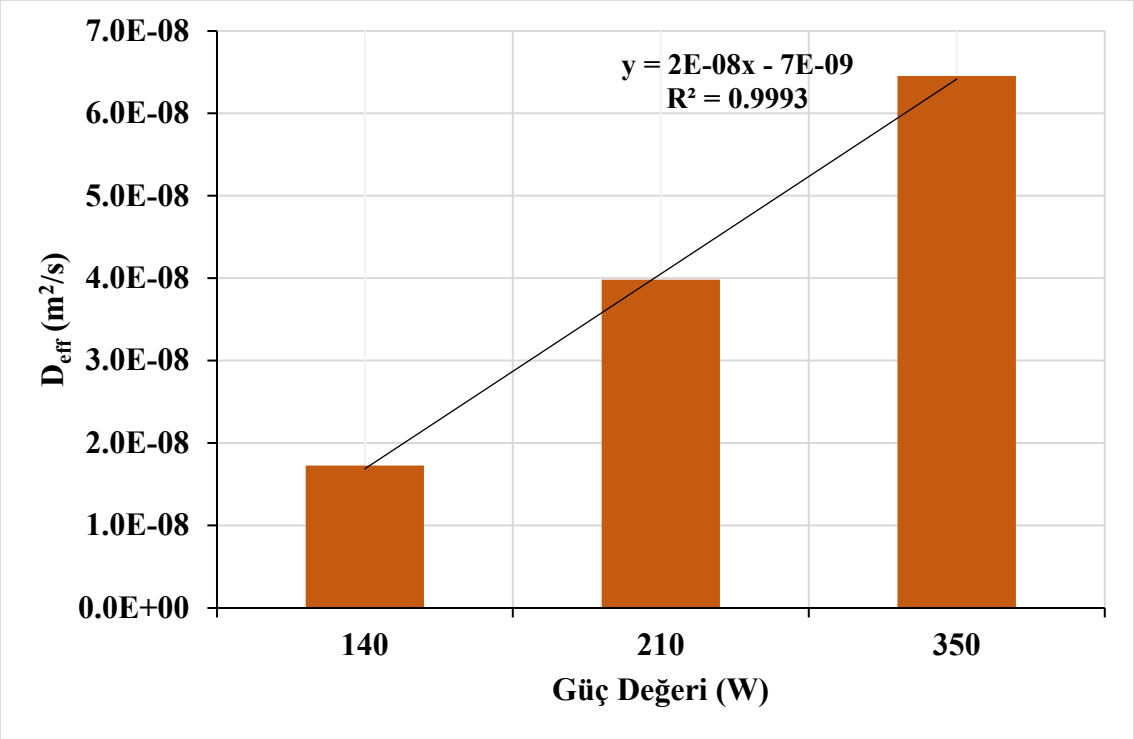


Şekil 5.11 Mikrodalgada kurutulan guava numunelerine ait efektif nem difüzyon eğrileri

Aktivasyon enerjisini hesaplamak için, 140, 210 ve 350 W hesaplanan efektif difüzyon katsayılarının logaritmalarına karşı (m/P) grafiği çizilmiştir (Şekil 5.12). MW kurutucu ile kurutulan guava numunelerinin aktivasyon enerjilerini hesaplamak için öncelikle çizilen D_{eff}'in doğrusallaştırılmış haline karşı çizilen grafiğinin eğimi bulunmuştur. Şekil 5.12'de görüldüğü üzere eğim 50741 olarak hesaplanmış ve bu eğim aktivasyon enerjisini hesaplamak için denklem 4.13'de yerine konularak R (8,314 J/mol.K) ile çarpılmıştır. Sonuç olarak, MW kurutucu ile kurutulan guava için aktivasyon enerjisi 421,86 kJ/mol olarak elde edilmiştir.



Şekil 5.12 Mikrodalgada kurutulan guava numunelerine ait efektif difüzyon katsayılarının logaritmalarına karşı m/P



Şekil 5.13 Mikrodalgada kurutulan guava numunelerinin 140, 210 ve 350 W'daki hesaplanan D_{eff} değerleri

5.6 Mikrodalga Kurutucuda Kurutulan Guava İçin Matematik Modelleme Sonuçları

MW kurutucuda 140 W, 210 W ve 350 W güç değerleri için deneyler sonunda elde edilen kurutma verilerine göre matematiksel modelleme yapılmış ve bu verilerin tahmin edilmesinde en uygun modeller belirlenmiştir. Uygulanan matematiksel modeller arasında Alibas, Midilli ve İki Terimli Üstel modelleri en yüksek R^2 değerleri ve en düşük χ^2 ile HKOK değerlerine sahip olarak en yakın sonuçları yakalamışlardır. R^2 değerleri her sıcaklık için sırasıyla Alibas için; 0,999968, 0,999960, 0.999771, Midilli için; 0,999951, 0,999878, 0,999571, İki Terimli Üstel için; 0,999882, 0,999815, 0,998744 olarak, χ^2 değerleri ise sırası ile Alibas için; 0,000013, 0,000030, 0,000041, Midilli için; 0,000013, 0,000046, 0,000083, İki Terimli Üstel için; 0,000032, 0,000069, 0,000070 olarak hesaplanmıştır. HKOK değerleri ise sırası ile Alibas için; 0,001918, 0,002250, 0,004993, Midilli için; 0,002376, 0,003906, 0,007586, İki Terimli Üstel için; 0,003685, 0,004812, 0,006949 olarak hesaplanmıştır. Matematiksel modelleme parametrelerinin tümü Tablo 5.2'de sunulmuştur.

Tablo 5.2 MW kurutucuda guavanın farklı güç değerlerinde elde edilen matematiksel model sabitleri ve istatistiksel parametreler

Model	Parametre	Güç (Watt)		
		350	210	140
Aghbashlo vd.	k_1	0,596271	0,336059	0,157256
	k_2	-0,179309	-0,131175	-0,053865
	R^2	0,995854	0,992612	0,988040
	χ^2	0,000667	0,001387	0,003385
	HKOK	0,021832	0,030412	0,036082
Alibas	a	0,912385	0,869940	0,823328
	k	0,805626	0,347046	0,088023
	n	1,484251	1,711553	1,763232
	b	-0,018417	-0,017806	-0,010881
	g	0,087210	0,130365	0,172398
	R^2	0,999968	0,999960	0,999771
	χ^2	0,000013	0,000030	0,000041
	HKOK	0,001918	0,002250	0,004993
Henderson ve Pabis	a	1,047681	1,046783	1,095750
	k	0,862467	0,523100	0,245448
	R^2	0,981726	0,973622	0,976186
	χ^2	0,002941	0,004953	0,003064
	HKOK	0,045832	0,057464	0,050914

Tablo 5.2 MW kurutucuda guavanın farklı güç değerlerinde elde edilen matematiksel model sabitleri ve istatistiksel parametreler, devamı

Model	Parametre	Güç (Watt)		
		350	210	140
Jena ve Das	a	0,316991	0,249893	1,235394
	k	1,349823	0,942723	0,377313
	b	0,582714	0,626742	0,324790
	c	1,148001	1,386710	-0,218391
	R^2	0,999524	0,999816	0,997146
	χ^2	0,000128	0,000069	0,000449
	HKOK	0,007394	0,004800	0,017627
Lewis	k	0,826193	0,502552	0,225213
	R^2	0,978209	0,970210	0,965311
	χ^2	0,002922	0,004475	0,004091
	HKOK	0,050048	0,061068	0,061450
Logaritmik	a	1,190369	1,208233	1,181523
	k	0,627838	0,371862	0,194031
	c	-0,163757	-0,179921	-0,111441
	R^2	0,991794	0,985626	0,983750
	χ^2	0,001651	0,003599	0,002300
	HKOK	0,030712	0,042420	0,042059
Midilli	a	1,000097	1,001071	1,000873
	k	0,754844	0,333088	0,097683
	n	1,437122	1,605535	1,581728
	b	0,007631	0,007316	0,003925
	R^2	0,999951	0,999878	0,999471
	χ^2	0,000013	0,000046	0,000083
	HKOK	0,002376	0,003906	0,007586

Tablo 5.2 MW kurutucuda guavanın farklı güç değerlerinde elde edilen matematiksel model sabitleri ve istatistiksel parametreler, devamı

Model	Parametre	Güç (Watt)		
		350	210	140
Page	k	0,734590	0,336417	0,109645
	n	1,378961	1,497966	1,451876
	R^2	0,999586	0,998621	0,997035
	χ^2	0,000067	0,000259	0,000381
	HKOK	0,006901	0,013140	0,017964
Parabolik	a	1,021125	1,027945	1,053391
	b	-0,651937	-0,399464	-0,188560
	c	0,108949	0,040319	0,008810
	R^2	0,996854	0,993000	0,992449
	χ^2	0,000633	0,001753	0,001069
	HKOK	0,019016	0,029603	0,028670
İki Terimli Üstel	a	1,958886	2,098033	2,031750
	k	1,264046	0,819401	0,358209
	R^2	0,999882	0,999815	0,998744
	χ^2	0,000032	0,000069	0,000070
	HKOK	0,003685	0,004812	0,006949
İki Terimli	a	-1,21659	0,511912	0,208791
	k_0	2,27624	0,523104	0,245498
	b	2,21638	0,534871	0,886967
	k_1	1,30846	0,523074	0,245441
	R^2	0,999890	0,973622	0,976186
	χ^2	0,000030	0,009906	0,003744
	HKOK	0,003564	0,057464	0,050914

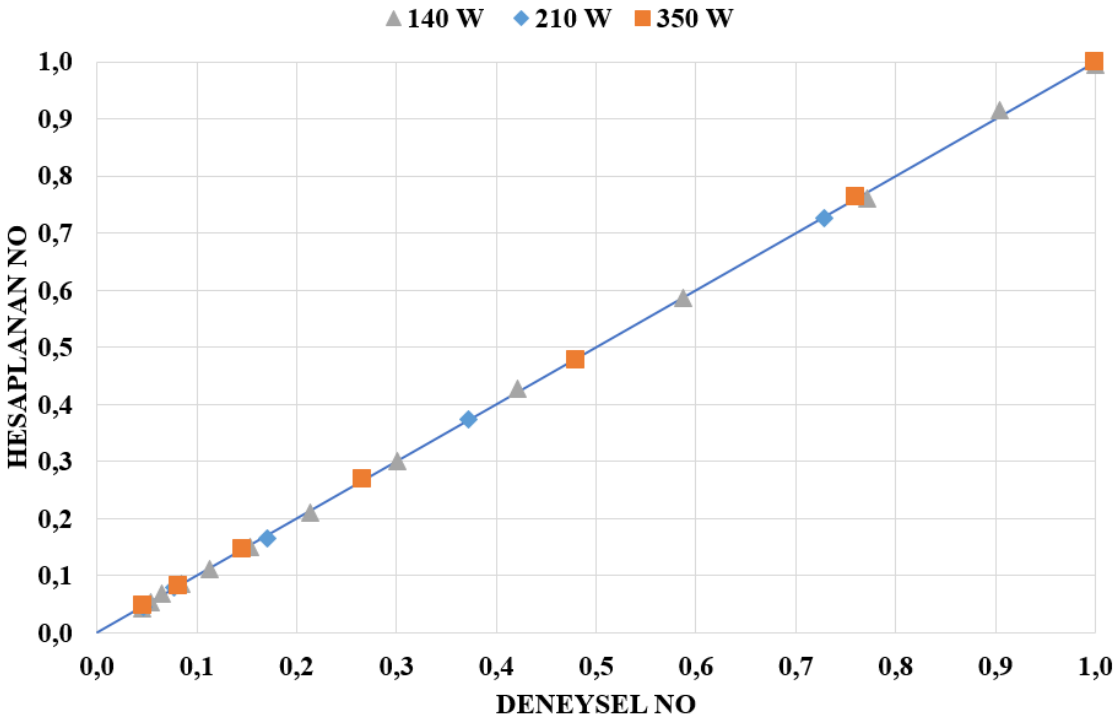
Tablo 5.2 MW kurutucuda guavanın farklı güç değerlerinde elde edilen matematiksel model sabitleri ve istatistiksel parametreler, devamı

Model	Parametre	Güç (Watt)		
		350	210	140
Verma	a	-1,21769	-0,797811	-0,899008
	k	2,27503	2,087311	0,772919
	g	1,30862	0,775461	0,349923
	R^2	0,999889	0,999853	0,998756
	χ^2	0,000022	0,000037	0,000176
	HKOK	0,003565	0,004290	0,011637
Wang ve Singh	a	-0,626191	-0,379417	-0,171520
	b	0,102347	0,037281	0,007674
	R^2	0,996126	0,991734	0,988549
	χ^2	0,000623	0,001552	0,001473
	HKOK	0,021101	0,032168	0,035306
Weibull	b	1,250668	2,069395	4,583748
	a	1,378961	1,497964	1,451873
	R^2	0,999586	0,998621	0,997035
	χ^2	0,000067	0,000259	0,000381
	HKOK	0,006901	0,013140	0,017964

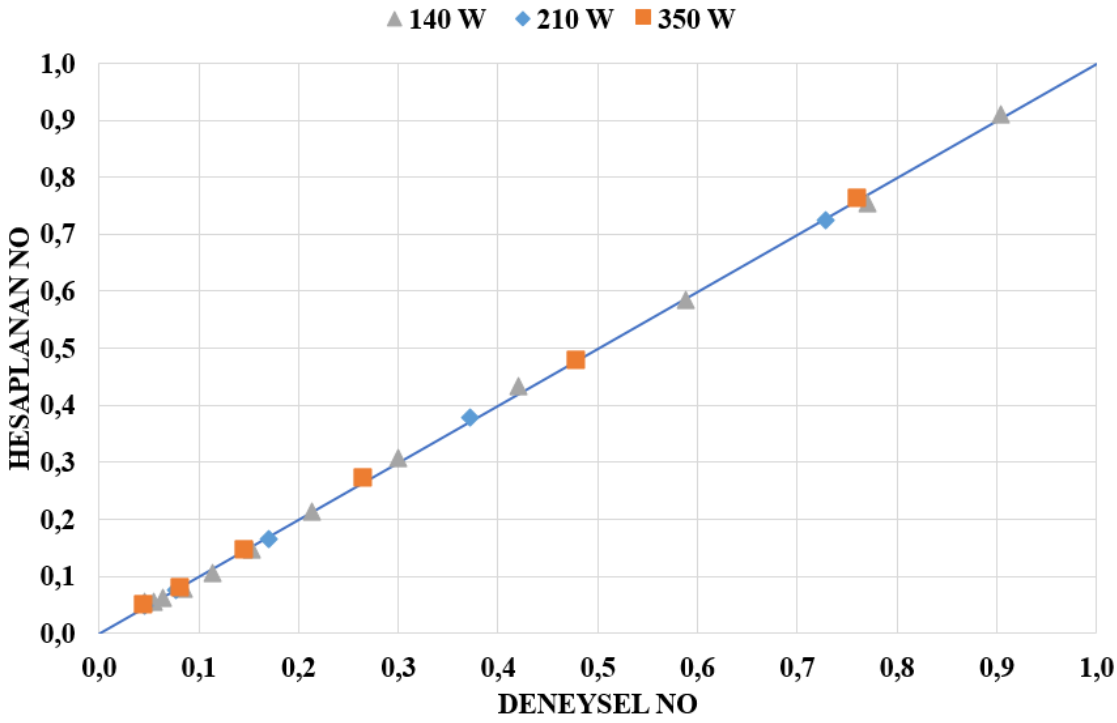
5.6.1 Mikrodalga kurutucuda kurutulan guava için farklı güç değerlerinde farklı matematiksel modellerde deneysel – hesaplanan kurutma hızı grafikleri

Seçilen modelleri doğrulamak için, kurutma hızı ve deneysel kurutma hızı grafikleri, tüm kurutma güç değerleri için (140 W, 210 W, 350 W) Şekil 5.14, 5.15 ve 5.16'da en uygun modeller kullanılarak gösterilmektedir. 0,998 ve daha yüksek R^2 değerlerine sahip modellere yer verilmiştir. Elde edilen deneysel veriler grafikte kesiştirilmiş ve bir doğru

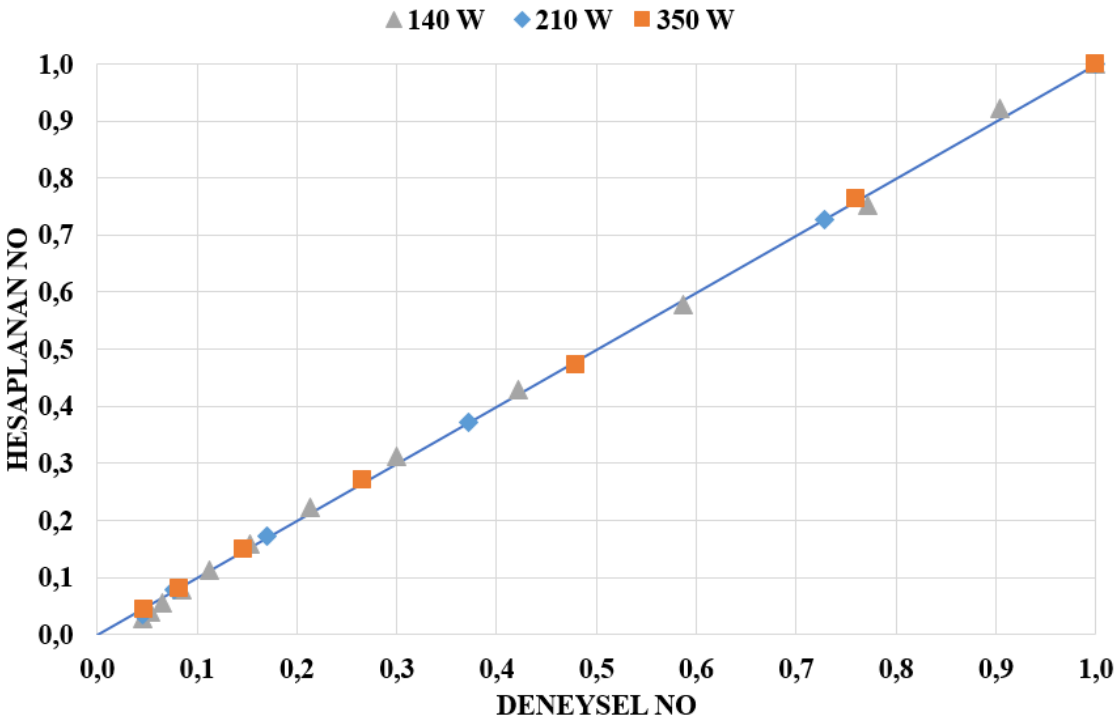
üzerinde toplanmıştır. Şekil 5.14, 5.15 ve 5.16'de görülebildiği üzere sırası ile İki Terimli Üstel, Midilli ve Alibas modellerinde deneysel ve hesaplanan veriler grafikte bir uyum içerisindedir.



Şekil 5.14 MW kurutucuda kurutulan guavanın kuruma hızlarının Alibas modeli



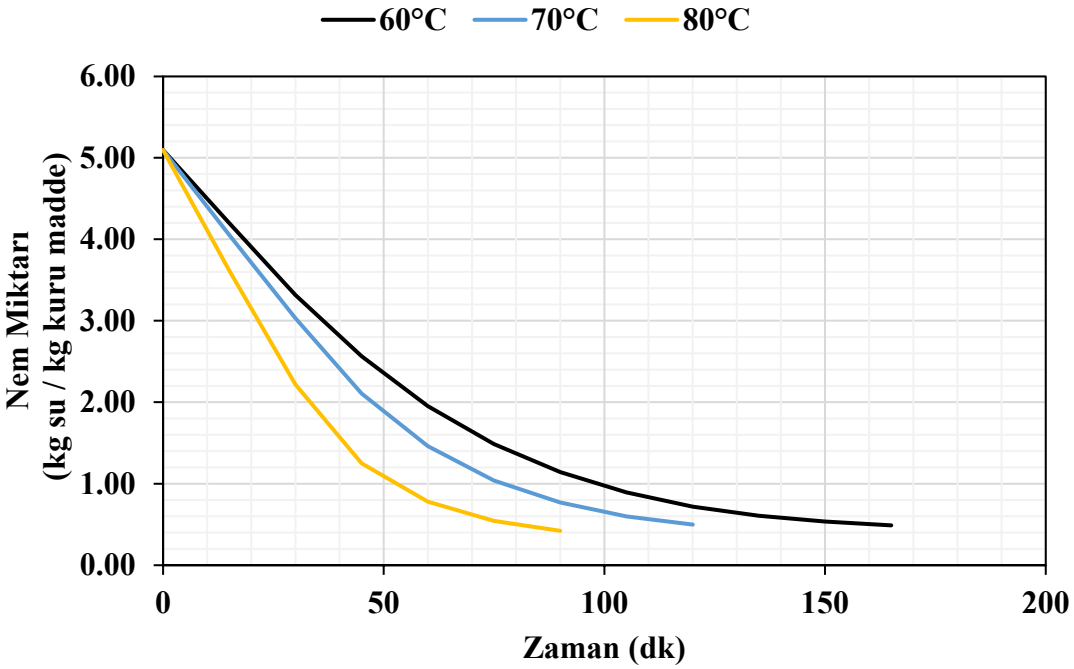
Şekil 5.15 MW kurutucuda kurutulan guavanın kuruma hızlarının Midilli modeli



Şekil 5.16 Kızılötesi kurutucuda kurutulan guavanın kuruma hızlarının İki Terimli Üstel modeli

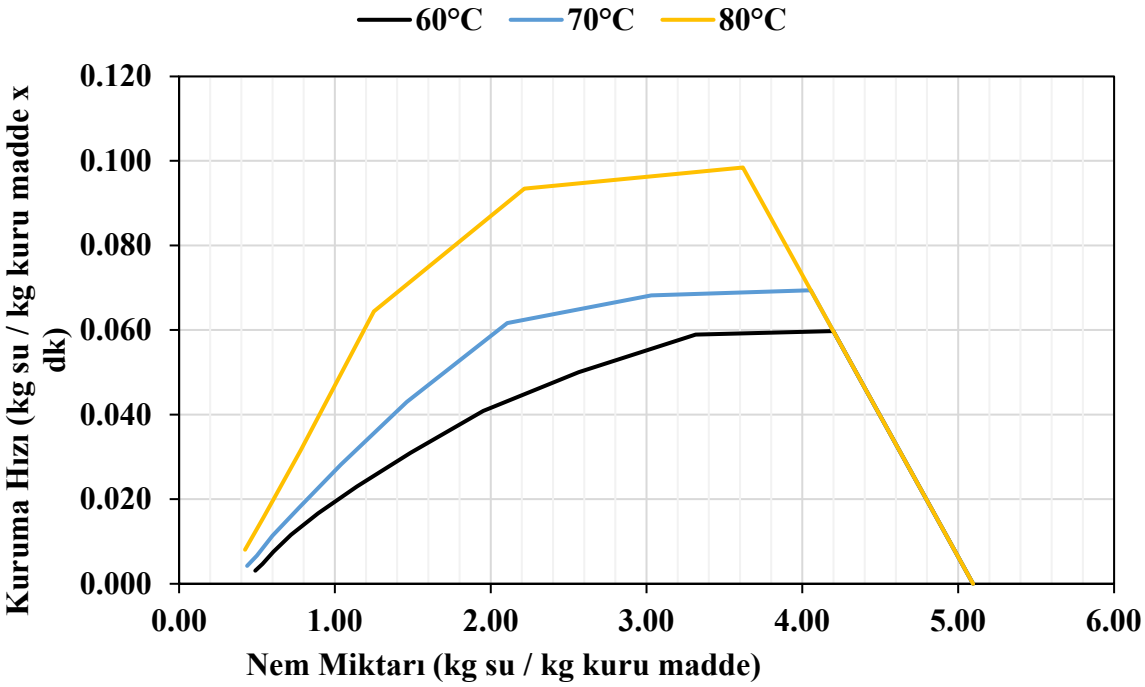
5.7 Kızılötesi Kurutucuda Kurutulan Çarkıfelek Meyvesi Kurutma Eğrileri

Çarkıfelek meyvesi numuneleri için IR kurutucuda 60, 70 ve 80 ºC'de kurutma işlemleri sırasıyla 165, 135 ve 90 dakikada tamamlanmıştır ve her bir sıcaklık için sırası ile kurutulmuş numunelerde kalan nem miktarları 0,4891; 0,4364 ve 0,4226 kg H_2O/kg kuru madde olarak hesaplanmıştır. Her üç sıcaklık için de grafikler incelendiğinde artan sıcaklık değeri ile birlikte kurutma süresinin azaldığı görülmüştür. Örneğin, Şekil 5.1'de görüldüğü üzere sıcaklığın 60 ºC'den 80 ºC'ye artırılması sonucu kurutma işleminin tamamlanması için gereken zamanda bir düşüş gözlemlenmiştir.



Şekil 5.17 Kızılötesi kurutucuda kurutulan çarkıfelek meyvesi numunelerine ait nem miktarları

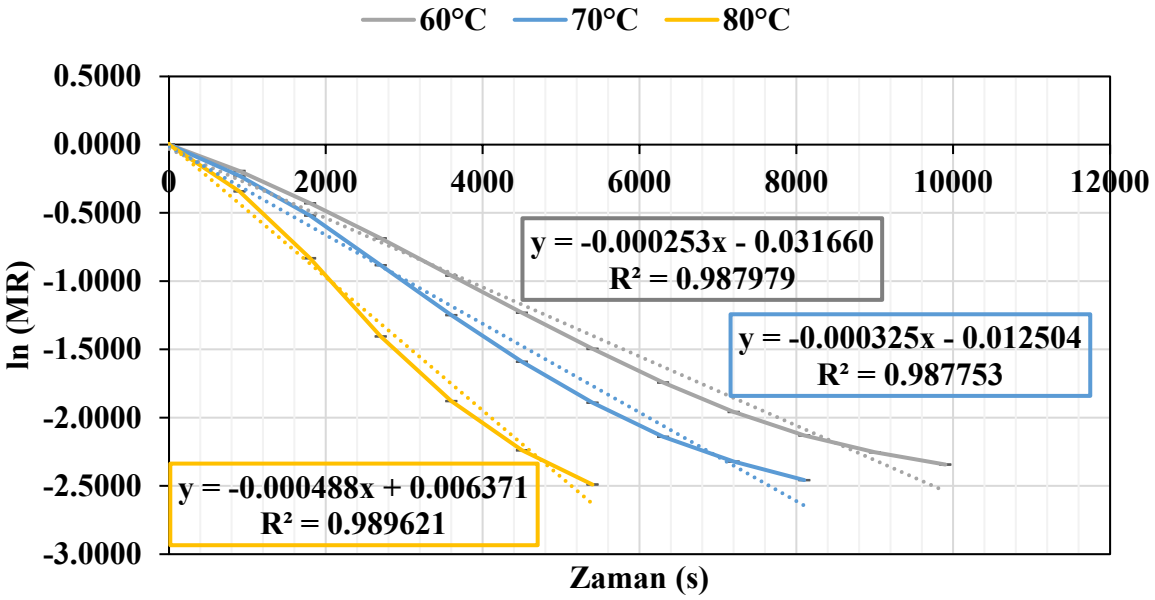
Şekil 5.18 incelendiğinde, 60, 70 ve 80 ℃'ler için kuruma periyodunun sabit kuruma evresi ile başladığı görülmüştür. Sabit kuruma evresi sırası ile 0,0589; 0,0682 ve 0,0934 kg H_2O/kg kuru madde dakikaya kadar devam etmiştir. Ardından tüm sıcaklıklar için kuruma hızı eğrisinin büyük bir kısmının gerçekleştiği azalan hızda kuruma periyodunda başlamıştır. Bu süreçte kuruma hızları 60, 70 ve 80 ℃ için sırasıyla 0,0031; 0,0042 ve 0,0080 kg su/ kg kuru madde dakikaya kadar düşmüştür.



Şekil 5.18 Kızılötesi kurutucuda kurutulan çarkıfelek meyvesi numunelerine ait kuruma hızlarının nem miktarları ile değişimi

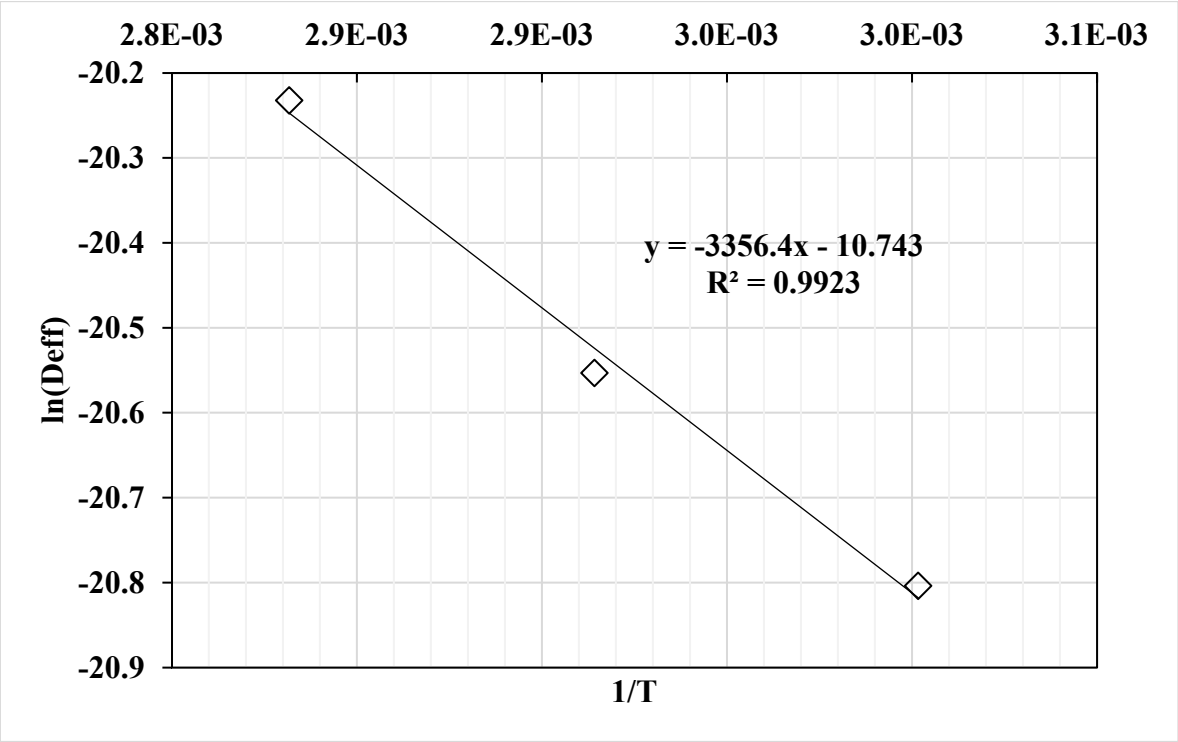
5.8 Kızılötesi Kurutucuda Kurutulan Çarkıfelek Meyvesi İçin Efektif Difüzyon Katsayısı ve Aktivasyon Enerjisi Hesaplaması

D_{eff} hesabı için öncelikle kurutma sürelerine (saniye) karşı nem miktarlarının logaritması grafiği (Şekil 5.19) çizilmiştir. Bu eğrilerin eğimleri denklem denklem 4.9'da yerine koyularak efektif nem difüzyon katsayıları her sıcaklık için ayrı ayrı hesaplanmıştır. Çarkıfelek meyvesi için bu değerler 60, 70 ve 80 ºC için sırası ile $9{,}23\times10^{-10}$, $1{,}19\times10^{-9}$ ve $1{,}63\times10^{-9}$ olarak hesaplanmıştır. Bu değerlere bakıldığında artan sıcaklık ile birlikte D_{eff} değerlerinin de arttığı gözlemlenmiştir.

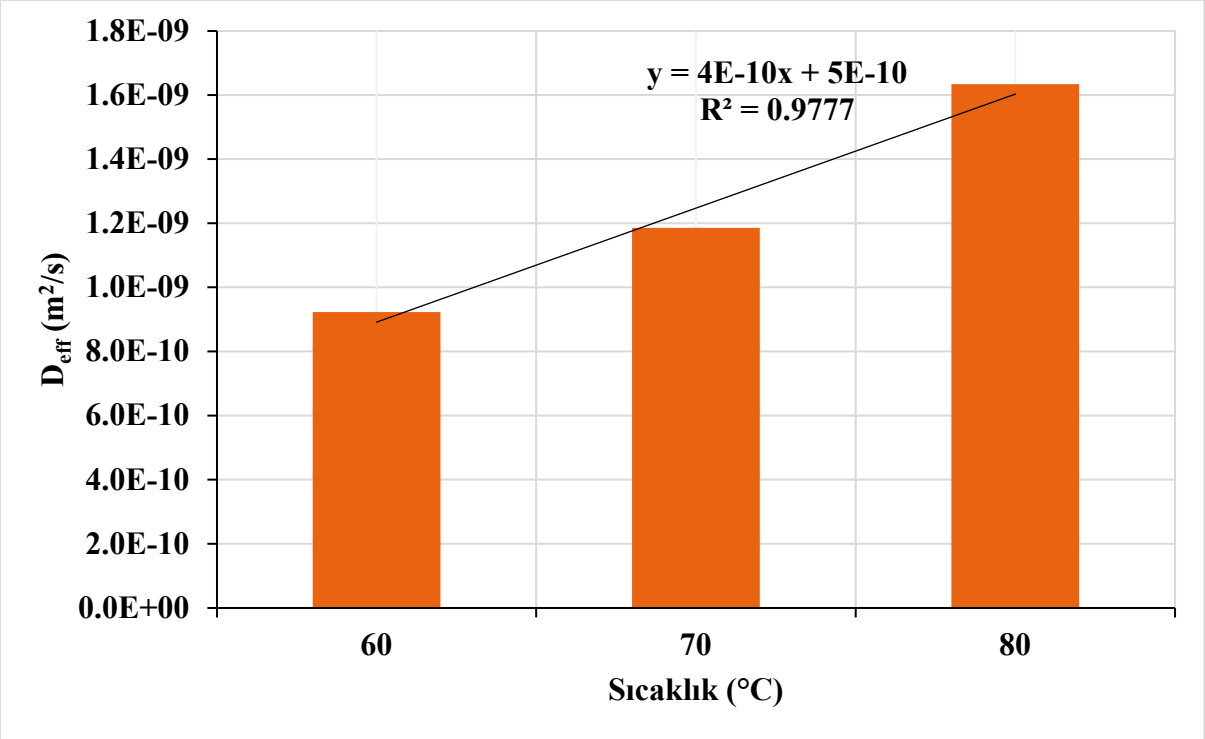


Şekil 5.19 Kızılötesi kurutucuda kurutulan çarkıfelek meyvesi numunelerine ait efektif nem difüzyon eğrileri

Aktivasyon enerjisini hesaplamak için, 140, 210 ve 350 W hesaplanan efektif difüzyon katsayılarının logaritmalarına karşı mutlak sıcaklığın tersi (1/T) grafiği çizilmiştir (Şekil 5.20). Bu grafiğin eğimi 3356,4 olarak hesaplanmış ve ve bu eğim aktivasyon enerjisini hesaplamak için denklem 4.13'de yerine konularak R (8,314 J/mol.K) ile çarpılmıştır. Sonuç olarak, IR kurutucu ile kurutulan çarkıfelek meyvesi için aktivasyon enerjisi 27,91 kJ/mol olarak elde edilmiştir.



Şekil 5.20 Kızılötesi kurutucuda kurutulan çarkıfelek meyvesi numunelerine ait efektif nem difüzyon katsayılarının logaritmalarına karşı mutlak sıcaklığın tersi



Şekil 5.21 Kızılötesi kurutucuda kurutulan çarkıfelek meyvesi numunelerinin 60, 70 ve 80 °C'de hesaplanan D_{eff} değerleri

5.9 Kızıöltesi Kurutucuda Kurutulan Çarkıfelek Meyvesi İçin Matematik Modelleme Sonuçları

Kızılötesi kurutucuda 60, 70 ve 80 ºC için deneyler sonunda elde edilen kurutma verilerine göre matematiksel modelleme yapılmış ve bu verilerin tahmin edilmesinde en uygun modeller belirlenmiştir. Uygulanan matematiksel modeller arasında Jena ve Das, Midilli ve Wang & Singh modelleri en yüksek R^2 değerleri ve en düşük χ^2 ile HKOK değerlerine sahip olarak en yakın sonuçları yakalamışlardır. R^2 değerleri her sıcaklık için sırasıyla Jena ve Das için; 0,998114, 0,997840, 0,998210, Midilli için; 0,999979, 0,999880, 0,999919, Wang & Singh için; 0,997695, 0,997647, 0,998134 olarak, χ^2 değerleri ise sırası ile Jena ve Das için; 0,000242, 0,000335, 0,000435, Midilli için; 0,000003, 0,000019, 0,000020, Wang & Singh için; 0,000236, 0,000274, 0,000272 olarak hesaplanmıştır. HKOK değerleri ise sırası ile Jena ve Das için; 0,012695, 0,014183, 0,013646, Midilli için; 0,001331, 0,003348, 0,002899, Wang & Singh için; 0,014036, 0,014801, 0,013932 olarak hesaplanmıştır. Matematiksel modelleme parametrelerinin tümü Tablo 5.3'te sunulmuştur.

Tablo 5.3 IR kurutucuda çarkıfelek meyvesinin farklı sıcaklıklarda elde edilen matematiksel model sabitleri ve istatistiksel parametreler

Model	Parametre	Sıcaklık (°C)		
		60	70	80
Aghbashlo vd.	k_1	0,015138	0,017963	0,025385
	k_2	-0,000438	-0,001234	-0,002480
	R^2	0,996806	0,995099	0,995132
	χ^2	0,000328	0,000570	0,000709
	HKOK	0,016521	0,021363	0,022507
Alibas	a	0,267320	0,273298	0,289873
	k	0,331310	0,013892	7,986168
	n	12,92342	4,705754	0,000000
	b	-0,004590	-0,005620	-0,008026
	g	0,732680	0,726702	0,710127
	R^2	0,923050	0,924333	0,943454
	χ^2	0,011273	0,014092	0,020593
	HKOK	0,081091	0,083941	0,076705
Henderson ve Pabis	a	1,020925	1,029125	1,024032
	k	0,016042	0,020132	0,029265
	R^2	0,997185	0,994876	0,993514
	χ^2	0,000289	0,000596	0,000945
	HKOK	0,015509	0,021843	0,025978

Tablo 5.3 IR kurutucuda çarkıfelek meyvesinin farklı sıcaklıklarda elde edilen matematiksel model sabitleri ve istatistiksel parametreler

Model	Parametre	Sıcaklık (°C)		
		60	70	80
Jena ve Das	a	1,447181	0,351021	0,263572
	k	0,017732	0,024172	0,037830
	b	0,015981	0,033085	0,055317
	c	-0,366665	1,048795	1,334611
	R^2	0,998114	0,997840	0,998210
	χ^2	0,000242	0,000335	0,000435
	HKOK	0,012695	0,014183	0,013646
Lewis	k	0,015700	0,019559	0,028602
	R^2	0,996509	0,993585	0,992556
	χ^2	0,000325	0,000664	0,000904
	HKOK	0,017272	0,024441	0,027831
Logaritmik	a	1,015809	1,037901	1,050660
	k	0,016332	0,019572	0,027181
	c	0,007120	-0,011596	-0,032014
	R^2	0,997225	0,994979	0,994169
	χ^2	0,000316	0,000668	0,001062
	HKOK	0,015400	0,021623	0,024631
Midilli	a	0,998876	0,999053	0,999966
	k	0,007775	0,007445	0,010000
	n	1,191179	1,268159	1,319314
	b	0,000376	0,000476	0,000698
	R^2	0,999979	0,999880	0,999919
	χ^2	0,000003	0,000019	0,000020
	HKOK	0,001331	0,003348	0,002899

Tablo 5.3 IR kurutucuda çarkıfelek meyvesinin farklı sıcaklıklarda elde edilen matematiksel model sabitleri ve istatistiksel parametreler

Model	Parametre	Sıcaklık (°C)		
		60	70	80
Page	k	0,012008	0,012030	0,015888
	n	1,062843	1,119953	1,159805
	R^2	0,997607	0,996950	0,997245
	χ^2	0,000245	0,000355	0,000401
	HKOK	0,014299	0,016853	0,016931
Parabolik	a	0,990414	0,999867	1,003652
	b	-0,012434	-0,015551	-0,022808
	c	0,000043	0,000066	0,000141
	R^2	0,997859	0,997647	0,998159
	χ^2	0,000244	0,000313	0,000335
	HKOK	0,013528	0,014801	0,013842
İki Terimli Üstel	a	1,490772	0,002916	0,003775
	k	0,018610	6,673851	7,519151
	R^2	0,997267	0,993318	0,992239
	χ^2	0,000280	0,000778	0,001131
	HKOK	0,015282	0,024944	0,028418
İki Terimli	a	0,479240	0,508020	-3,35130
	k_0	0,016042	0,020132	0,01924
	b	0,541681	0,521106	4,36848
	k_1	0,016042	0,020132	0,02115
	R^2	0,997185	0,994876	0,994658
	χ^2	0,000361	0,000795	0,001297
	HKOK	0,015509	0,021843	0,023577

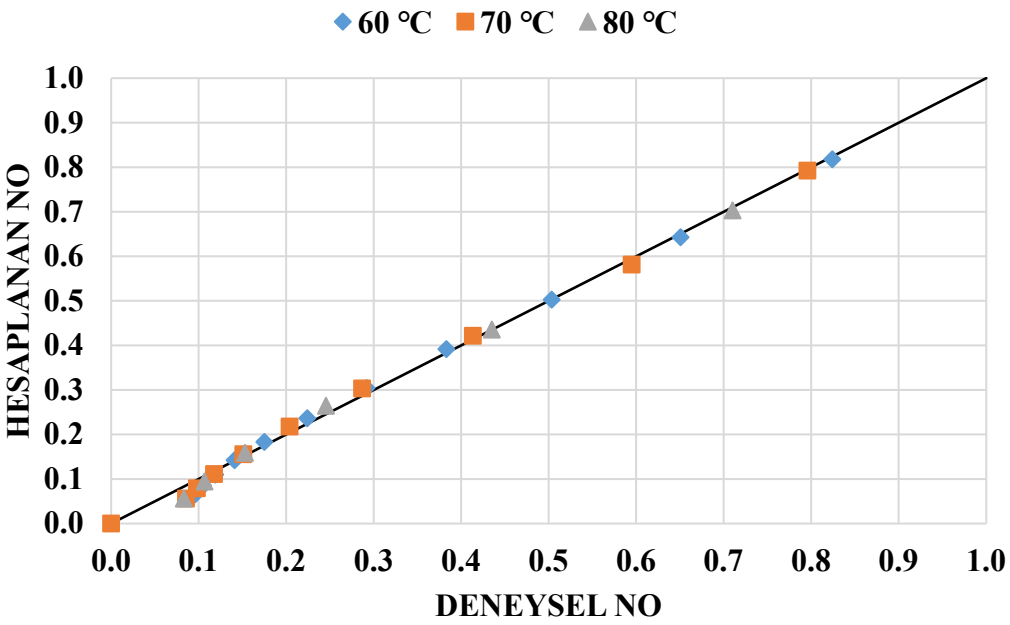
Tablo 5.3 IR kurutucuda çarkıfelek meyvesinin farklı sıcaklıklarda elde edilen matematiksel model sabitleri ve istatistiksel parametreler

Model	Parametre	Sıcaklık (°C)		
		60	70	80
Verma	a	4,918562	5,038869	3,969199
	k	0,013150	0,014623	0,020223
	g	0,012579	0,013625	0,018028
	R^2	0,996670	0,994497	0,994197
	χ^2	0,000379	0,000732	0,001057
	HKOK	0,016868	0,022637	0,024572
Wang & Singh	a	-0,012656	-0,015555	-0,022659
	b	0,000044	0,000066	0,000140
	R^2	0,997695	0,997647	0,998134
	χ^2	0,000236	0,000274	0,000272
	HKOK	0,014036	0,014801	0,013932
Weibull	b	64,11652	51,77363	35,56895
	a	1,06284	1,11995	1,15980
	R^2	0,997607	0,996950	0,997245
	χ^2	0,000245	0,000355	0,000401
	HKOK	0,014299	0,016853	0,016931

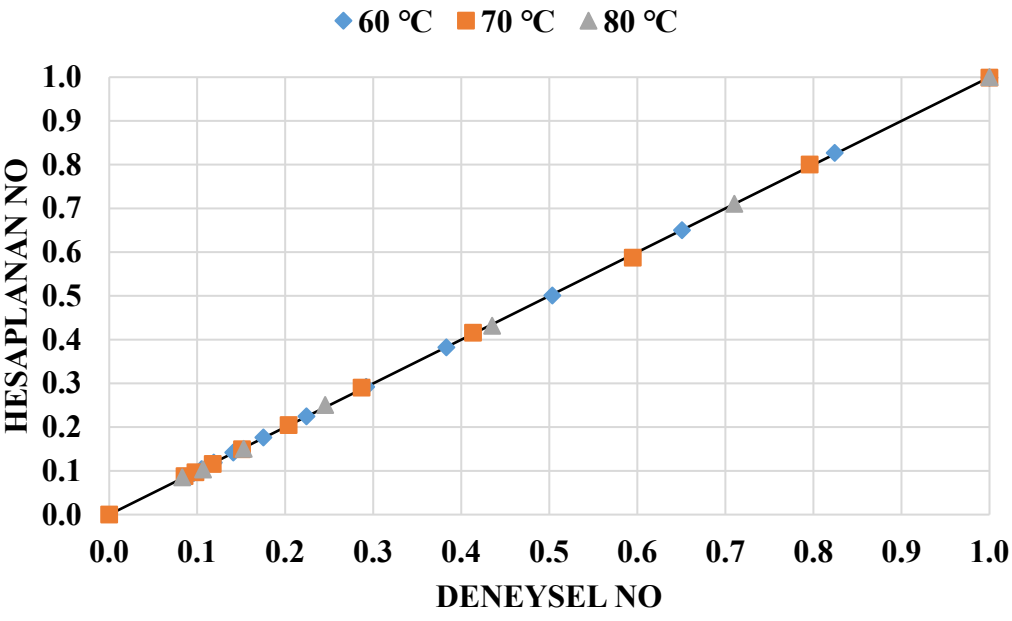
5.9.1 Kızılötesi kurutucuda kurutulan çarkıfelek meyvesi için farklı sıcaklıkta farklı matematiksel modellerde deneysel – hesaplanan kurutma hızı grafikleri

Seçilen modelleri doğrulamak için, kurutma hızı ve deneysel kurutma hızı grafikleri, tüm kurutma sıcaklık değerleri için (60, 70, 80 °C), Şekil 5.22, 5.23 ve 5.24'te en uygun modeller kullanılarak gösterilmektedir. 0,998 ve daha yüksek R^2 değerlerine sahip

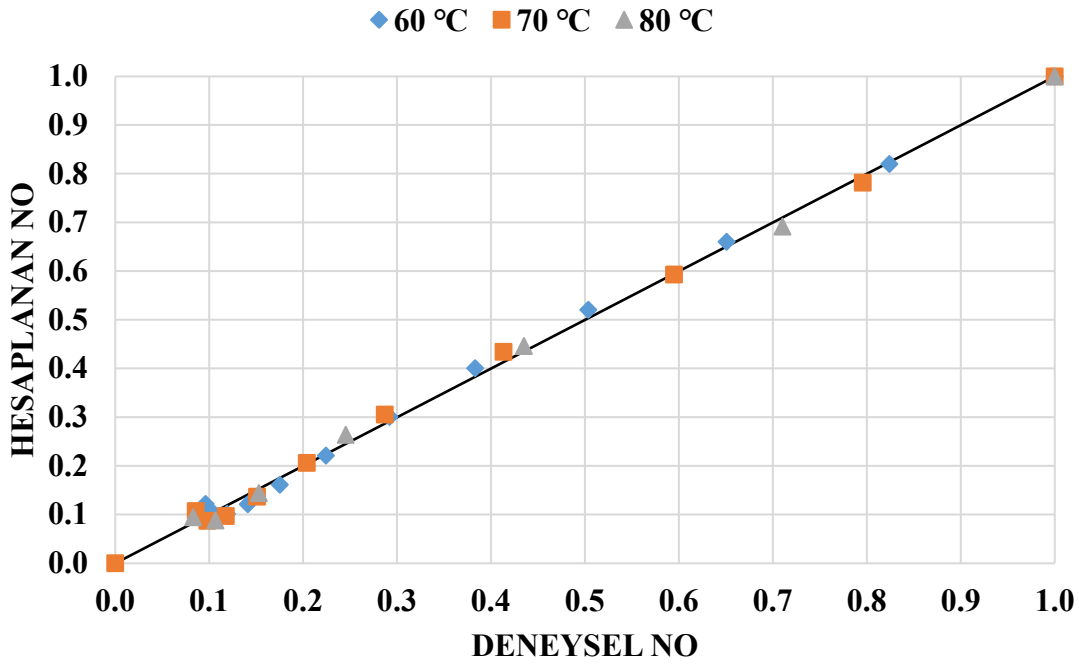
modellere yer verilmiştir. Elde edilen deneysel veriler grafikte kesiştirilmiş ve bir doğru üzerinde toplanmıştır. Şekil 5.22, 5.23 ve 5.24'te görülebildiği üzere sırası ile Jena ve Das, Midilli ve Wang & Singh modellerinde deneysel ve hesaplanan veriler grafikte bir uyum içerisindedir. Diğer model grafikleri Ek-1'de verilmiştir.



Şekil 5.22 Kızılötesi kurutucuda kurutulan çarkıfelek meyvesinin kuruma hızlarının Jena ve Das modeli



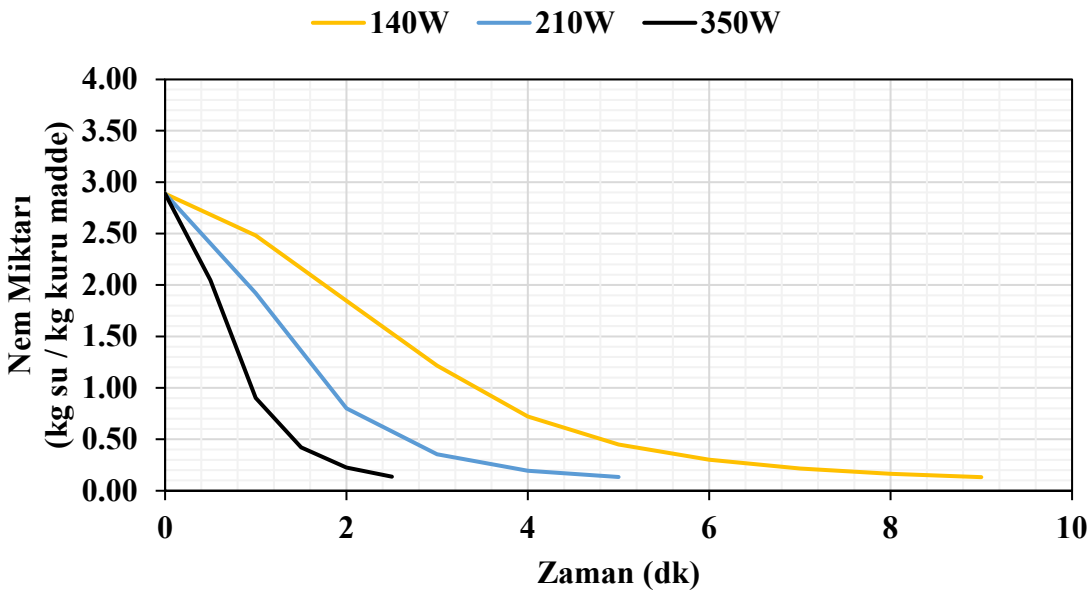
Şekil 5.23 Kızılötesi kurutucuda kurutulan çarkıfelek meyvesinin kuruma hızlarının Midilli modeli



Şekil 5.24 Kızılötesi kurutucuda kurutulan çarkıfelek meyvesinin kuruma hızlarının Wang & Singh modeli

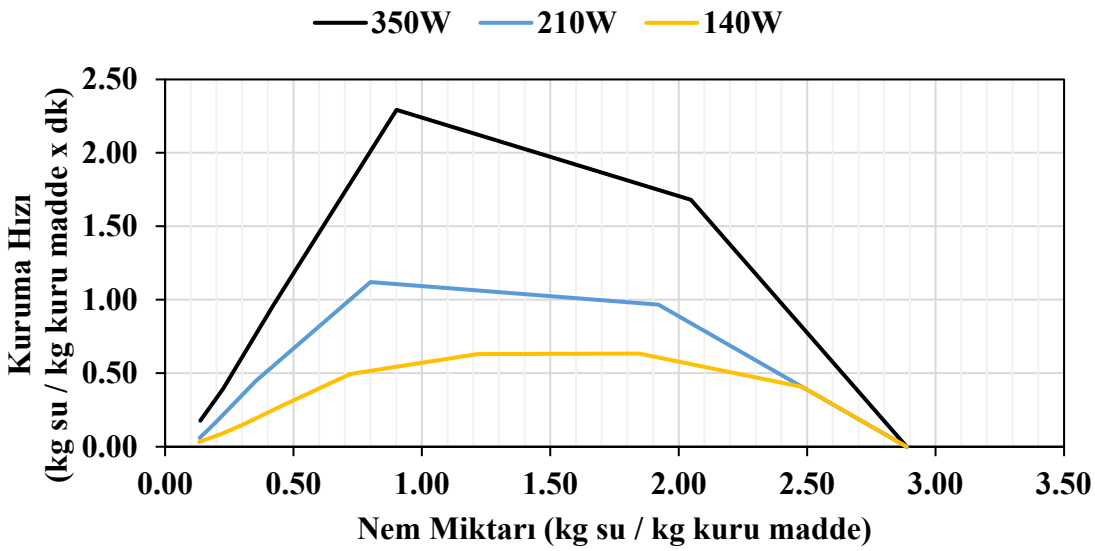
5.10 Mikrodalga Kurutucuda Kurutulan Çarkıfelek Meyvesi Kurutma Eğrileri

Çarkıfelek meyvesi numuneleri için MW kurutucuda 140, 210 ve 350 W'ta kurutma işlemleri sırasıyla 9, 5 ve 2,5 dakikada tamamlanmıştır ve her bir sıcaklık için sırası ile kurutulmuş numunelerde kalan nem miktarları 0,1326; 0,1343 ve 0,1371 kg H_2O/kg kuru madde olarak hesaplanmıştır. Her üç güç değeri için de grafikler incelendiğinde artan güç değeri değeri ile birlikte kurutma süresinin azaldığı görülmüştür. Örneğin, Şekil 5.25'de görüldüğü üzere güç değerinin 140 W'tan 350 W'a artırılması sonucu kurutma işleminin tamamlanması için gereken zamanda bir düşüş gözlemlenmiştir.



Şekil 5.25 Mikrodalgada kurutulan çarkıfelek meyvesi numunelerine ait nem miktarları

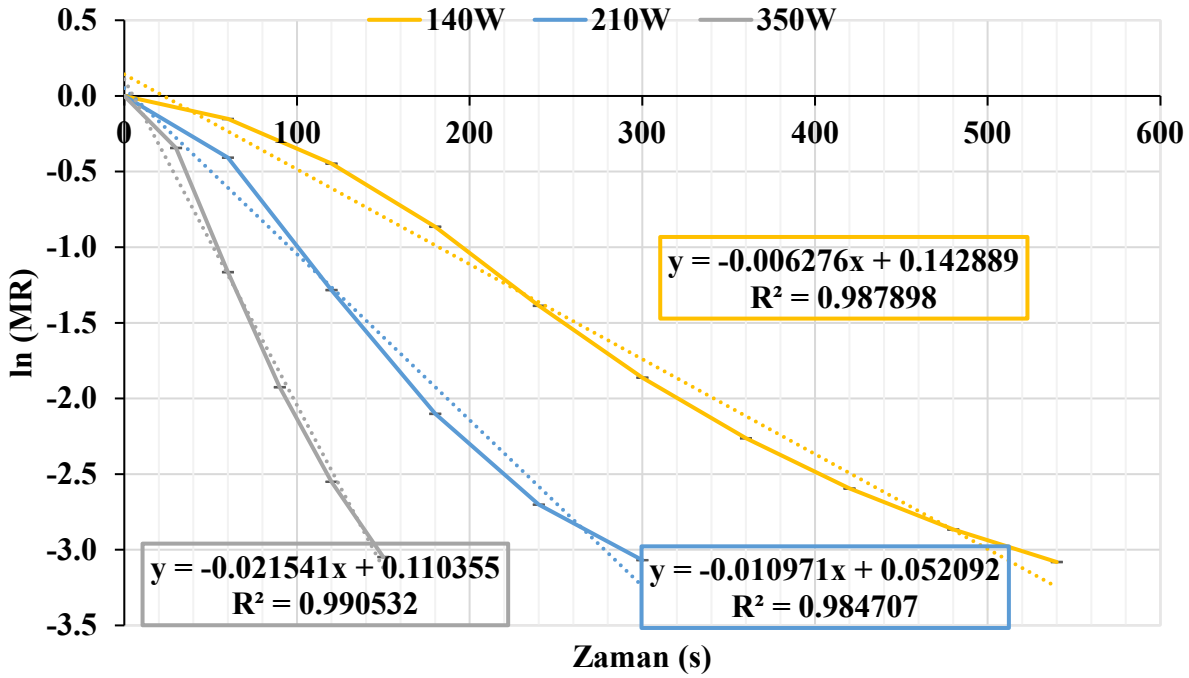
Kurutmanın başlangıcında tüm güç değerleri için kuruma periyodunun artan hızda olduğu gözlenmiştir. Şekil 5.26 incelendiğinde, 140, 210 ve 350 W'lar için sırasıyla 0,4069; 0,9670 ve 1,6804 kg H_2O/kg kuru madde dakikaya ulaşmıştır. 210 ve 350 W'larda sabit kuruma evresi gözlemlenmemiştir. 140 W güç değerinde ise 0,6341 0,6302 kg H_2O / kg kuru madde dakika arasında sabit kuruma evresi gözlemlenmiştir. Ardından tüm güç değerleri için kuruma hızı eğrisinin büyük bir kısmının gerçekleştiği azalan hızda kuruma periyodunda başlamıştır. Bu süreçte kuruma hızları 140, 210 ve 350 W için sırasıyla 0,0318; 0,0595 ve 0,1767 kg su/ kg kuru madde dakikaya kadar düşmüştür.



Şekil 5.26 Mikrodalgada kurutulan guava numunelerine ait kuruma hızlarının nem miktarları ile değişimi

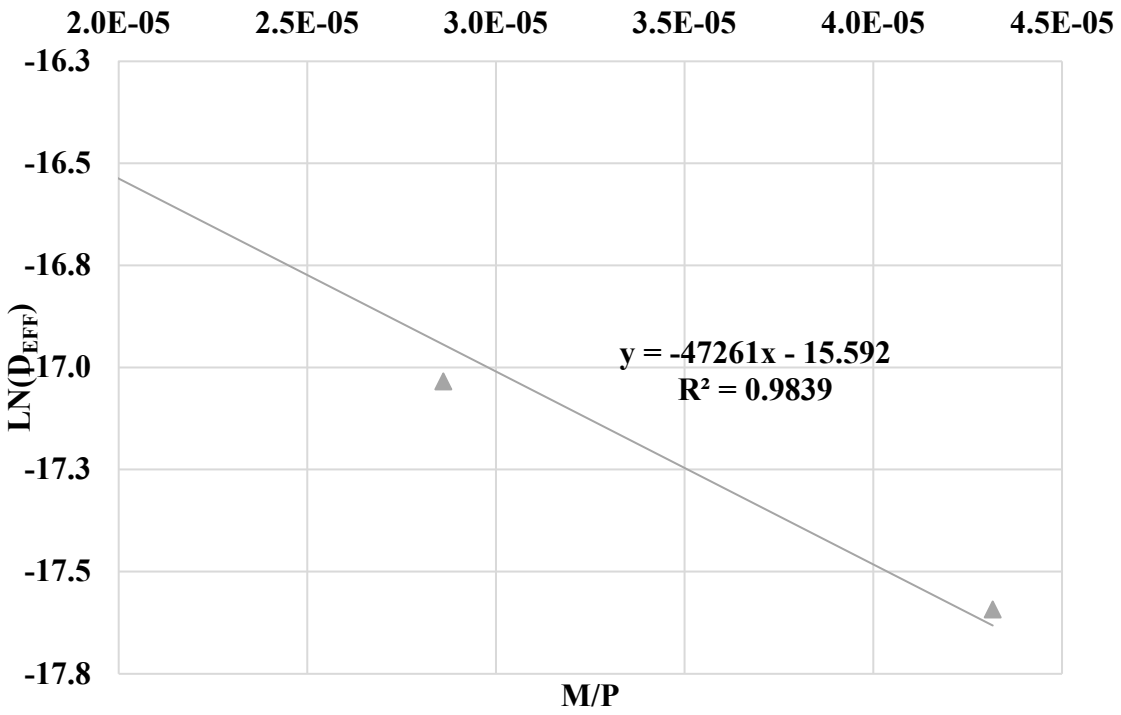
5.11 Mikrodalga Kurutucuda Kurutulan Çarkıfelek Meyvesi için Efektif Difüzyon Katsayısı ve Aktivasyon Enerjisi Hesaplaması

Efektif nem difüzyon katsayısını (D_{eff}) hesaplamak için Fick'in ikinci difüzyon yasası kullanılmıştır. Bunun için öncelikle kurutma sürelerine (saniye) karşı nem miktarlarının logaritması grafiği (Şekil 5.27) çizilmiştir. Bu eğrilerin eğimleri denklem 4.9'da yerine koyularak efektif nem difüzyon katsayıları her güç değeri için ayrı ayrı hesaplanmıştır. Çarkıfelek meyvesi için bu değerler 140, 210 ve 350 ºC için sırası ile $2{,}29\times10^{-8}$, $4{,}00\times10^{-8}$ ve $7{,}86\times10^{-8}$ olarak hesaplanmıştır. Bu değerlere bakıldığında artan güç değeri ile birlikte D_{eff} değerlerinin de arttığı gözlemlenmiştir.

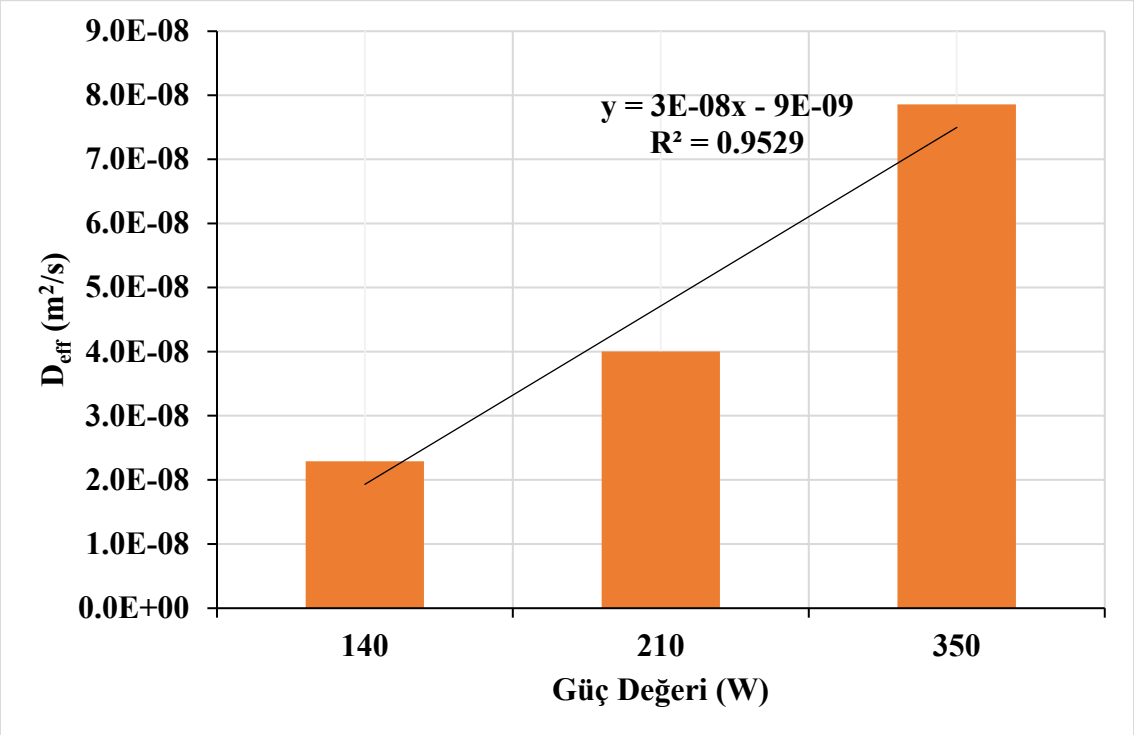


Şekil 5.27 Mikrodalgada kurutulan çarkıfelek meyvesi numunelerine ait efektif nem difüzyon eğrileri

Aktivasyon enerjisini hesaplamak için, 140, 210 ve 350 W hesaplanan efektif difüzyon katsayılarının logaritmalarına karşı (m/P) grafiği çizilmiştir (Şekil 5.28). MW kurutucu ile kurutulan çarkıfelek meyvesi numunelerinin aktivasyon enerjilerini hesaplamak için öncelikle çizilen D_{eff}'in doğrusallaştırılmış haline karşı çizilen grafiğinin eğimi bulunmuştur. Şekil 5.28'de görüldüğü üzere eğim 47261 olarak hesaplanmış ve bu eğim aktivasyon enerjisini hesaplamak için denklem 4.13'de yerine konularak R (8,314 J/mol.K) ile çarpılmıştır. Sonuç olarak, MW kurutucu ile kurutulan çarkıfelek meyvesi için aktivasyon enerjisi 392,93 kJ/mol olarak elde edilmiştir.



Şekil 5.28 Mikrodalgada kurutulan çarkıfelek meyvesi numunelerine ait efektif difüzyon katsayılarının logaritmalarına karşı m/P



Şekil 5.29 Mikrodalgada kurutulan çarkıfelek meyvesi numunelerinin 140, 210 ve 350 W'daki hesaplanan D_{eff} değerleri

5.12 Mikrodalga Kurutucuda Kurutulan Çarkıfelek Meyvesi İçin Matematik Modelleme Sonuçları

Mikrodalga kurutucuda 140 W, 210 W ve 350 W için deneyler sonunda elde edilen kurutma verilerine göre matematiksel modelleme yapılmış ve bu verilerin tahmin edilmesinde en uygun modeller belirlenmiştir. Uygulanan matematiksel modeller arasında Aghbashlo vd., Alibas ve İki Terimli Üstel modelleri en yüksek R^2 değerleri ve en düşük χ^2 ile HKOK değerlerine sahip olarak en yakın sonuçları yakalamışlardır. R^2 değerleri her sıcaklık için sırasıyla Aghbashlo vd. için; 0,987799, 0,989950, 0,988351, Alibas için; 0,999923, 0,999963, 0,999888, İki Terimli Üstel için; 0,998253, 0,997986, 0,998544 olarak, χ^2 değerleri ise sırası ile Aghbashlo için; 0,002299, 0,001885, 0,000942, Alibas için; 0,000058, 0,000028, 0,000028, İki Terimli Üstel için; 0,000329, 0,000378, 0,000206 olarak hesaplanmıştır. HKOK değerleri ise sırası ile Aghbashlo için; 0,039152, 0,035445, 0,035445, Alibas için; 0,003108, 0,002160, 0,002160, İki Terimli Üstel için; 0,014814, 0,015868, 0,012840 olarak hesaplanmıştır. Matematiksel modelleme parametrelerinin tümü Tablo 5.4'te sunulmuştur.

Tablo 5.4 MW kurutucuda çarkıfelek meyvesinin farklı güç değerlerinde elde edilen matematiksel model sabitleri ve istatistiksel parametreler

Model	Parametre	Güç (Watt)		
		350	210	140
Aghbashlo vd.	k_1	0,765140	0,428580	0,213327
	k_2	-0,246053	-0,120373	-0,074726
	R^2	0,987799	0,989950	0,988351
	χ^2	0,002299	0,001885	0,000942
	HKOK	0,039152	0,035445	0,035445
Alibas	a	0,772700	0,840224	0,881159
	k	1,578459	0,465151	0,151514
	n	1,974643	1,809375	1,716641
	b	-0,072887	-0,022994	-0,007865
	g	0,227566	0,159922	0,116028
	R^2	0,999923	0,999963	0,999888
	χ^2	0,000058	0,000028	0,000028
	HKOK	0,003108	0,002160	0,002160
Henderson ve Pabis	a	1,041992	1,033663	1,078282
	k	1,118700	0,601517	0,329676
	R^2	0,974564	0,980047	0,975243
	χ^2	0,004793	0,003742	0,003503
	HKOK	0,056530	0,049943	0,052938

Tablo 5.4 MW kurutucuda çarkıfelek meyvesinin farklı güç değerlerinde elde edilen matematiksel model sabitleri ve istatistiksel parametreler, devamı

Model	Parametre	Güç (Watt)		
		350	210	140
Jena ve Das	a	0,245096	0,194888	1,152499
	k	2,068186	1,077474	0,527009
	b	0,959919	0,658535	0,398841
	c	1,406917	1,636038	-0,144294
	R^2	0,998530	0,998212	0,997769
	χ^2	0,000554	0,000670	0,000421
	HKOK	0,013589	0,014948	0,015893
Lewis	k	1,079718	0,584885	0,307633
	R^2	0,971883	0,978350	0,967535
	χ^2	0,004239	0,003248	0,004083
	HKOK	0,059436	0,052023	0,060622
Logaritmik	a	1,141355	1,098783	1,162018
	k	0,885791	0,509171	0,264021
	c	-0,112239	-0,074302	-0,104368
	R^2	0,981436	0,984163	0,982331
	χ^2	0,004665	0,003960	0,002857
	HKOK	0,048294	0,044495	0,044722
Midilli	a	1,002711	1,001510	1,000137
	k	1,181948	0,433788	0,155875
	n	1,654559	1,603017	1,601283
	b	0,021760	0,010398	0,005405
	R^2	0,998915	0,999433	0,999733
	χ^2	0,000409	0,000212	0,000050
	HKOK	0,011676	0,008416	0,005499

Tablo 5.5 MW kurutucuda çarkıfelek meyvesinin farklı güç değerlerinde elde edilen matematiksel model sabitleri ve istatistiksel parametreler, devamı

Model	Parametre	Güç (Watt)		
		350	210	140
Page	k	1,058783	0,439204	0,170447
	n	1,474880	1,424692	1,458845
	R^2	0,995408	0,995862	0,996884
	χ^2	0,000865	0,000776	0,000441
	HKOK	0,024020	0,022744	0,018781
Parabolik	a	1,025228	1,015532	1,044302
	b	-0,857394	-0,451037	-0,252586
	c	0,187029	0,051829	0,015895
	R^2	0,990212	0,992840	0,992165
	χ^2	0,002459	0,001790	0,001267
	HKOK	0,035067	0,029917	0,029781
İki Terimli Üstel	a	2,127084	2,081620	2,040214
	k	1,784599	0,941758	0,490232
	R^2	0,998253	0,997986	0,998544
	χ^2	0,000329	0,000378	0,000206
	HKOK	0,014814	0,015868	0,012840
İki Terimli	a	0,520847	1,51596	0,532539
	k_0	1,118701	0,82955	0,329674
	b	0,521140	-0,51596	0,545740
	k_1	1,118688	18,30057	0,329675
	R^2	0,974565	0,998913	0,975243
	χ^2	0,009587	0,000408	0,004671
	HKOK	0,056530	0,011655	0,052938

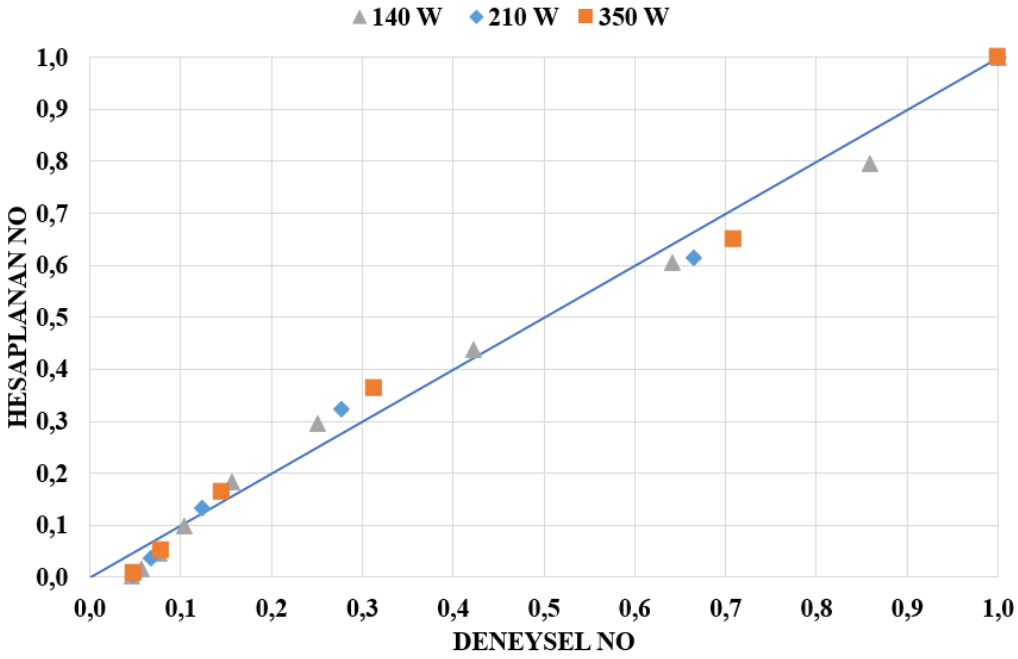
Tablo 5.4 MW kurutucuda çarkıfelek meyvesinin farklı güç değerlerinde elde edilen matematiksel model sabitleri ve istatistiksel parametreler, devamı

Model	Parametre	Güç (Watt)		
		350	210	140
Verma	a	5,581428	-0,51596	-0,861841
	k	0,581932	20,01798	1,090605
	g	0,506910	0,82955	0,474730
	R^2	0,981544	0,998913	0,998564
	χ^2	0,004637	0,000272	0,000232
	HKOK	0,048153	0,011655	0,012748
Wang & Singh	a	-0,821198	-0,439894	-0,234018
	b	0,176060	0,050141	0,014267
	R^2	0,989185	0,992449	0,989360
	χ^2	0,002038	0,001416	0,001505
	HKOK	0,036862	0,030724	0,034704
Weibull	b	0,962015	1,781621	3,362989
	a	1,474860	1,424684	1,458854
	R^2	0,995408	0,995862	0,996884
	χ^2	0,000865	0,000776	0,000441
	HKOK	0,024020	0,022744	0,018781

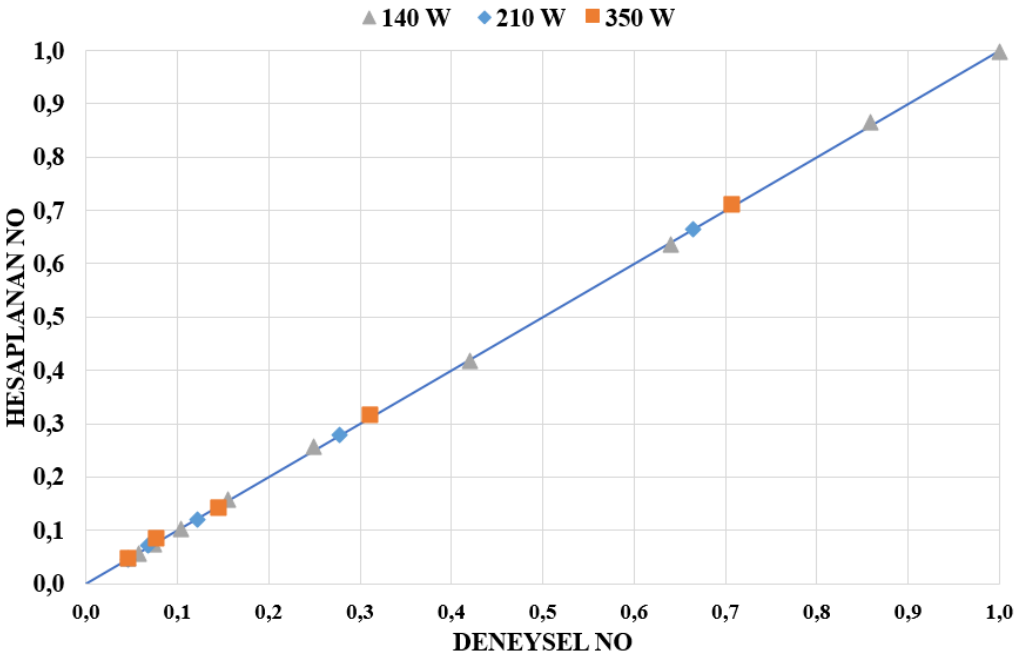
5.12.1 Mikrodalga kurutucuda kurutulan çarkıfelek meyvesi için farklı güç değerlerinde farklı matematiksel modellerde deneysel – hesaplanan kurutma hızı grafikleri

Seçilen modelleri doğrulamak için, kurutma hızı ve deneysel kurutma hızı grafikleri, tüm kurutma güç değerleri için (140 W, 210 W, 350 W), 5.30, 5.31 ve 5.32'de en uygun modeller kullanılarak gösterilmektedir. 0,998 ve daha yüksek R^2 değerlerine sahip modellere yer verilmiştir. Elde edilen deneysel veriler grafikte kesiştirilmiş ve bir doğru

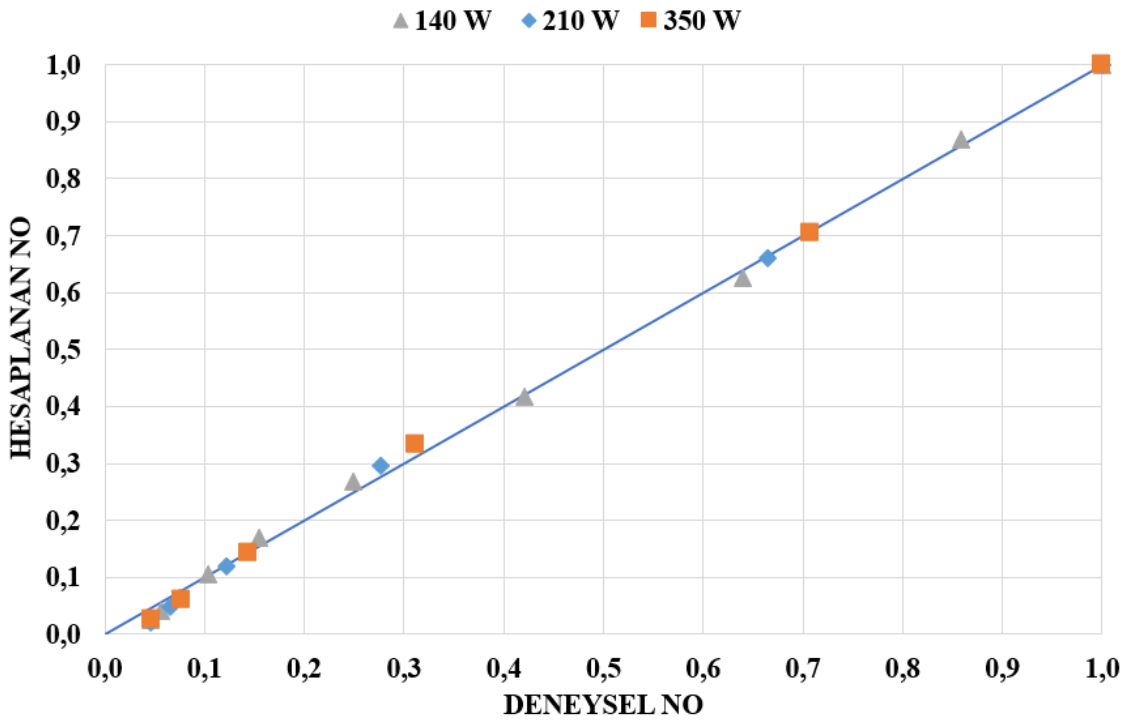
üzerinde toplanmıştır. Şekil 5.30, 5.31 ve 5.32'de görülebildiği üzere sırası ile Aghbashlo vd., Alibas ve İki Terimli Üstel modellerinde deneysel ve hesaplanan veriler grafikte bir uyum içerisindedir.



Şekil 5.30 Mikrodalga kurutucuda kurutulan çarkıfelek meyvesinin kuruma hızlarının Aghbashlo modeli



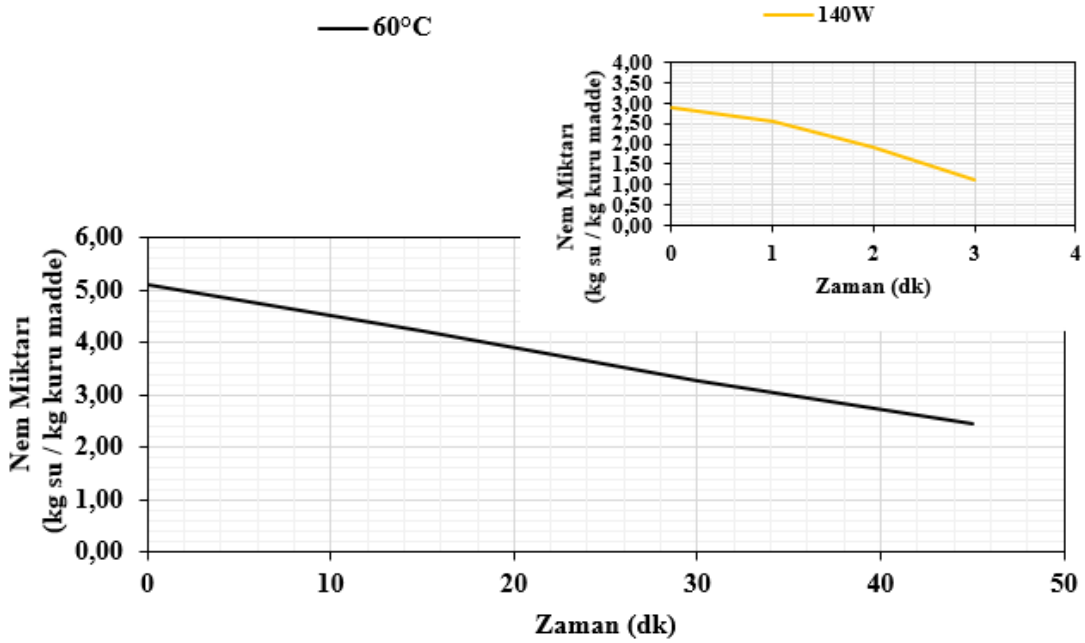
Şekil 5.31 Mikrodalga kurutucuda kurutulan çarkıfelek meyvesinin kuruma hızlarının Alibas modeli



Şekil 5.32 Mikrodalga kurutucuda kurutulan çarkıfelek meyvesinin kuruma hızlarının İki Terimli Üstel modeli

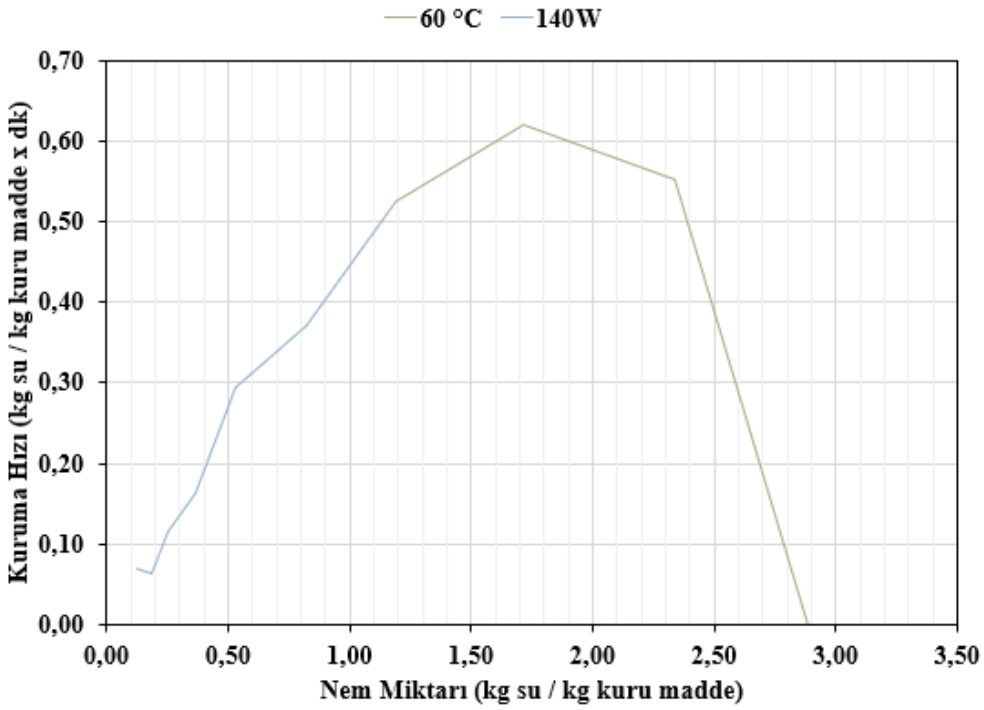
5.13 Kızılötesi – Mikrodalga Kurutucuda Hibrit Kurutulan Çarkıfelek Meyvesi Kurutma Eğrileri

Çarkıfelek meyvesi numuneleri için hibrit kurutmanın ilk aşaması olan IR kurutucuda 60 °C'de nem miktarının yaklaşık %50'ye gelene dek kurutma işlemi 45 dakikada tamamlanmıştır ve kurutulmuş numunede kalan nem miktarı 1,1891 kg H_2O/kg kuru madde olarak hesaplanmıştır (Şekil 5.33). Ardından kızılötesi kurutucudan çıkarılan numuneler mikrodalga kurutucuda 140 W güç değerinde 6 dakika kurutulmuşlardır ve kurutma işlemi tamamlanmıştır. Elde edilen son numunenin nem miktarı 0,1168 kg H_2O/kg kuru madde olarak hesaplanmıştır.



Şekil 5.33 IR – MW hibrit kurutulan çarkıfelek meyvesi numunelerine ait nem miktarları

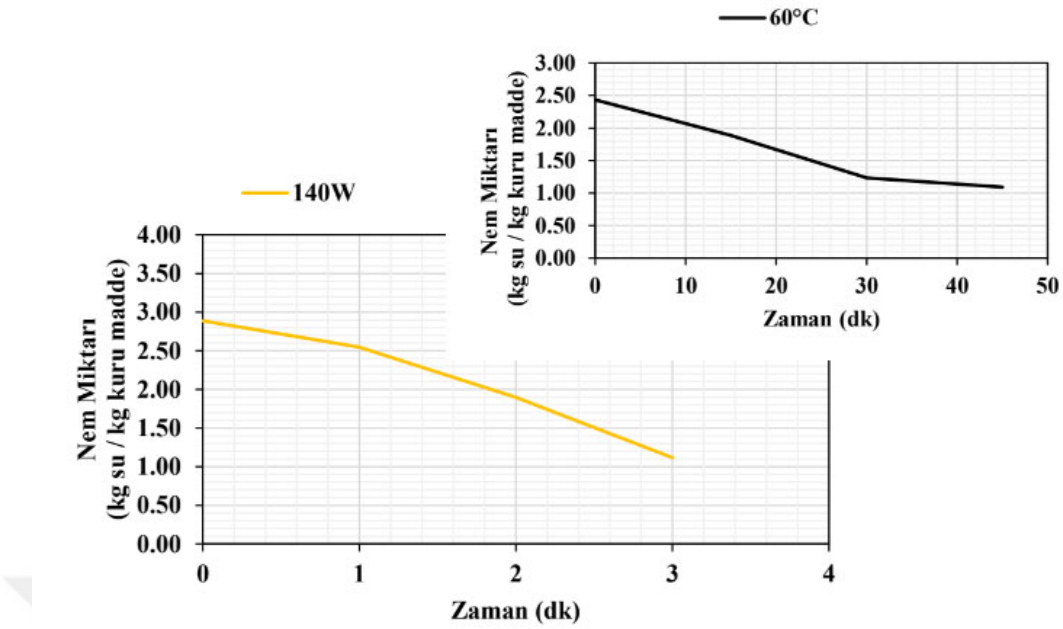
Şekil 5.34 incelendiğinde, IR kurutma sonunda çarkıfelek meyvesi numunelerinin kuruma hızlarının 0,0350 kg H_2O / kg kuru madde x dk'ya kadar düştüğü gözlemlenmektedir. MW kurutma sonunda ise kuruma işlemi 0,0690 kg H_2O / kg kuru madde x dk kuruma hızı ile tamamlanmıştır.



Şekil 5.34 IR – MW hibrit kurutulan çarkıfelek meyvesi numunelerine ait kuruma hızlarının nem miktarları ile değişimi

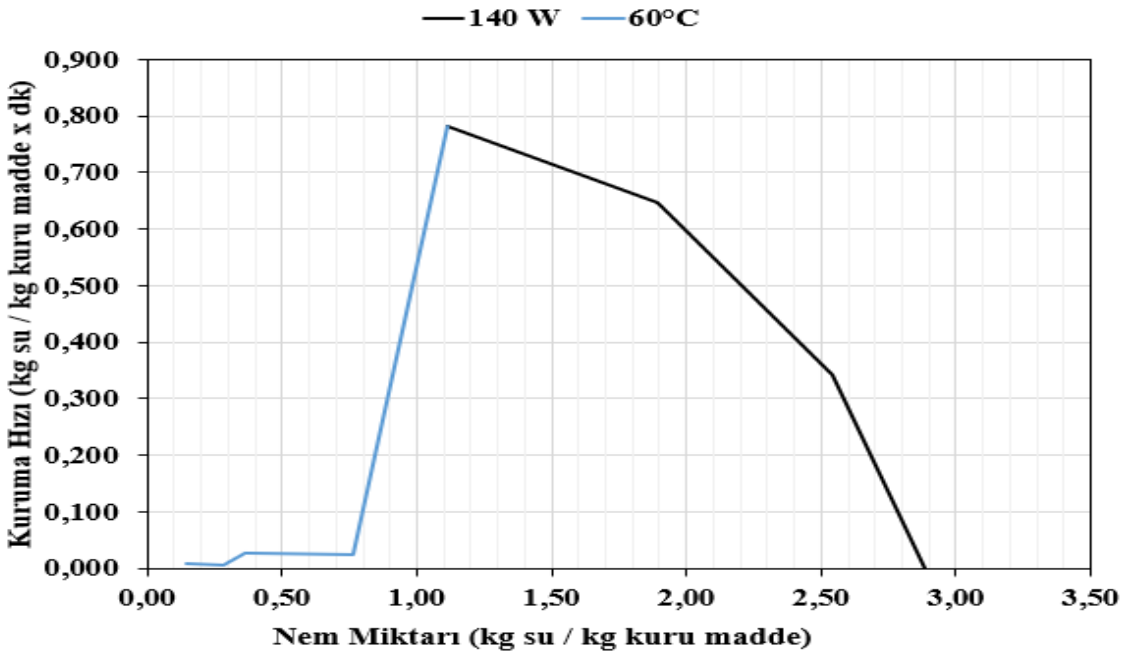
5.14 Mikrodalga – Kızılötesi Kurutucuda Hibrit Kurutulan Çarkıfelek Meyvesi Kurutma Eğrileri

Çarkıfelek meyvesi numuneleri için hibrit kurutmanın ilk aşaması olan MW kurutucuda 140 W'da kurutma işlemi 3 dakikada tamamlanmıştır ve kurutulmuş numunede kalan nem miktarı 1,1142 kg H_2O/kg kuru madde olarak hesaplanmıştır (Şekil 5.35). Ardından MW kurutucudan çıkarılan numuneler IR kurutucuda 60 °C sıcaklıkta 60 dakika kurutulmuşlardır ve kurutma işlemi tamamlanmıştır. Elde edilen son numunenin nem miktarı 0,1452 kg H_2O/kg kuru madde olarak hesaplanmıştır.



Şekil 5.35 MW – IR hibrit kurutulan çarkıfelek meyvesi numunelerine ait nem miktarları

Şekil 5.36 incelendiğinde, MW kurutma sonunda çarkıfelek meyvesi numunelerinin kuruma hızlarının 0,0521 kg H_2O / kg kuru madde x dk'ya kadar düştüğü gözlemlenmektedir. IR kurutma sonunda ise kuruma işlemi 0,1365 kg H_2O / kg kuru madde x dk kuruma hızı ile tamamlanmıştır.



Şekil 5.36 MW – IR hibrit kurutulan çarkıfelek meyvesi numunelerine ait kuruma hızlarının nem miktarları ile değişimi

6
SONUÇ VE ÖNERİLER

Kurutma, gıda maddelerinin raf ömrünü uzatmak ve yapılarındaki mikroorganizmaların biyokimyasal reaksiyonlarını durdurmak veya yavaşlatmak için uzun yıllardır endüstride sıklıkla kullanılan bir prosestir. İçerisindeki su giderilen gıda maddeleri taze hallerine oranla çok daha uzun süreler bozulmadan tüketilebilmektedir. Kullanılan bu kurutma proseslerinin her ürüne özgü seçilmesi kurutma işleminin verimi ve elde edilen son ürünün tüketici tarafından beğenilmesi; renk, koku, tat gibi duyulara hitap etmesi açısından oldukça önemlidir.

Bu çalışma ile birlikte guava ve çarkıfelek meyvesi numuneleri kızılötesi kurutucu ve mikrodalga kurutucuda farklı sıcaklık (60, 70 ve 80 °C) ve güç değerlerinde (140, 210 ve 350 W) kurutulmuş ve elde edilen deneysel veriler ile bu egzotik meyvelerin kurutma kinetiği incelenmiştir. Elde edilen kurutma eğrileri literatürde bulunan 15 farklı ince tabaka kurutma modeline yerleştirilerek matematiksel modellemeleri yapılmıştır. Her iki meyve için de sıcaklık ve güç değeri arttıkça kuruma süresinin kısaldığı ve kuruma hızının arttığı gözlemlenmiştir. Aynı zamanda, kurutma hızının en yüksek olduğu periyodun kurutmanın başlangıç aşaması olduğu, sonrasında bazı sıcaklık ve güç değerlerinde sabit kurutma hızı ardından azalan kurutma hız periyodu gözlemlenirken, bazı sıcaklık ve güç değerlerinde ise direkt azalan hız periyoduna geçiş yapıldığı gözlenmiştir.

Guava ve çarkıfelek meyvesi numunelerinden elde edilen tüm deneysel kurutma verilerinden elde edilen sonuçlar Fick'in ikinci difüzyon yasasından türetilen denklemler içerisine yerleştirilmiş ve her sıcaklık ve güç değeri için efektif nem difüzyon katsayısı, her kurutma işlemi içinse ayrı ayrı aktivasyon enerjisi hesabı yapılmıştır. Efektif nem difüzyon katsayısının tüm kurutma proseslerinde sıcaklık ve güç değerinin artışı ile paralel olarak artış gösterdiği görülmüştür.

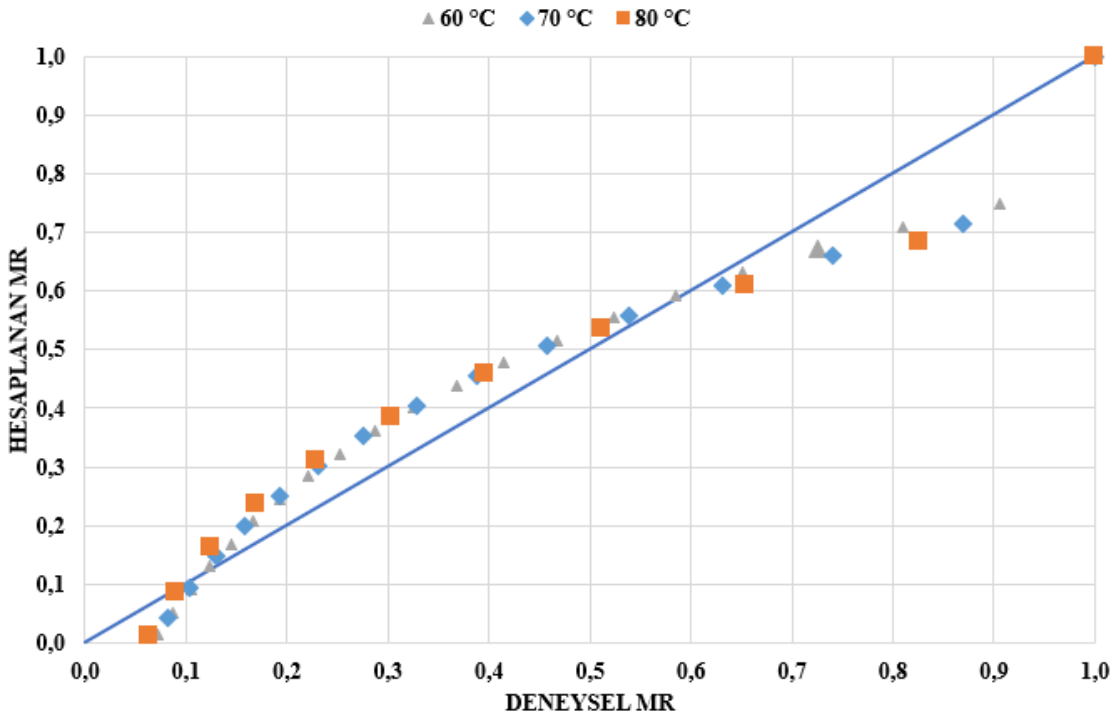
Aynı şekilde efektif nem difüzyon katsayısı ve bu değerlerden elde edilen aktivasyon enerjisi hesabına da bakıldığında, artan efektif nem difüzyon katsayısı değerleri ile birlikte aktivasyon enerjisinin de orantılı bir şekilde artış gösterdiği görülmüştür.

Farklı sıcaklık ve güç değerleri için elde edilen kurutma sonuçlarına göre en yüksek regresyon katsayısı ve en düşük $\chi 2$ ve HKOK değerlerine sahip matematiksel modeller belirlenmiştir.

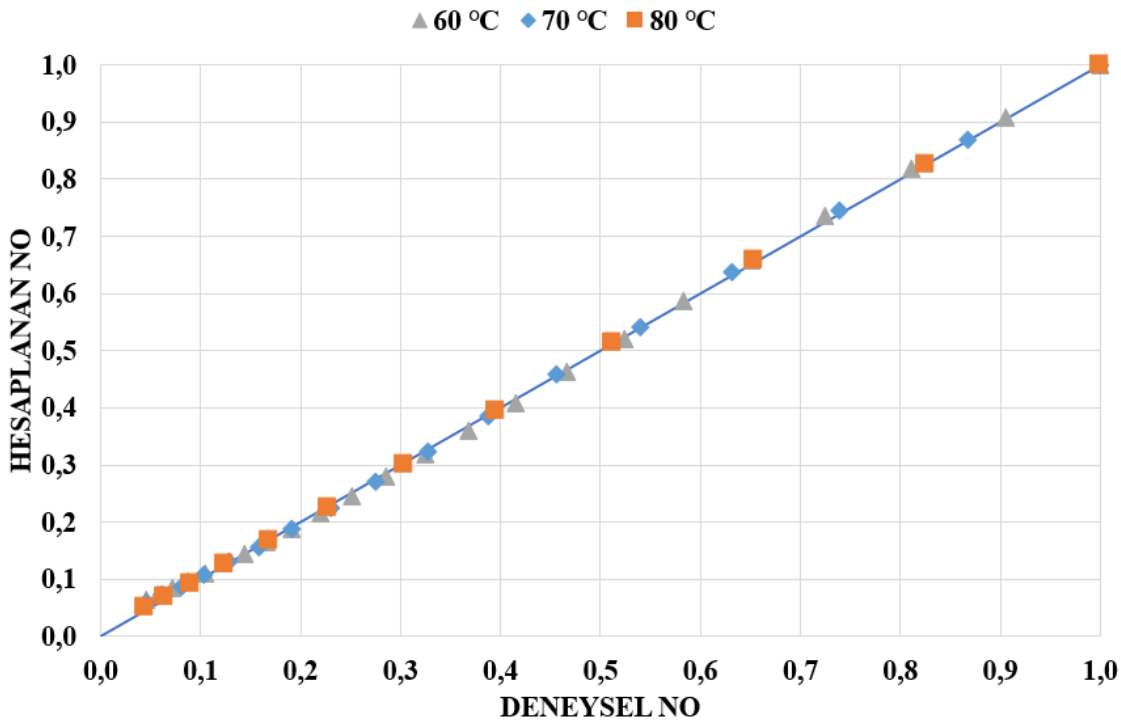
Bu doğrultuda seçilen matematiksel modeller, IR kurutulan guava için; İki Terimli Üstel, Midilli ve Aghbashlo vd., MW kurutulan guava için; İki Terimli Üstel, Midilli ve Alibas, IR kurutulan çarkıfelek meyvesi için; Jena ve Das, Midilli ve Wang & Singh, MW kurutulan çarkıfelek meyvesi için Aghbashlo vd., Alibas ve İki Terimli Üstel olarak belirlenmiştir.

Hibrit kurutma yöntemi olarak çarkıfelek meyvesi öncelikle içeriğindeki nem miktarının yarısı giderilene dek 60 ℃'de IR kurutucuda, ardından kalan nem miktarı ise 140 W güç değerinde MW kurutucuda kurutulmuştur. Bu işlemin tam tersi gerçekleştirilerek çarkıfelek meyvesinin içerisindeki nem miktarının yarısı 140 W güç değerinde MW kurutucuda, ardından kalan nem miktarı ise 60 ℃'de IR kurutucuda giderilmiştir. Elde edilen deneysel veriler ile her iki hibrit kurutma yöntemi için kurutma eğrileri çizilmiştir.

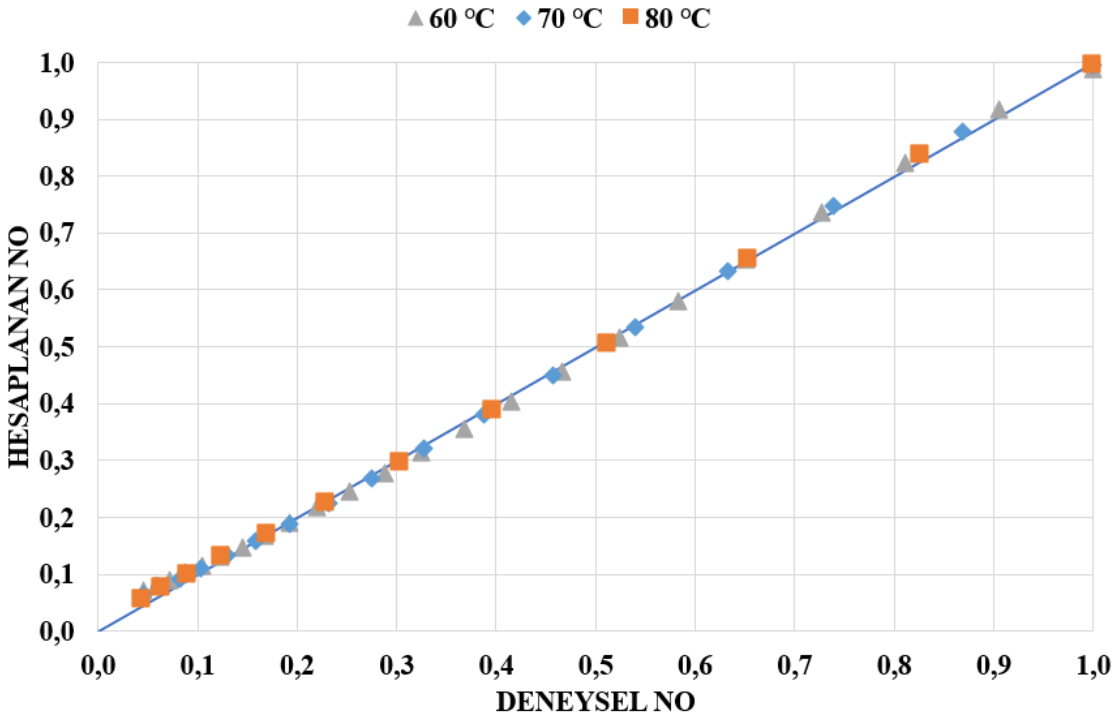
Aynı zamanda IR kurutucu ile kurutulan meyvelerin MW kurutucu ile kurutulan meyvelere göre tüketime daha uygun olduğu; renk, tat ve koku açısından daha kaliteli kurutulmuş ürünler ortaya çıktığı görülmüştür.



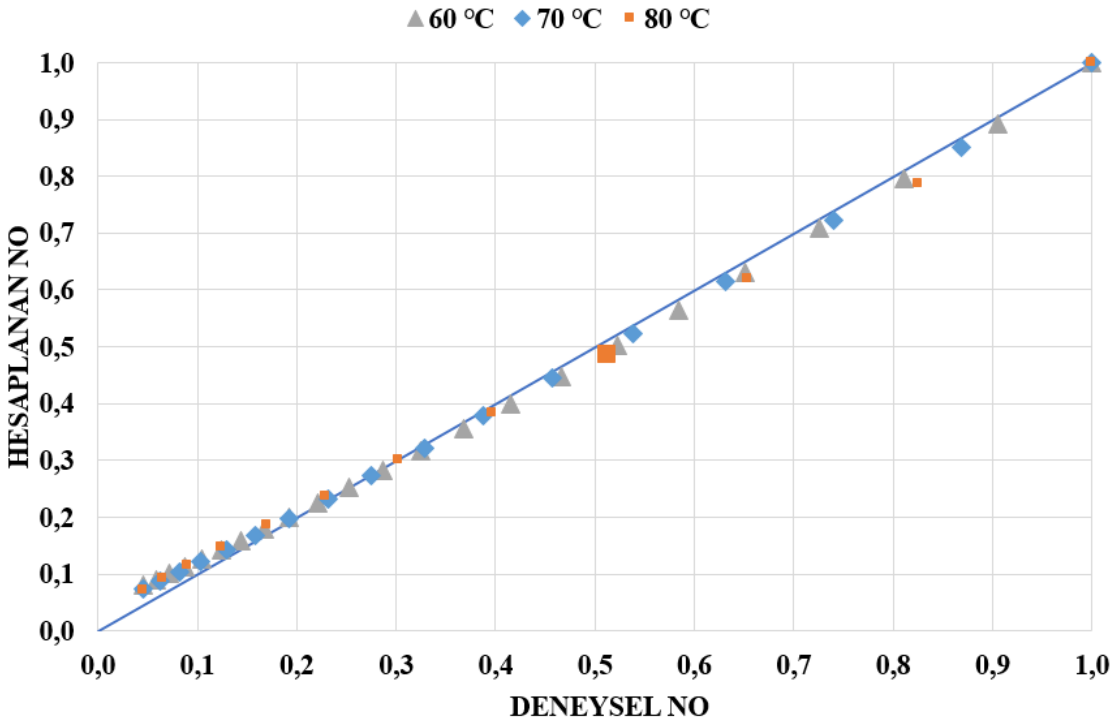
Şekil 6.1 Kızılötesi kurutucuda kurutulan guavanın kuruma hızlarının Alibas modeli



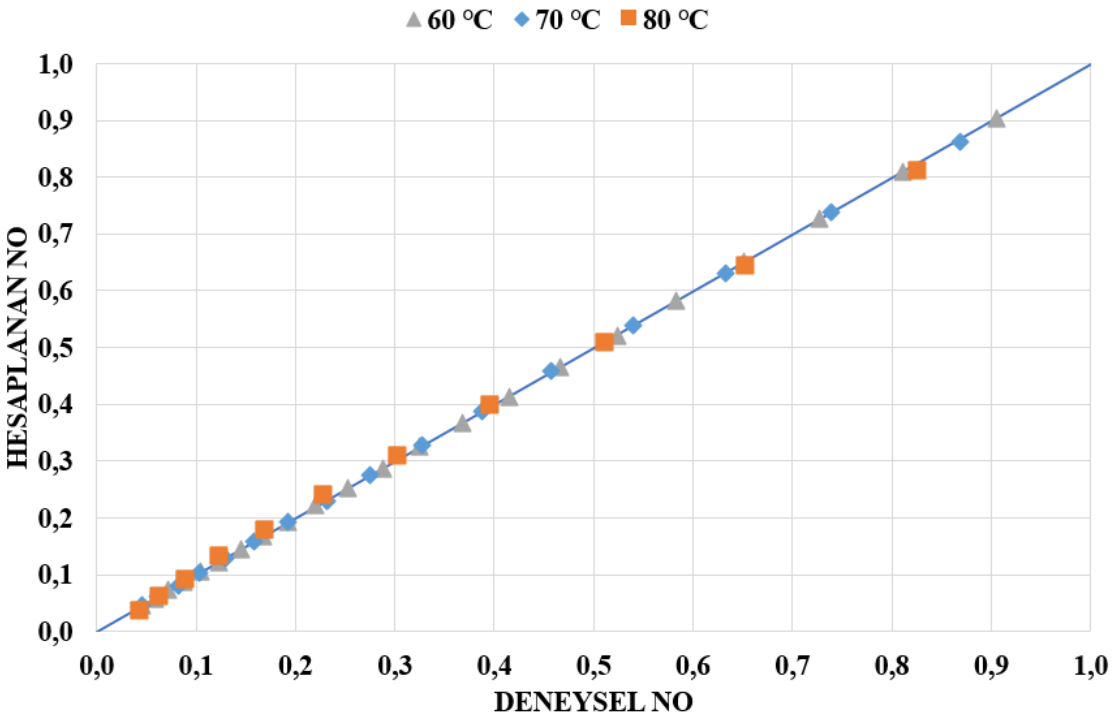
Şekil 6.2 Kızılötesi kurutucuda kurutulan guavanın kuruma hızlarının İki Terim modeli



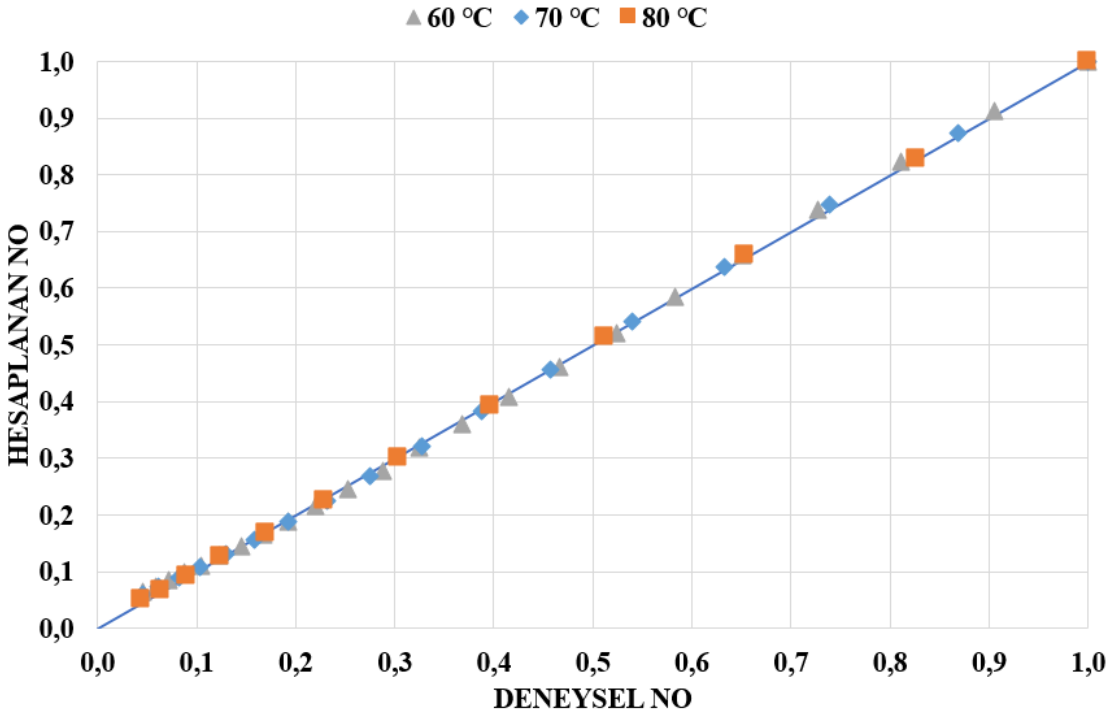
Şekil 6.3 Kızılötesi kurutucuda kurutulan guavanın kuruma hızlarının Jena ve Das modeli



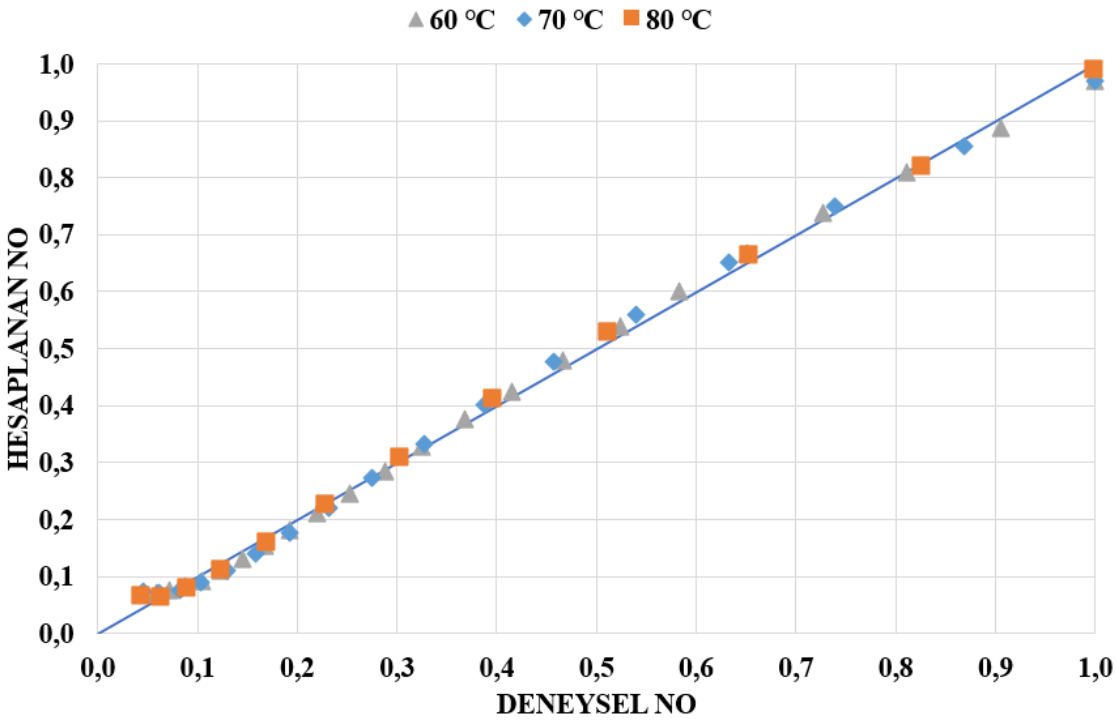
Şekil 6.4 Kızılötesi kurutucuda kurutulan guavanın kuruma hızlarının Lewis modeli



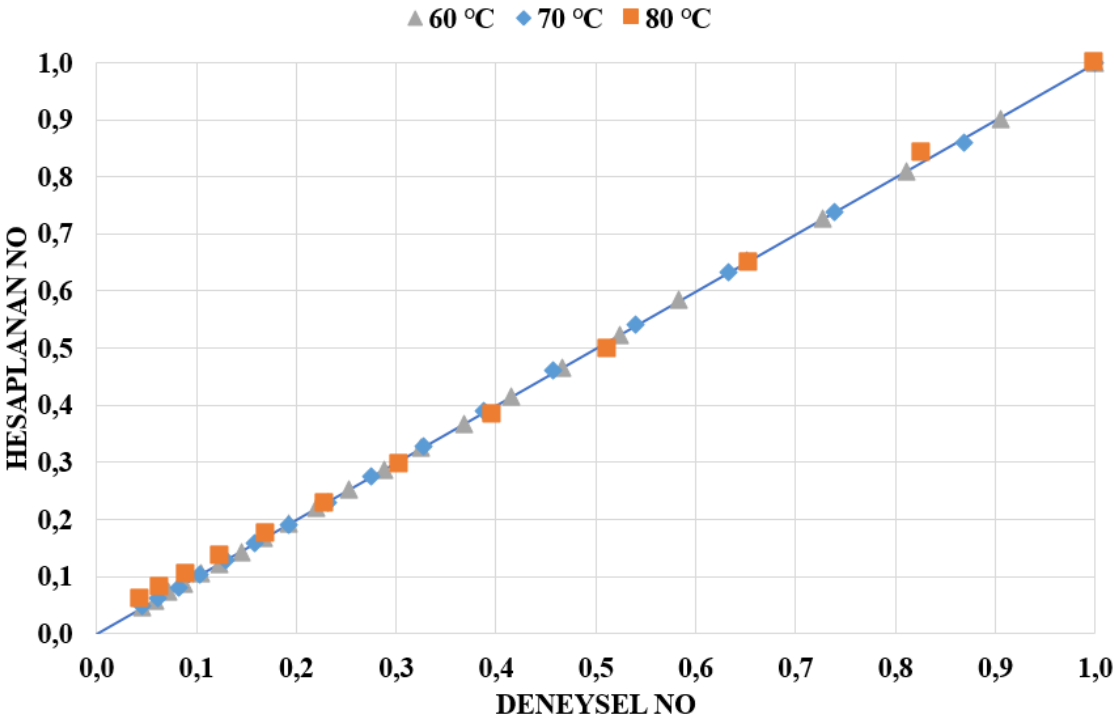
Şekil 6.5 Kızılötesi kurutucuda kurutulan guavanın kuruma hızlarının Logaritmik modeli



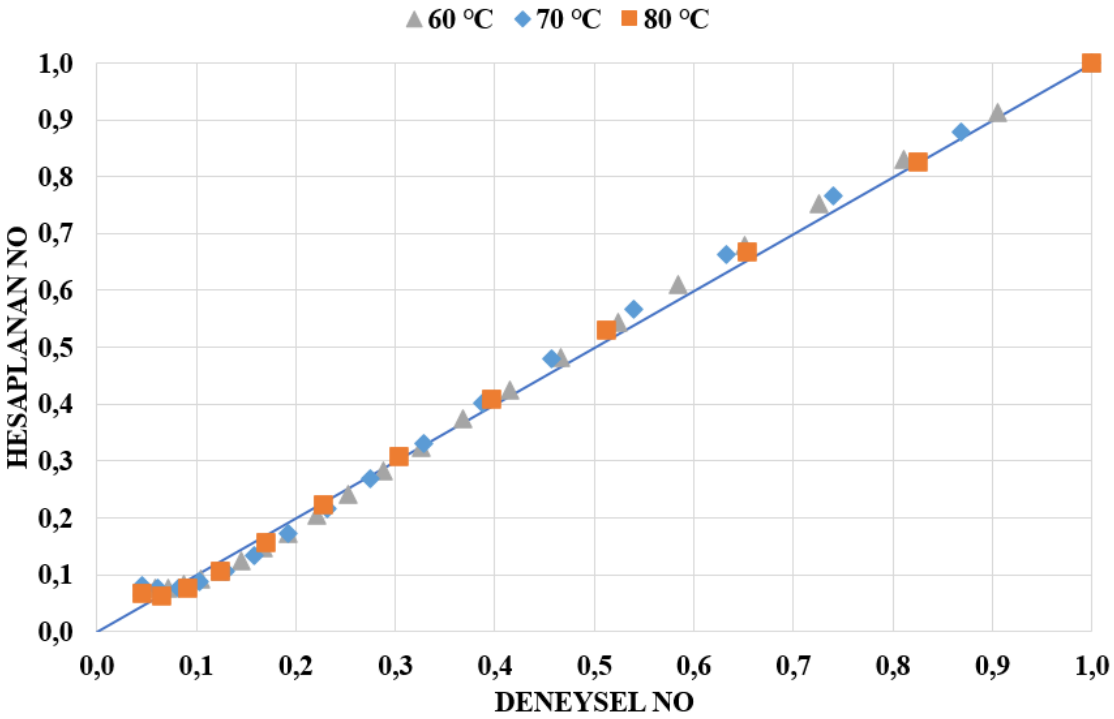
Şekil 6.6 Kızılötesi kurutucuda kurutulan guavanın kuruma hızlarının Page modeli



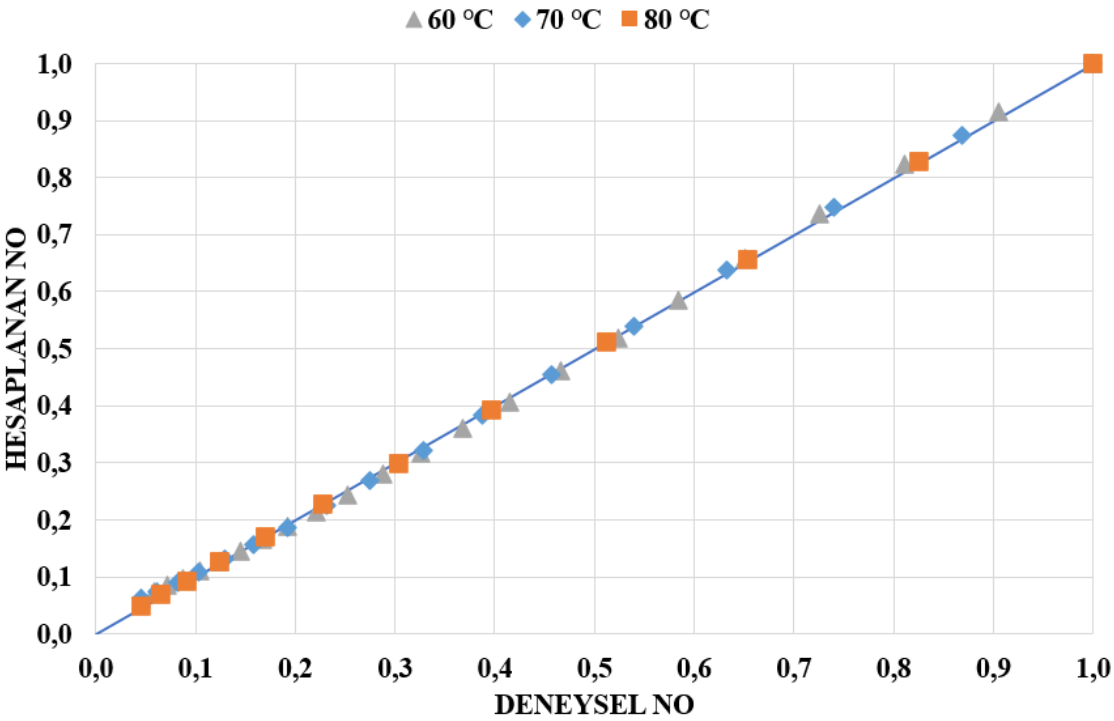
Şekil 6.7 Kızılötesi kurutucuda kurutulan guavanın kuruma hızlarının Parabolik modeli



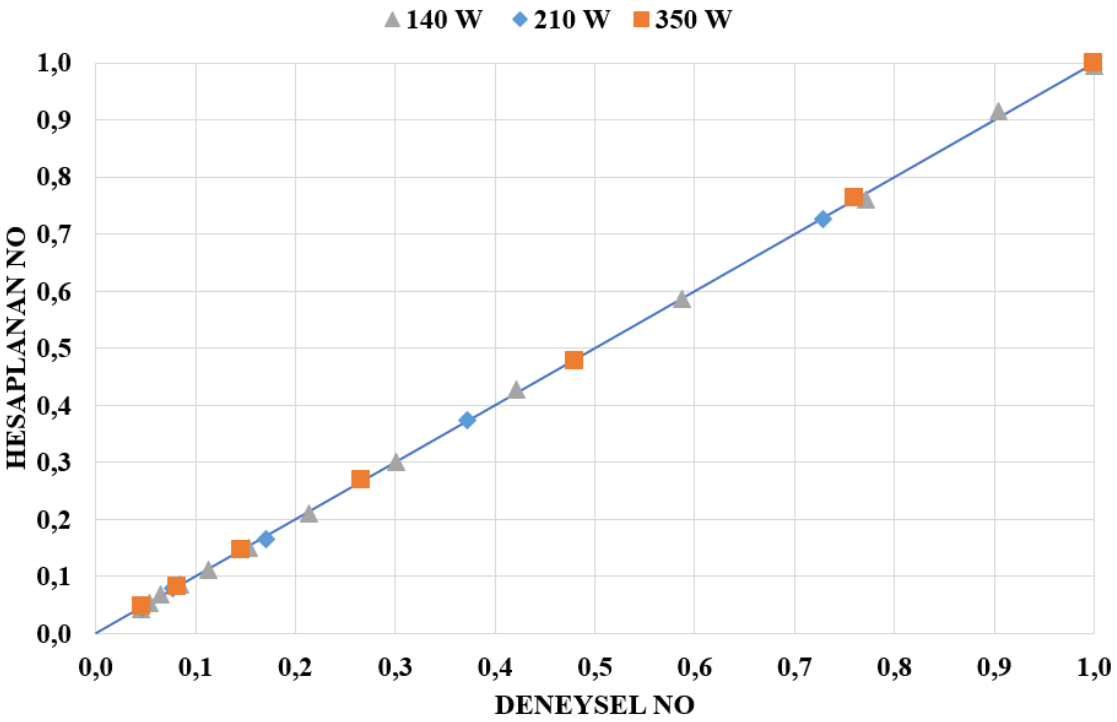
Şekil 6.8 Kızılötesi kurutucuda kurutulan guavanın kuruma hızlarının Verma modeli



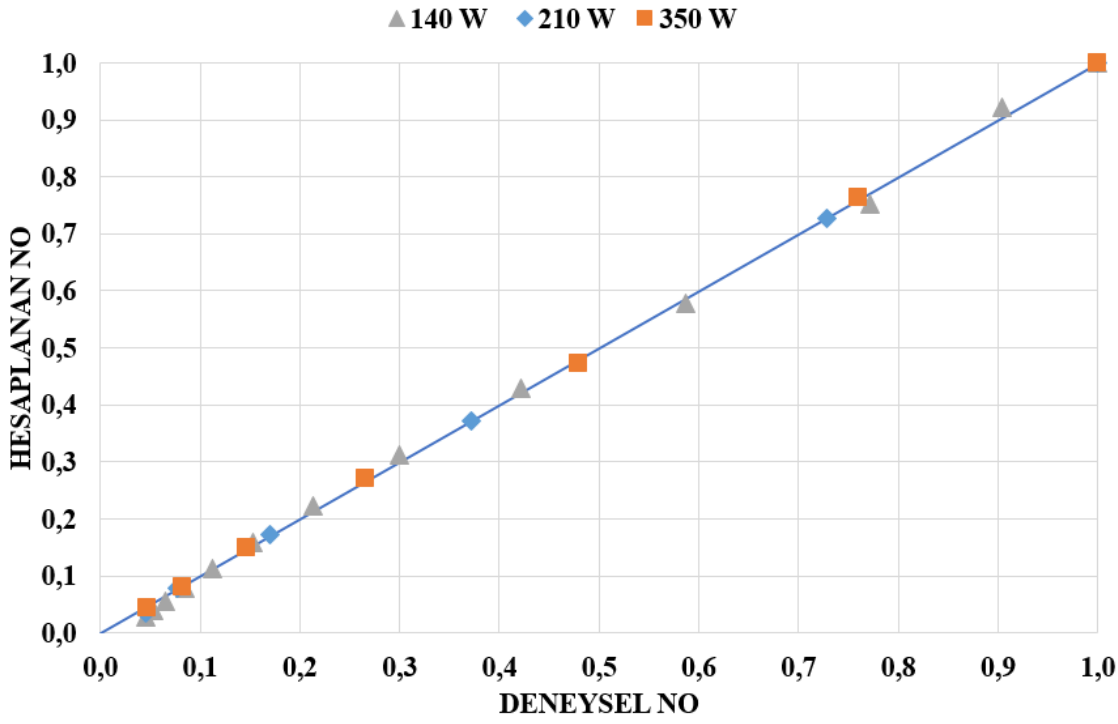
Şekil 6.9 Kızılötesi kurutucuda kurutulan guavanın kuruma hızlarının Wang & Singh modeli



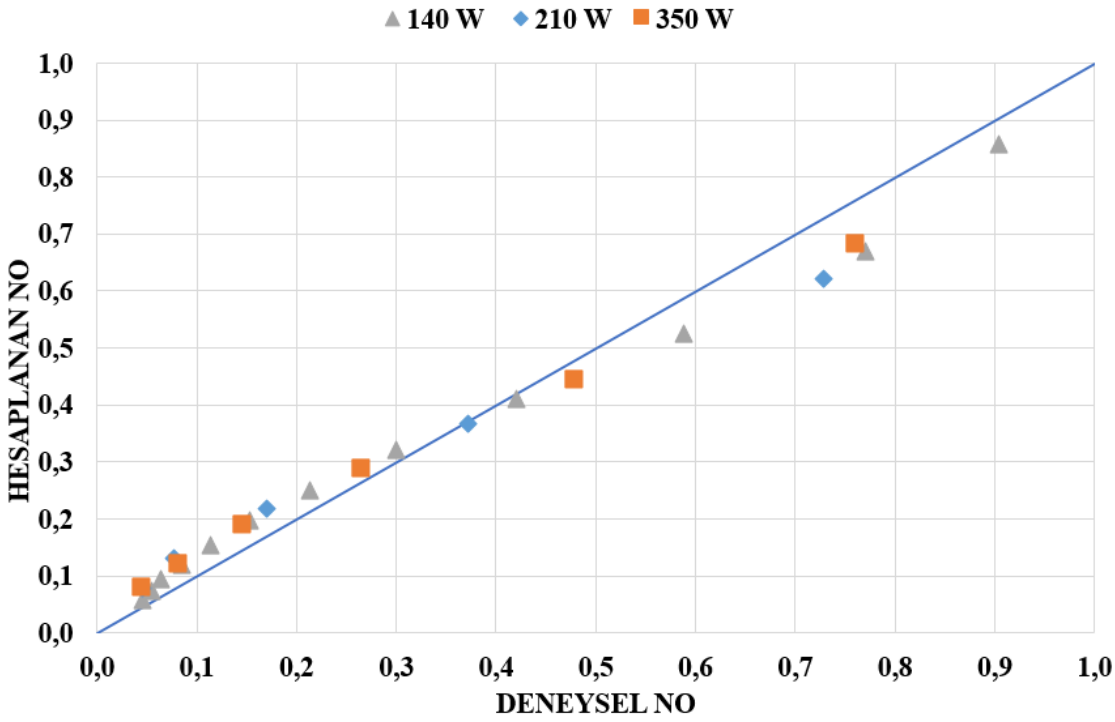
Şekil 6.10 Kızılötesi kurutucuda kurutulan guavanın kuruma hızlarının Weibull modeli



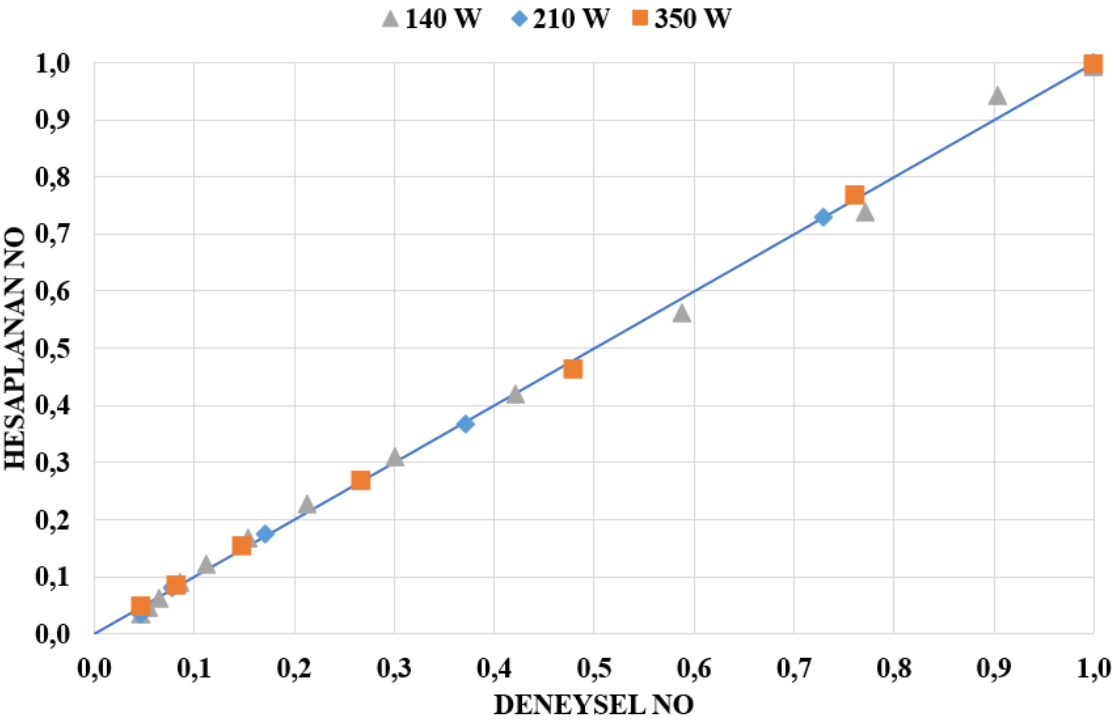
Şekil 6.11 Mikrodalga kurutucuda kurutulan guavanın kuruma hızlarının Alibas modeli



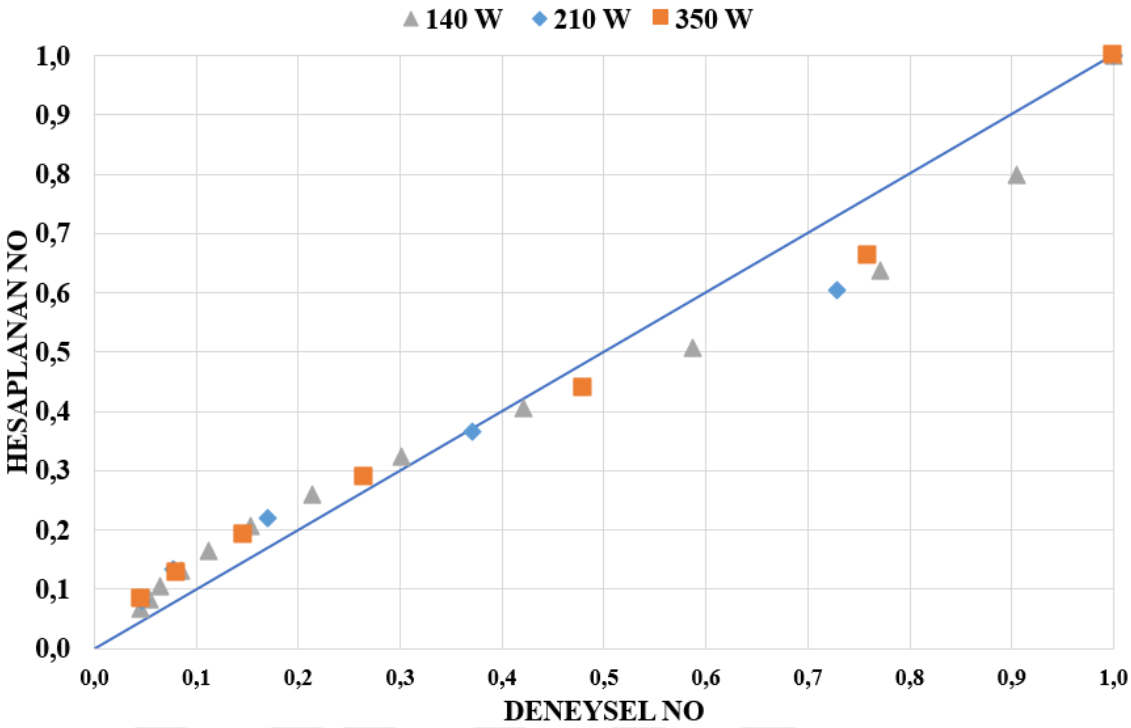
Şekil 6.12 Mikrodalga kurutucuda kurutulan guavanın kuruma hızlarının İki Terimli Üstel modeli



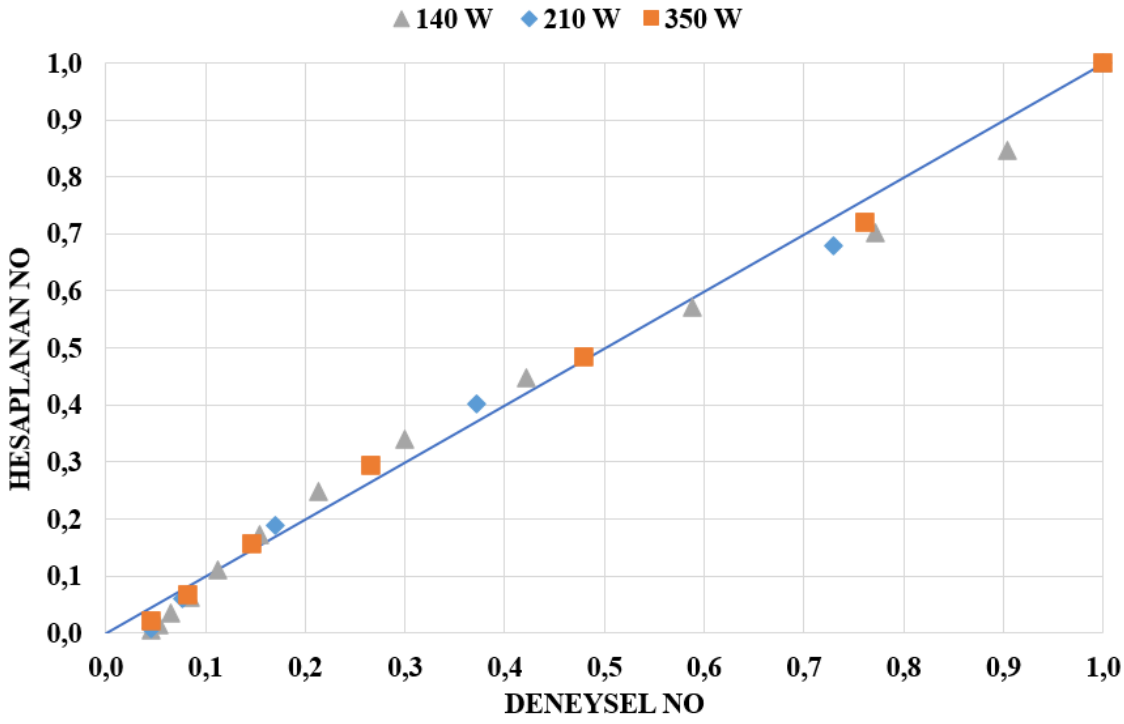
Şekil 6.13 Mikrodalga kurutucuda kurutulan guavanın kuruma hızlarının Hendersen modeli



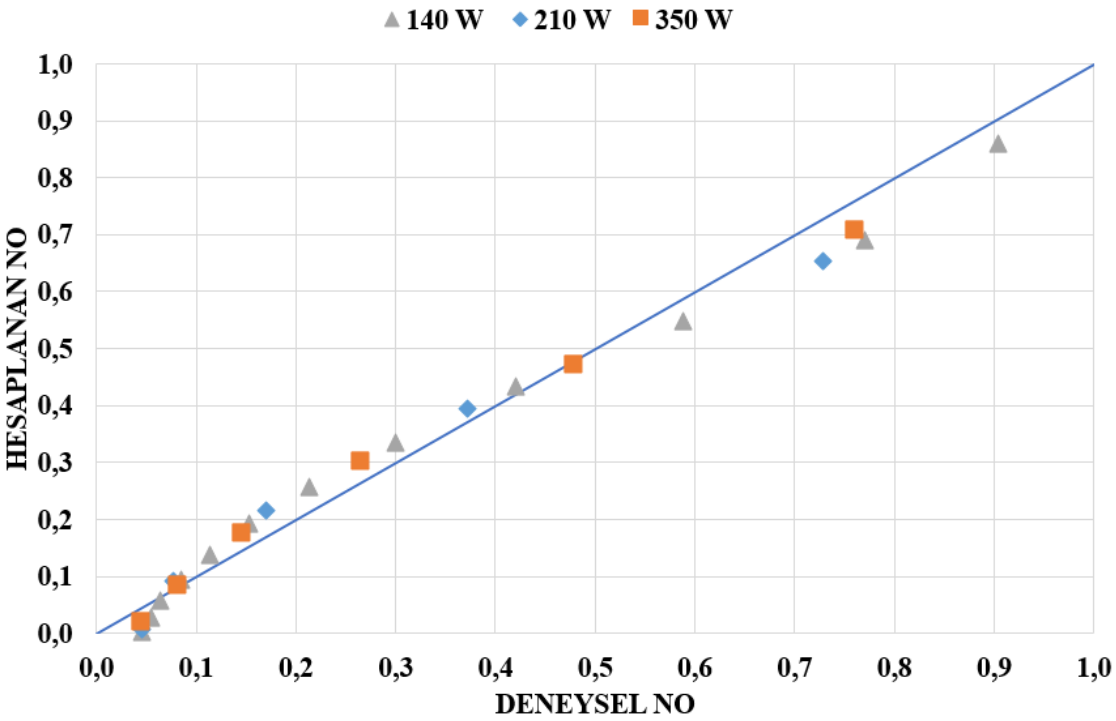
Şekil 6.14 Mikrodalga kurutucuda kurutulan guavanın kuruma hızlarının Jena ve Das modeli



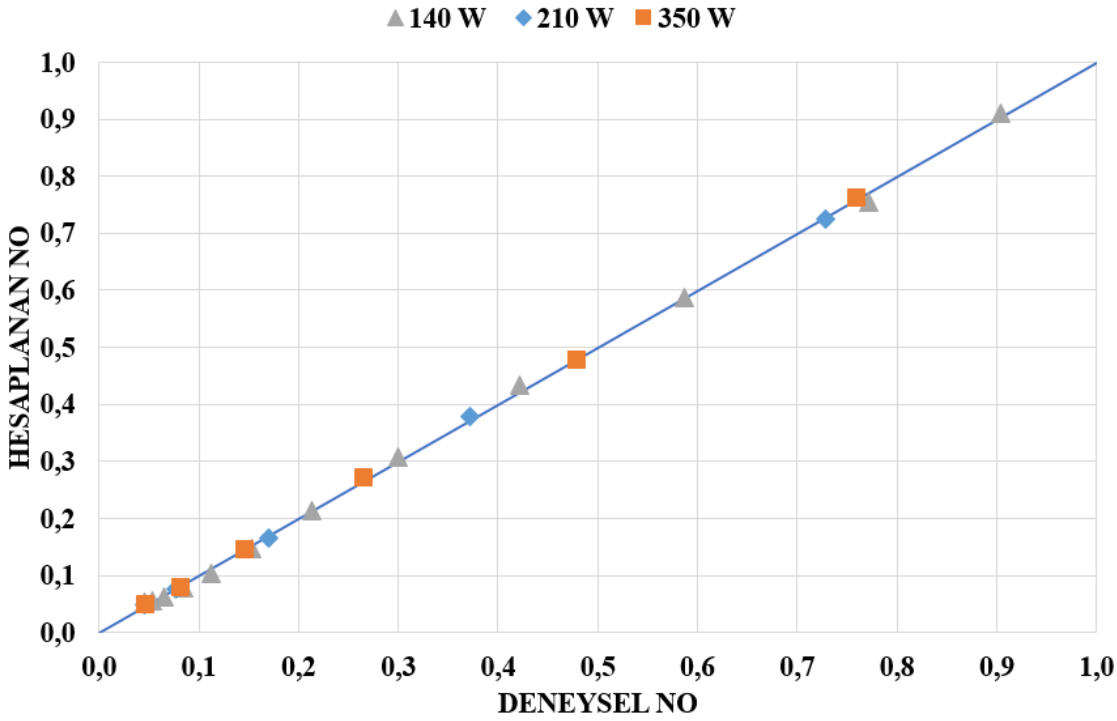
Şekil 6.15 Mikrodalga kurutucuda kurutulan guavanın kuruma hızlarının Lewis modeli



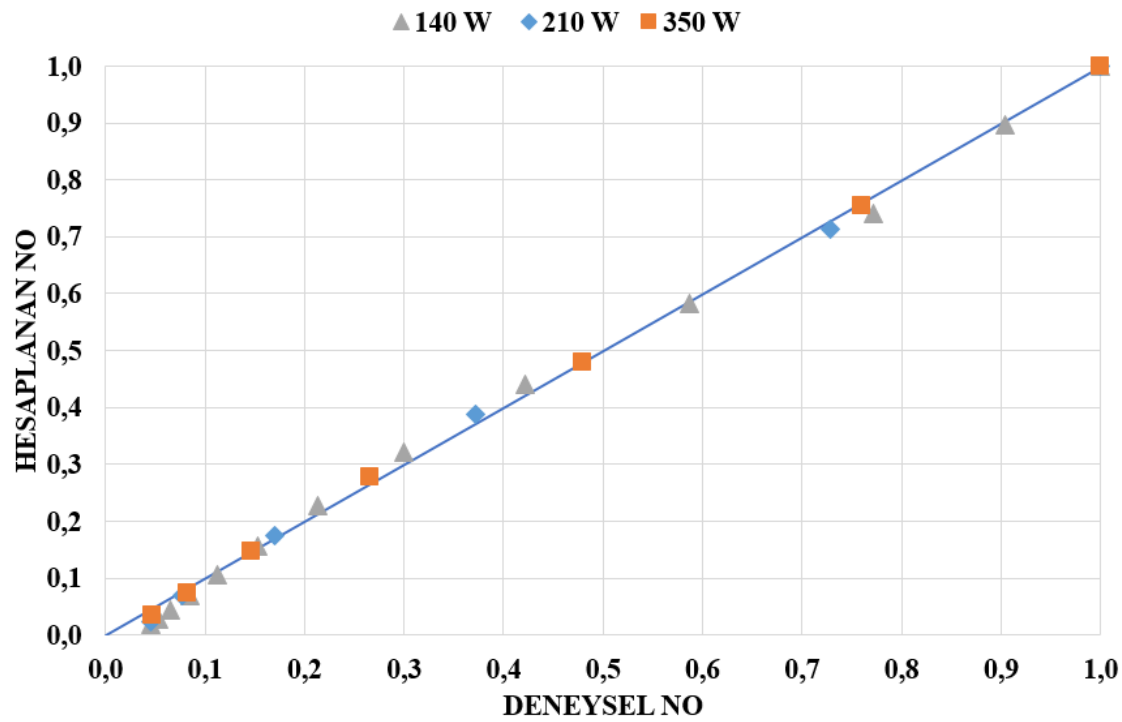
Şekil 6.16 Mikrodalga kurutucuda kurutulan guavanın kuruma hızlarının Aghbashlo modeli



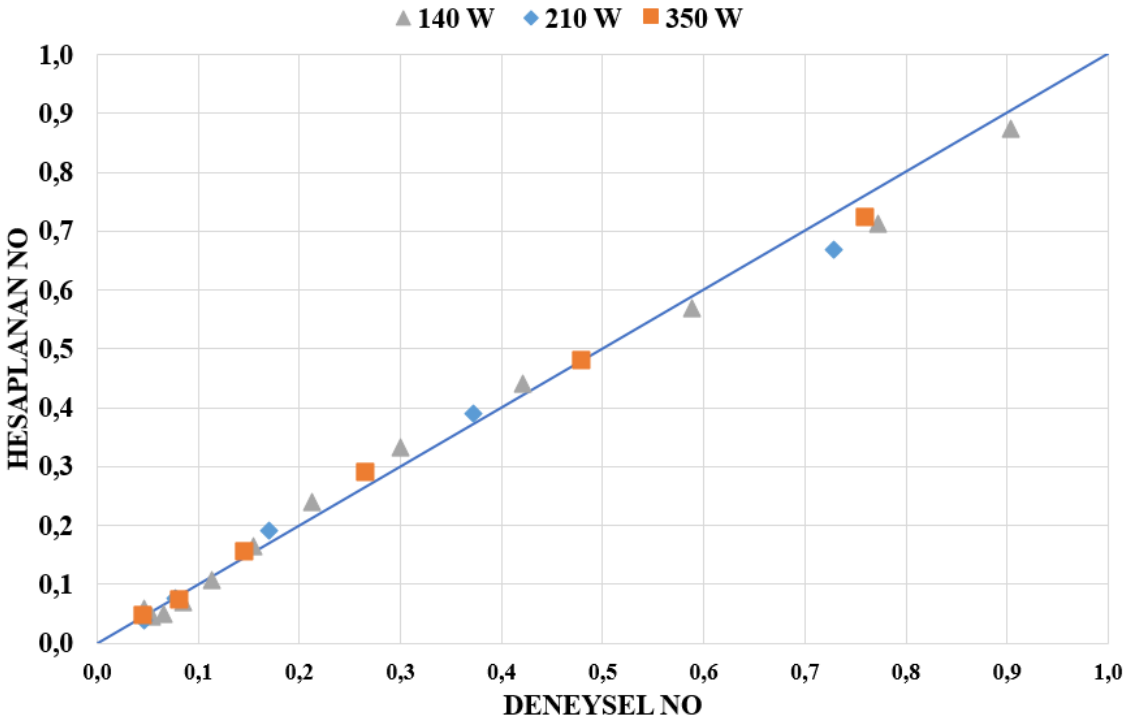
Şekil 6.17 Mikrodalga kurutucuda kurutulan guavanın kuruma hızlarının Logaritmik modeli



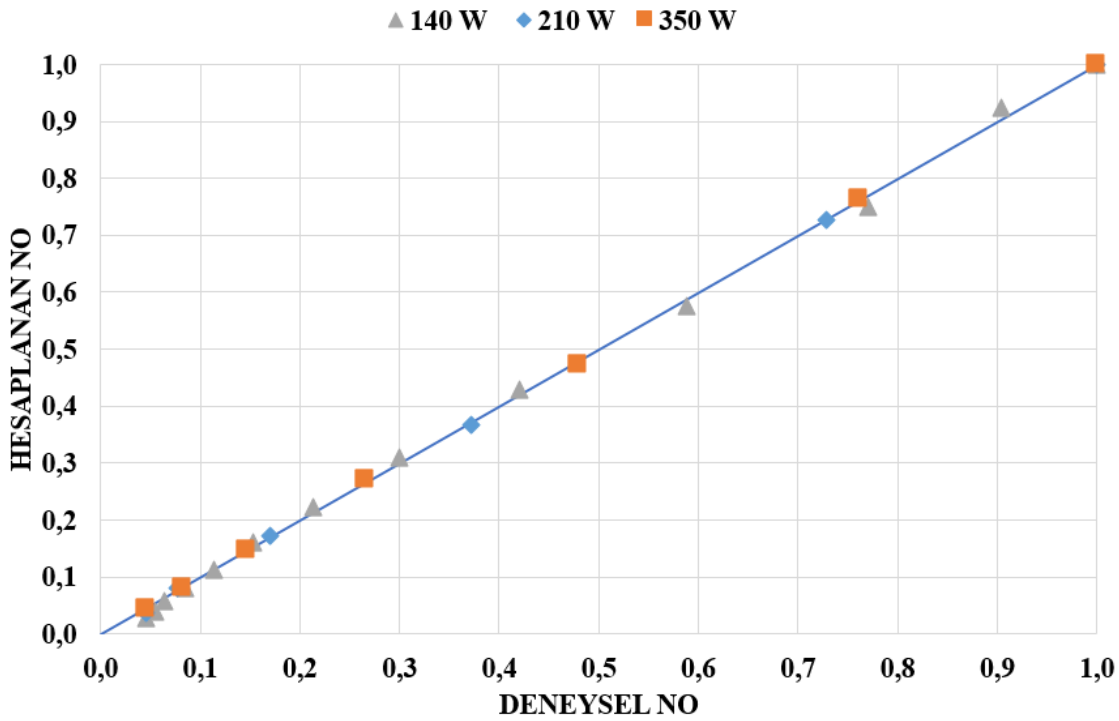
Şekil 6.18 Mikrodalga kurutucuda kurutulan guavanın kuruma hızlarının Midilli modeli



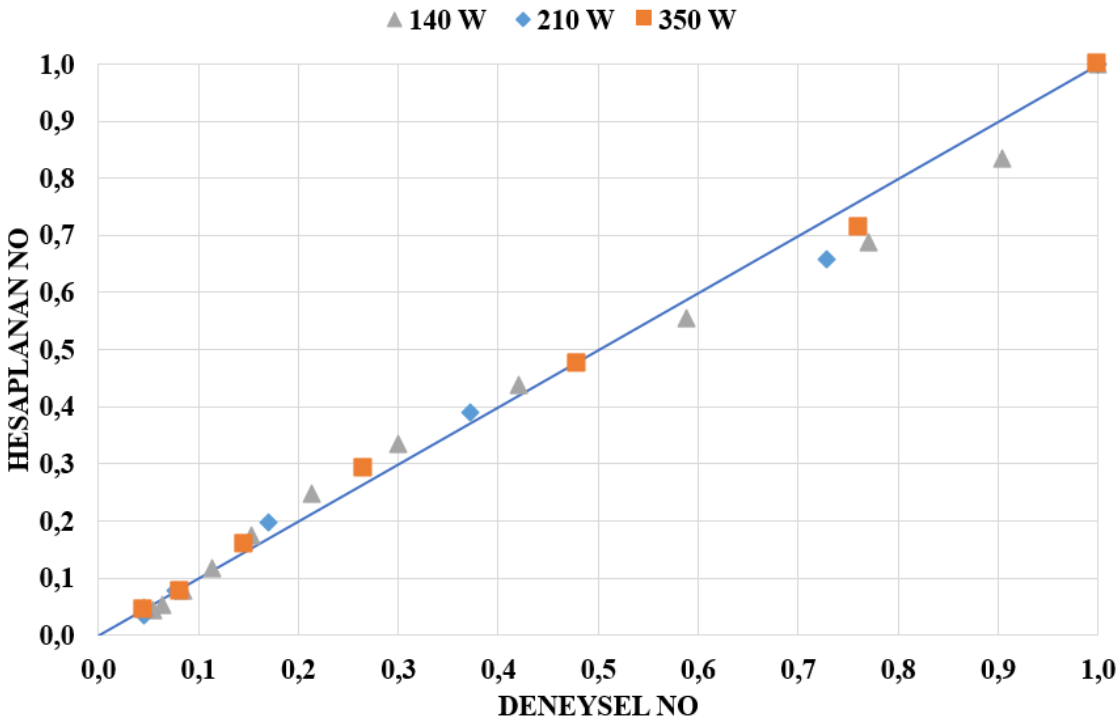
Şekil 6.19 Mikrodalga kurutucuda kurutulan guavanın kuruma hızlarının Page modeli



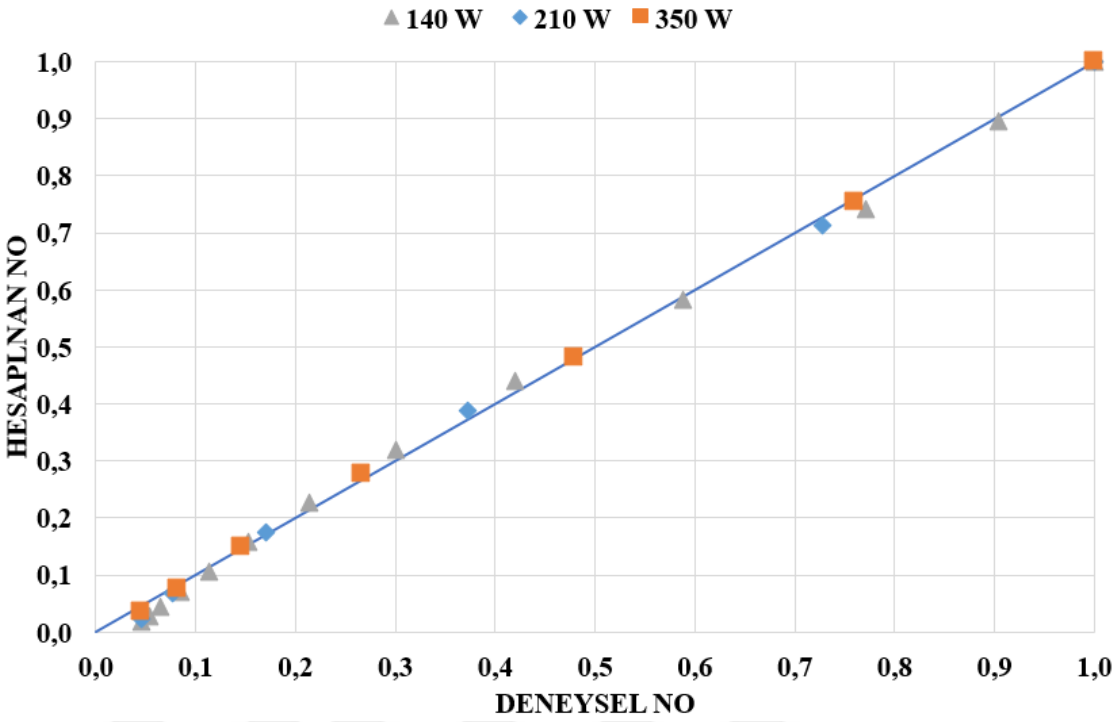
Şekil 6.20 Mikrodalga kurutucuda kurutulan guavanın kuruma hızlarının Parabolik modeli



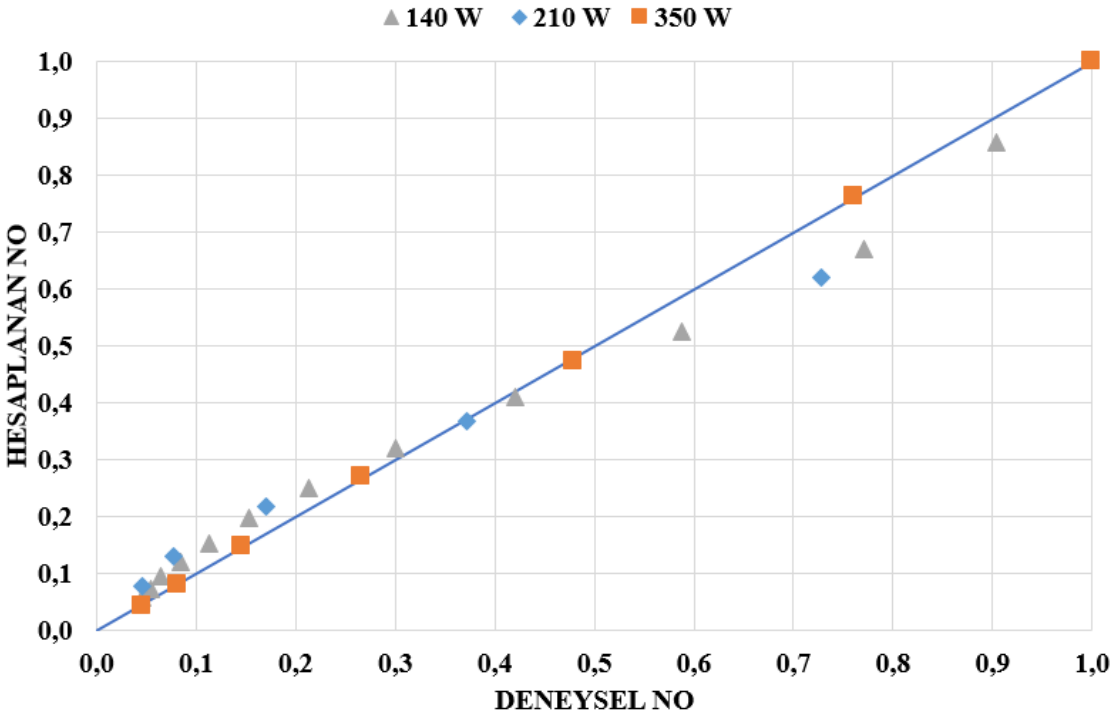
Şekil 6.21 Mikrodalga kurutucuda kurutulan guavanın kuruma hızlarının Verma modeli



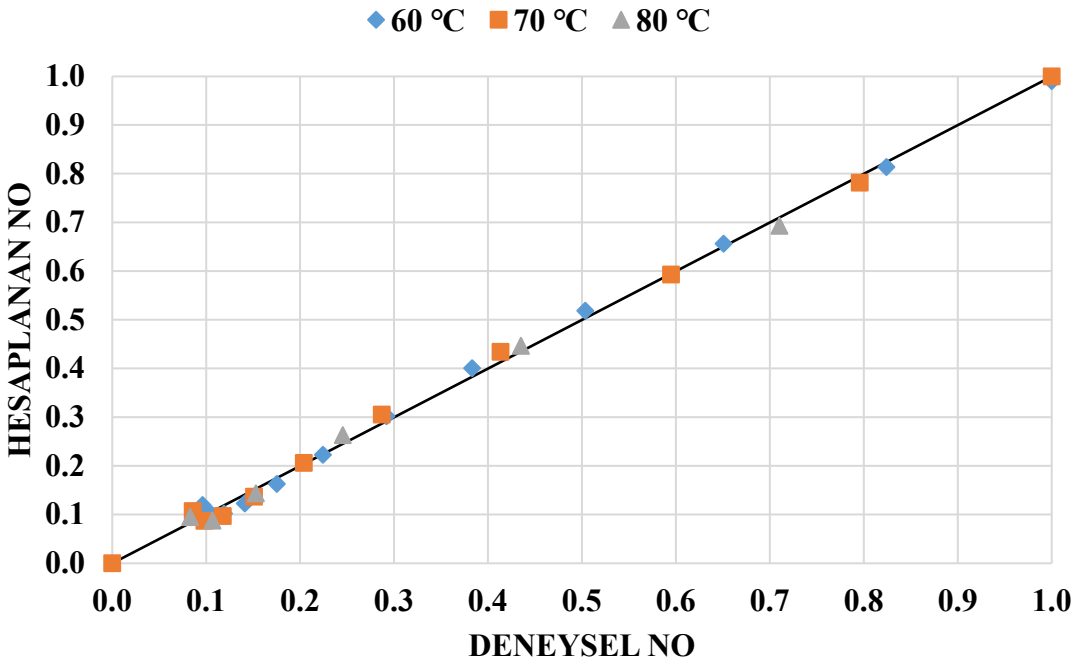
Şekil 6.22 Mikrodalga kurutucuda kurutulan guavanın kuruma hızlarının Wang & Singh modeli



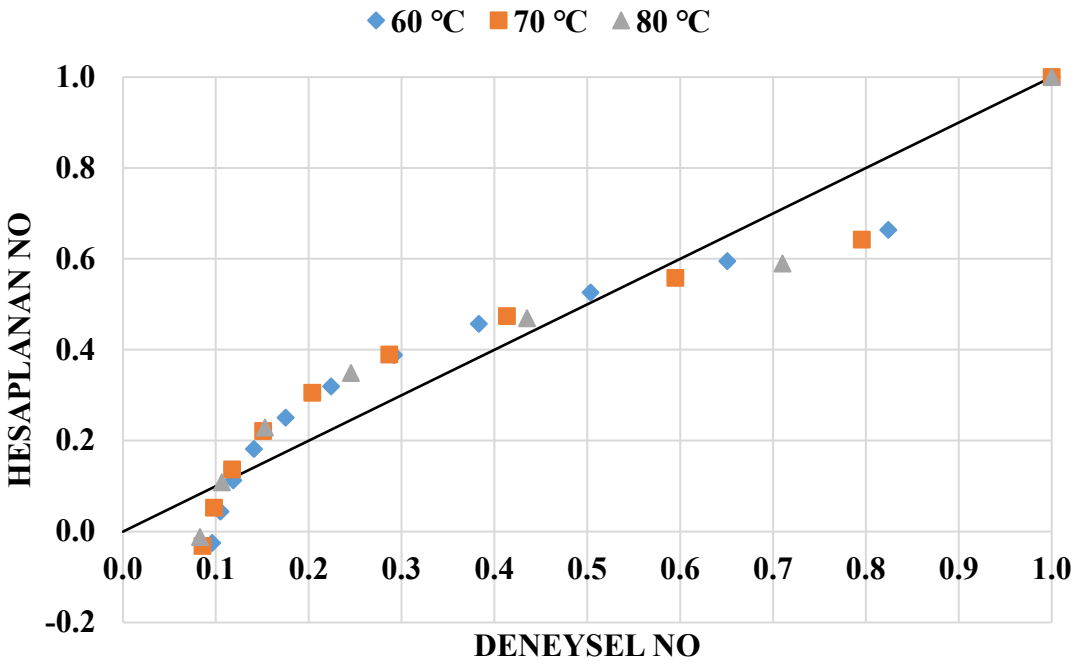
Şekil 6.23 Mikrodalga kurutucuda kurutulan guavanın kuruma hızlarının Weibull modeli



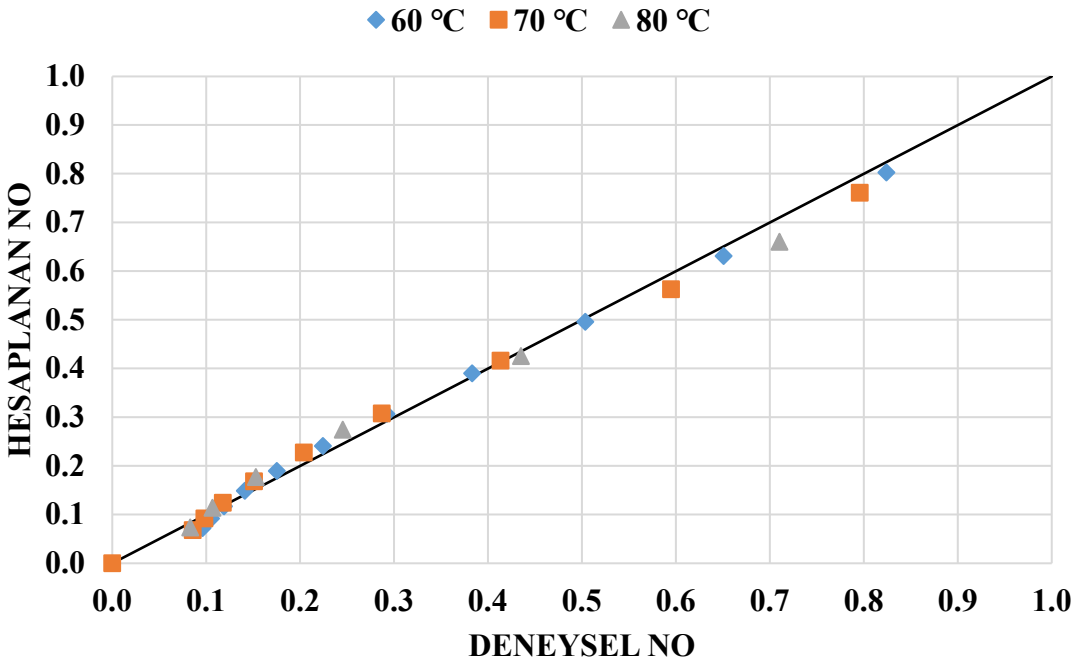
Şekil 6.24 Mikrodalga kurutucuda kurutulan guavanın kuruma hızlarının İki Terim modeli



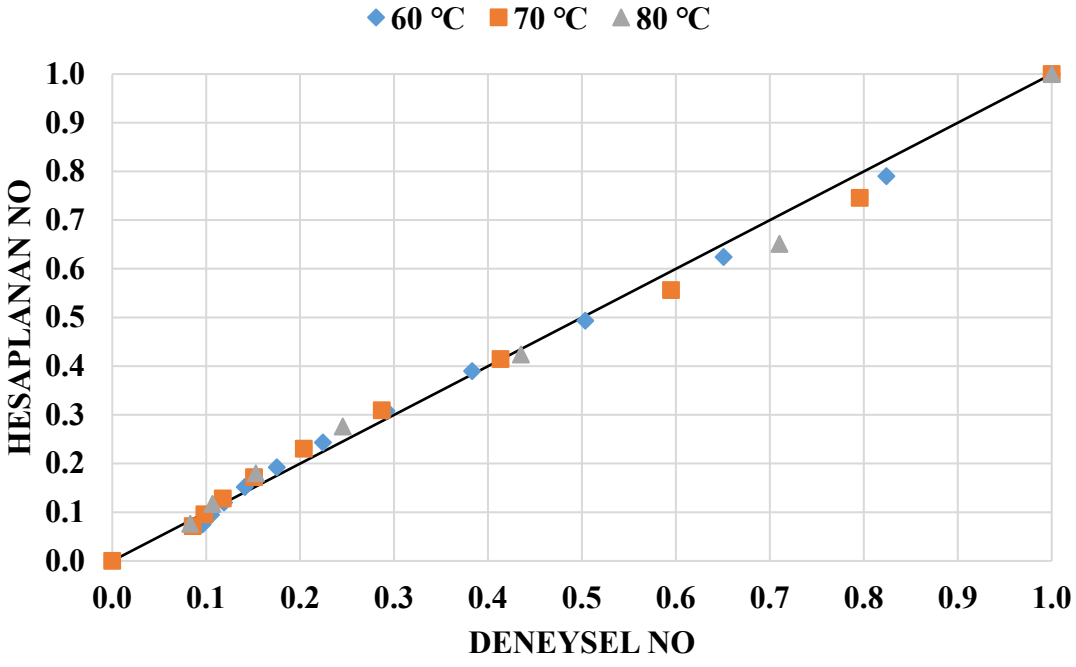
Şekil 6.25 Kızılötesi kurutucuda kurutulan çarkıfelek meyvesinin kuruma hızlarının Aghbashlo modeli



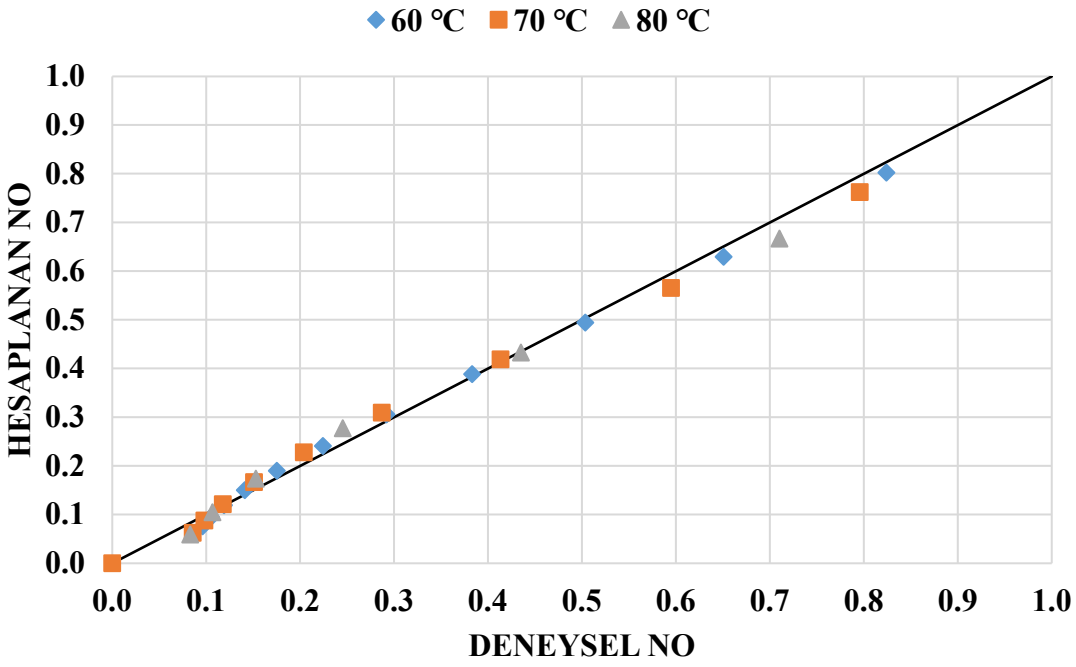
Şekil 6.26 Kızılötesi kurutucuda kurutulan çarkıfelek meyvesinin kuruma hızlarının Alibas modeli



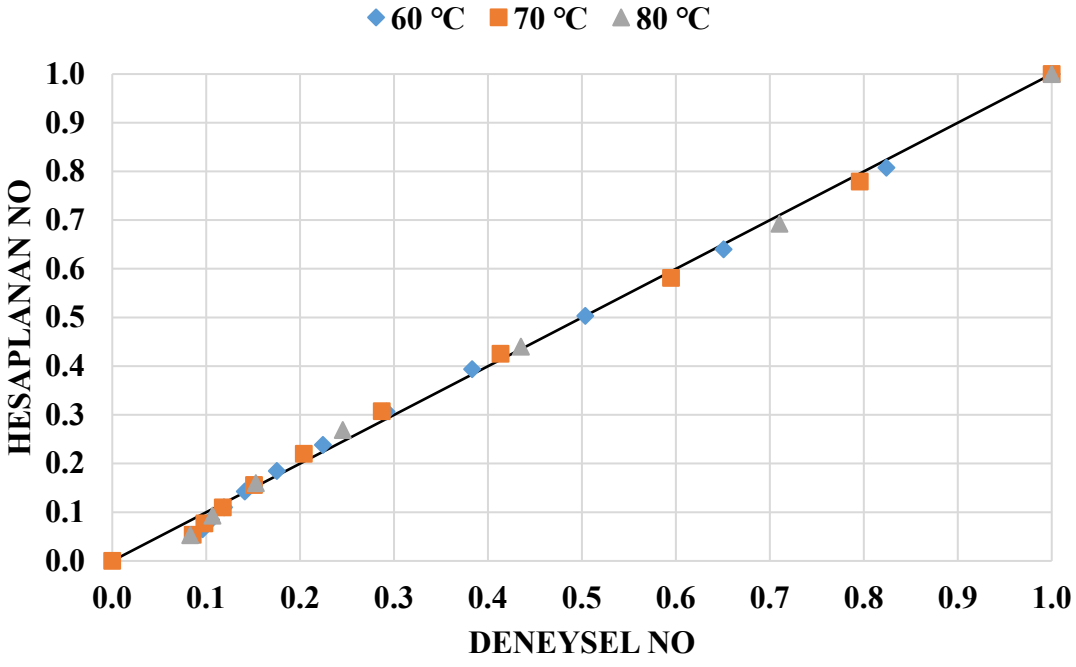
Şekil 6.27 Kızılötesi kurutucuda kurutulan çarkıfelek meyvesinin kuruma hızlarının Henderson & Pabis modeli



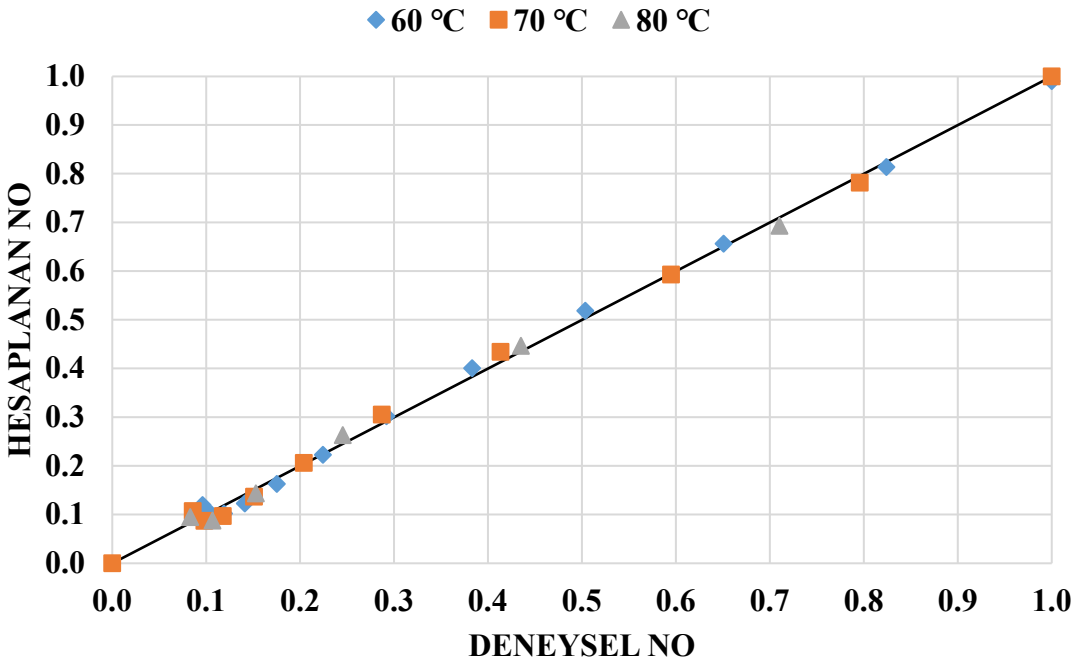
Şekil 6.28 Kızılötesi kurutucuda kurutulan çarkıfelek meyvesinin kuruma hızlarının Lewis modeli



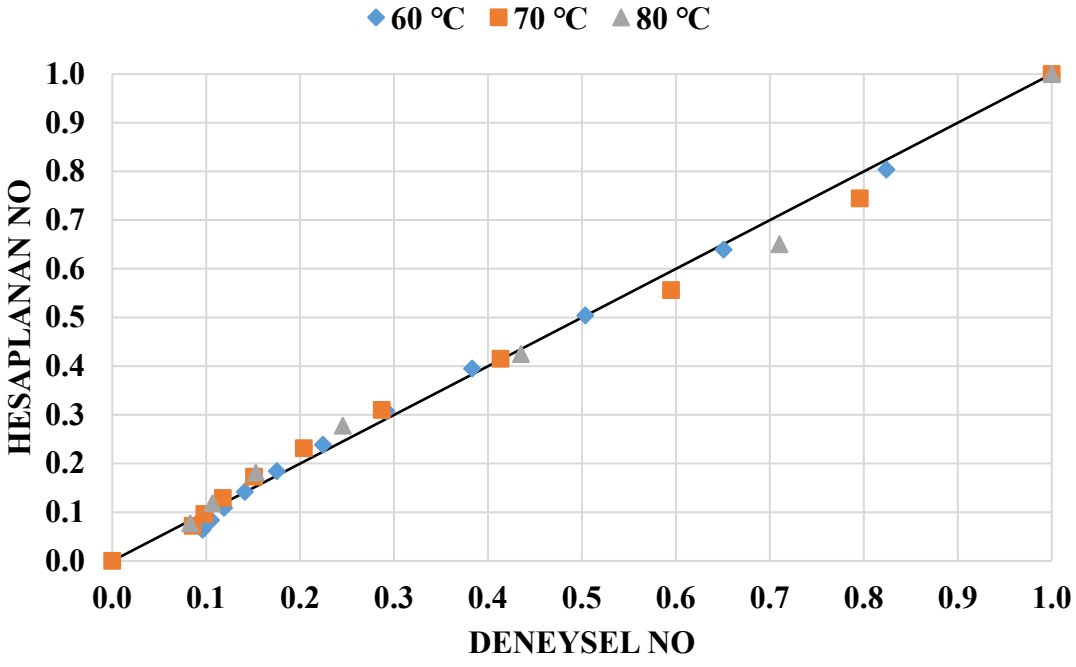
Şekil 6.29 Kızılötesi kurutucuda kurutulan çarkıfelek meyvesinin kuruma hızlarının Logaritmik modeli



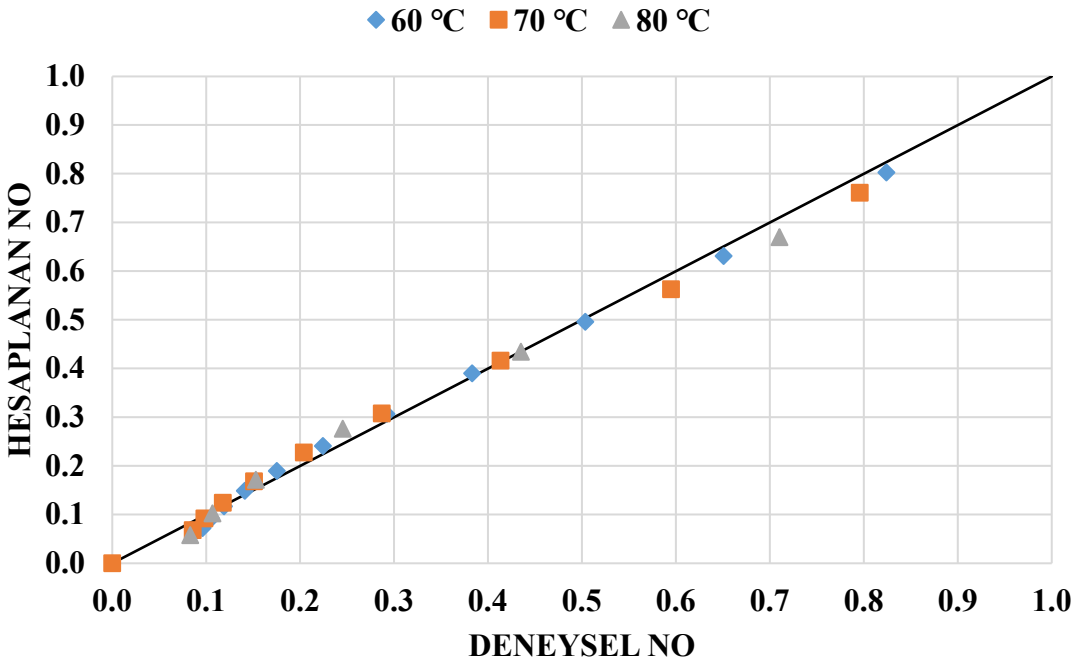
Şekil 6.30 Kızılötesi kurutucuda kurutulan çarkıfelek meyvesinin kuruma hızlarının Page modeli



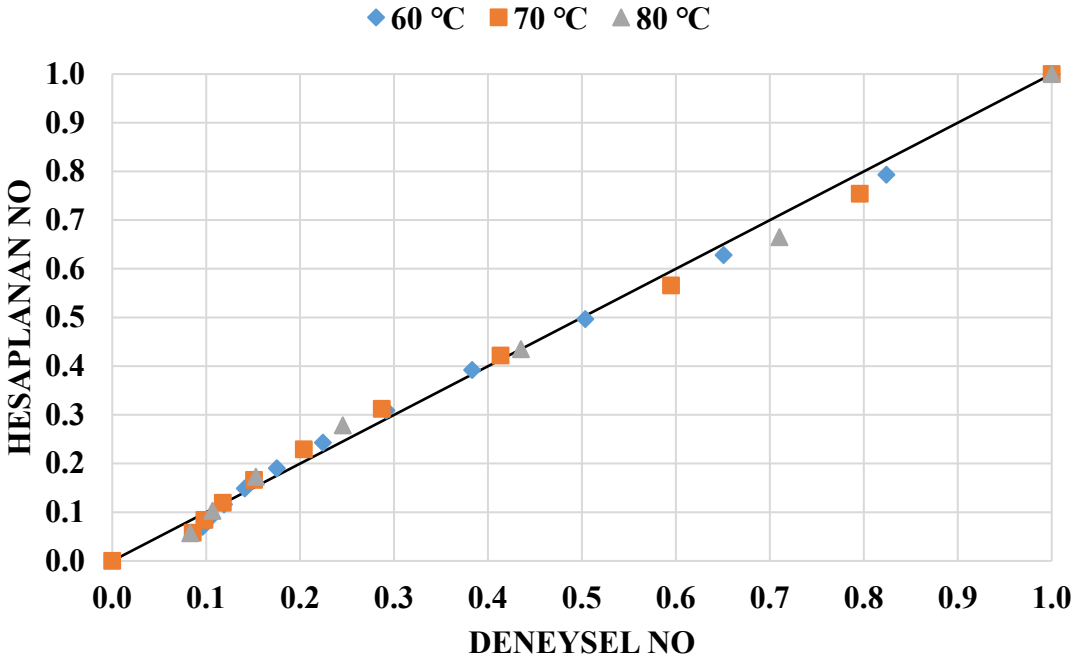
Şekil 6.31 Kızılötesi kurutucuda kurutulan çarkıfelek meyvesinin kuruma hızlarının Parabolik modeli



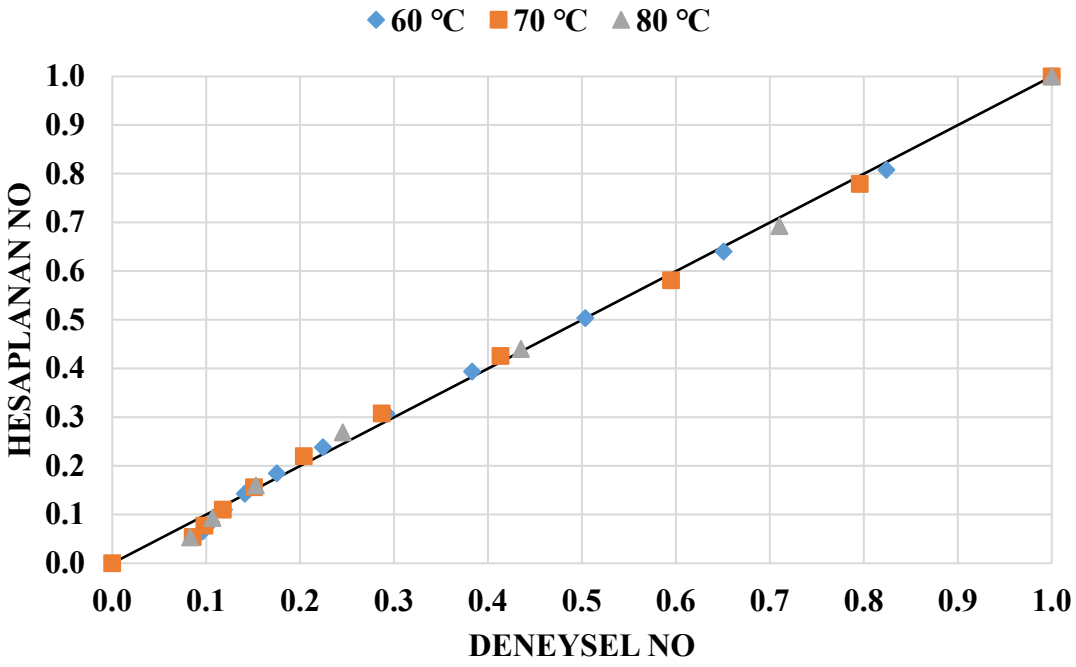
Şekil 6.32 Kızılötesi kurutucuda kurutulan çarkıfelek meyvesinin kuruma hızlarının İki Terimli Üstel modeli



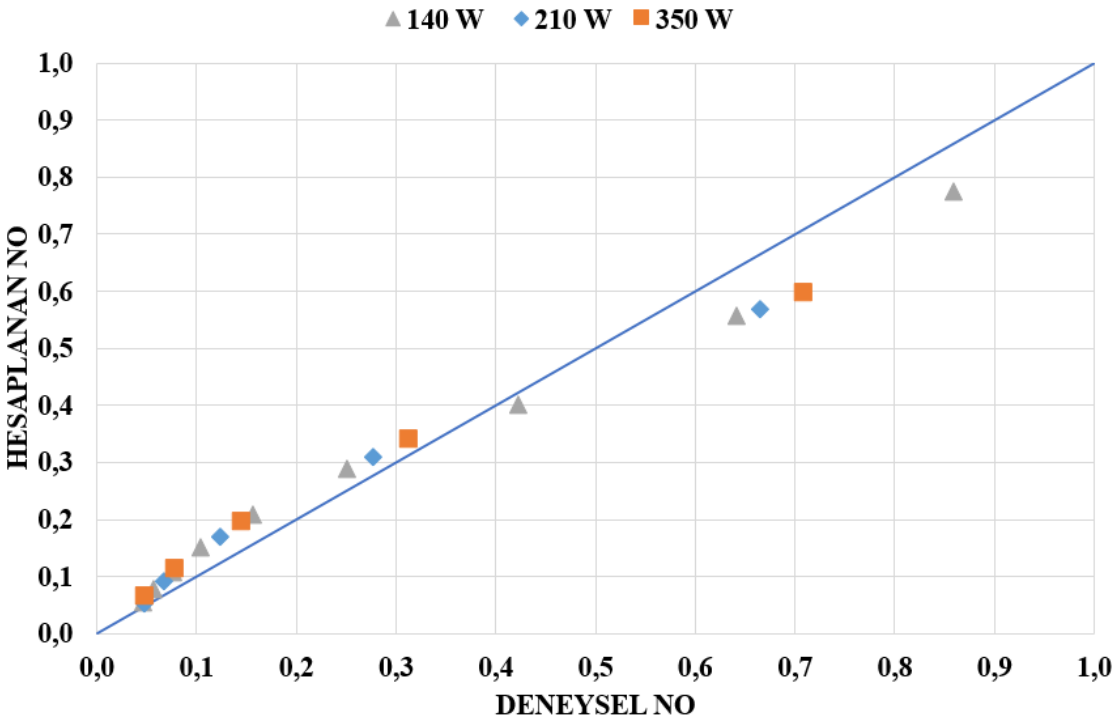
Şekil 6.33 Kızılötesi kurutucuda kurutulan çarkıfelek meyvesinin kuruma hızlarının İki Terimli modeli



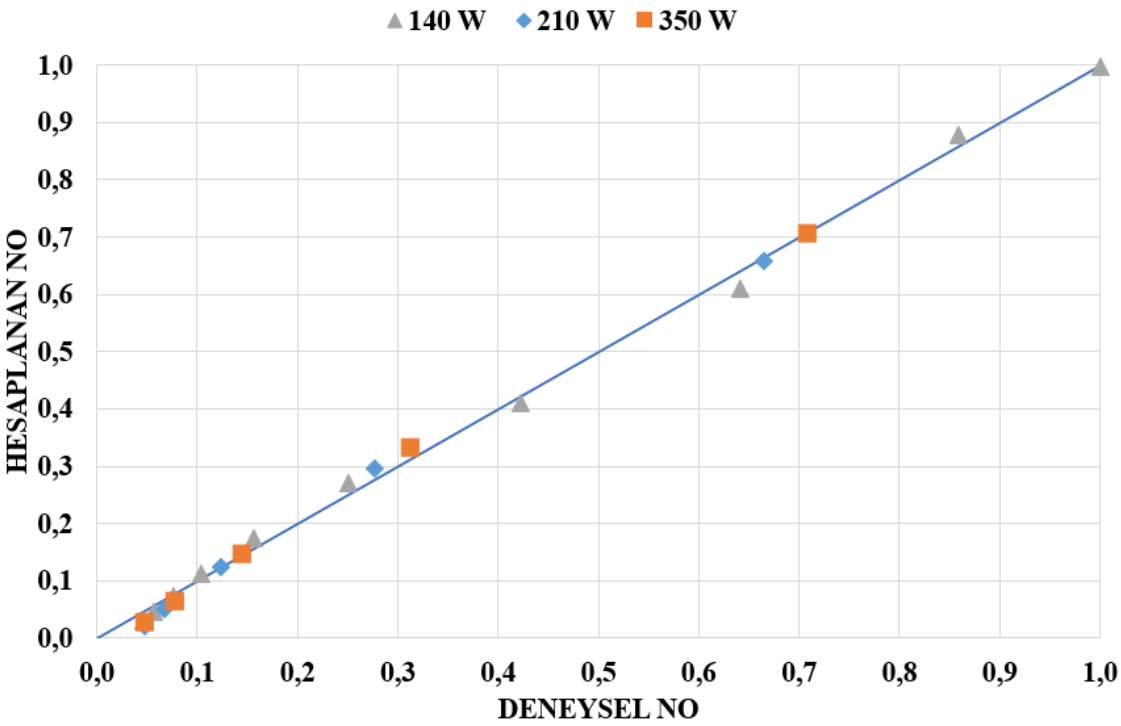
Şekil 6.34 Kızılötesi kurutucuda kurutulan çarkıfelek meyvesinin kuruma hızlarının Verma modeli



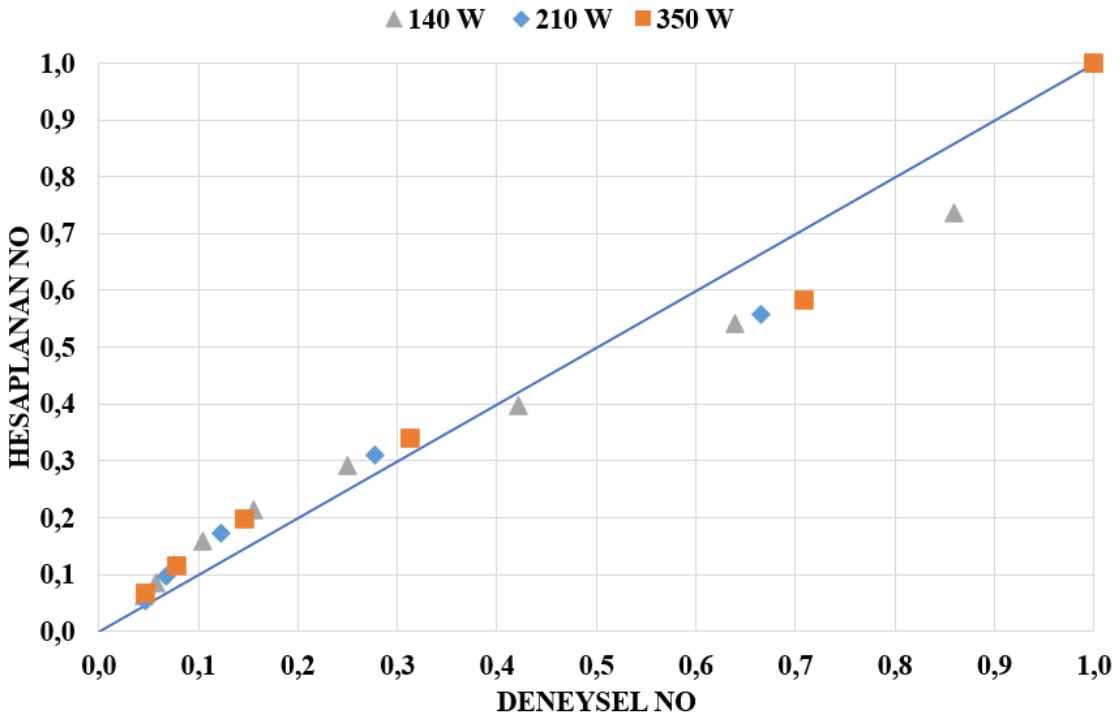
Şekil 6.35 Kızılötesi kurutucuda kurutulan çarkıfelek meyvesinin kuruma hızlarının Weibull modeli



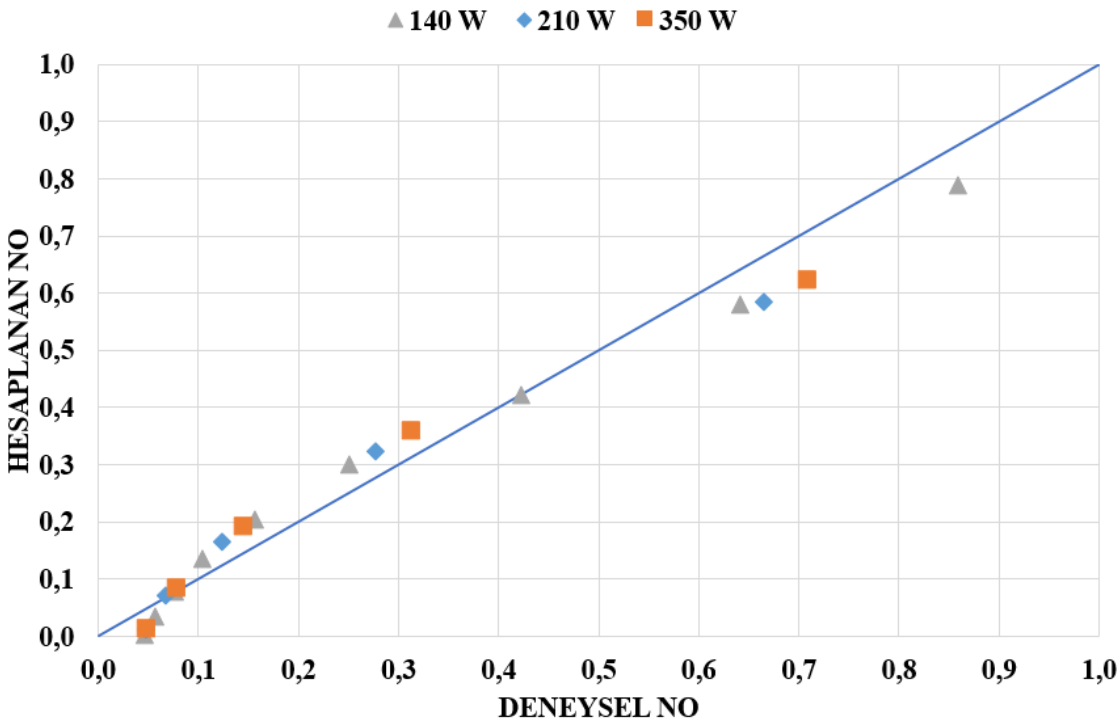
Şekil 6.36 Mikrodalga kurutucuda kurutulan çarkıfelek meyvesinin kuruma hızlarının Henderson ve Pabis modeli



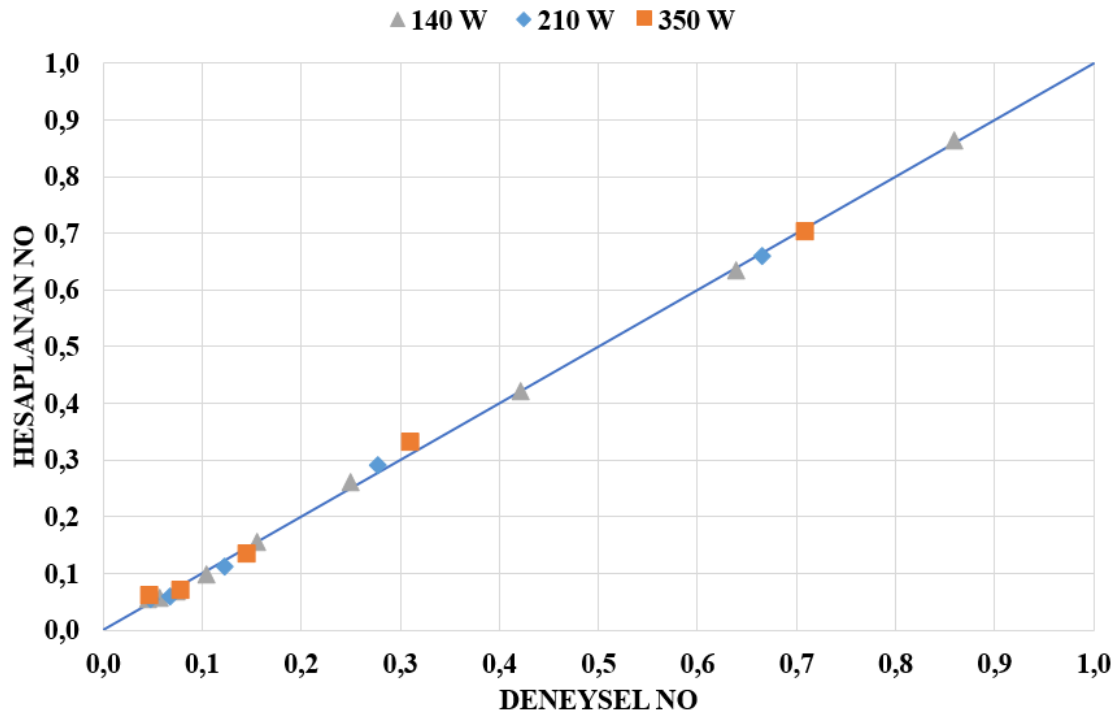
Şekil 6.37 Mikrodalga kurutucuda kurutulan çarkıfelek meyvesinin kuruma hızlarının Jena ve Das modeli



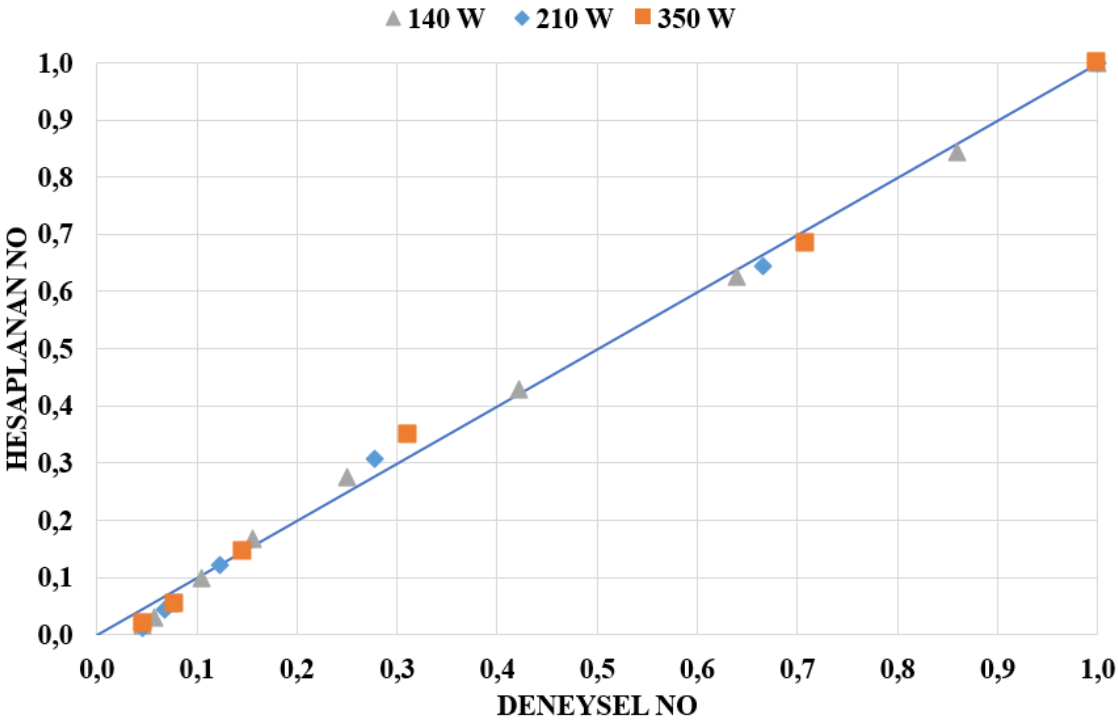
Şekil 6.38 Mikrodalga kurutucuda kurutulan çarkıfelek meyvesinin kuruma hızlarının Lewis modeli



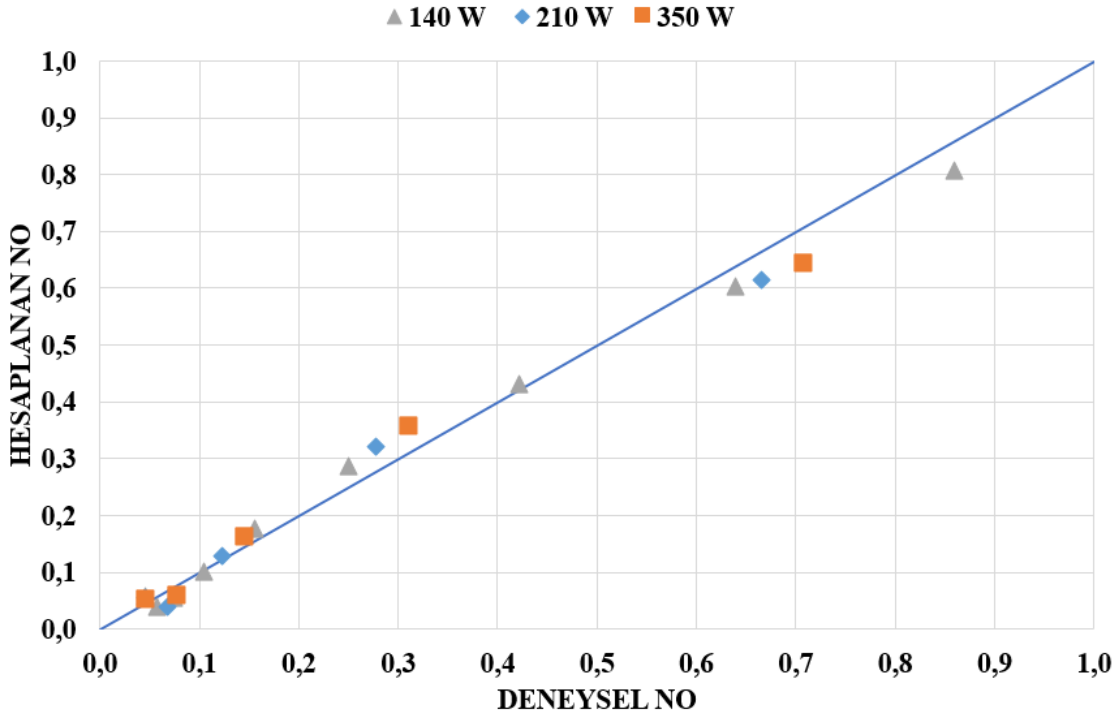
Şekil 6.39 Mikrodalga kurutucuda kurutulan çarkıfelek meyvesinin kuruma hızlarının Logaritmik modeli



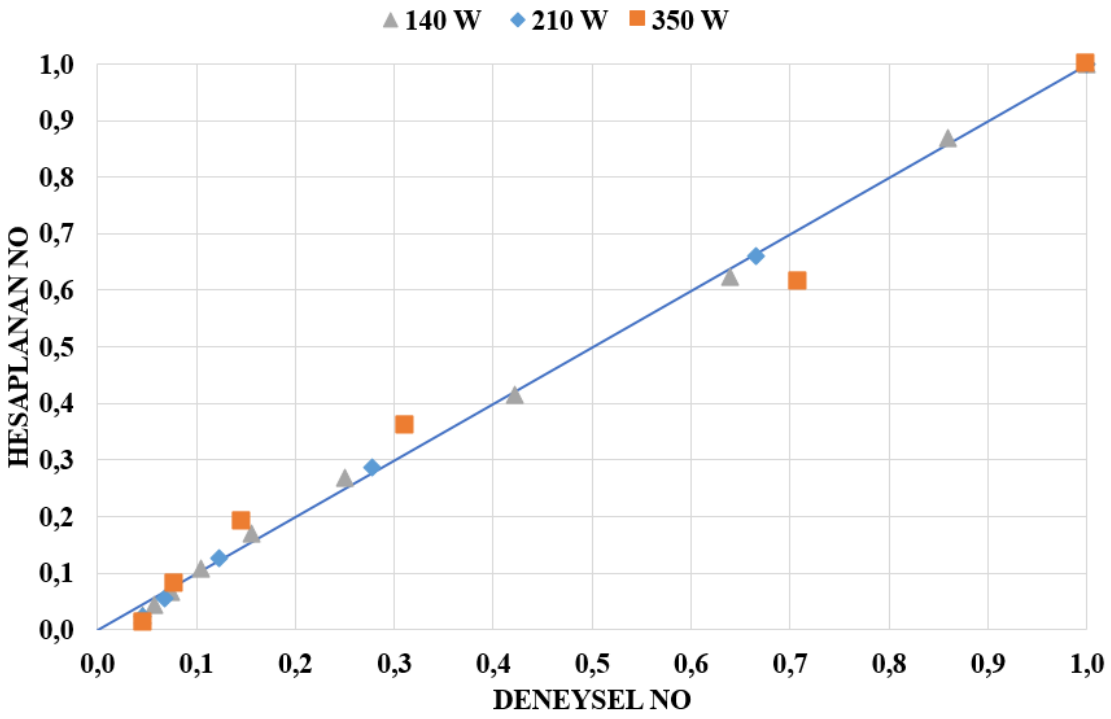
Şekil 6.40 Mikrodalga kurutucuda kurutulan çarkıfelek meyvesinin kuruma hızlarının Midilli modeli



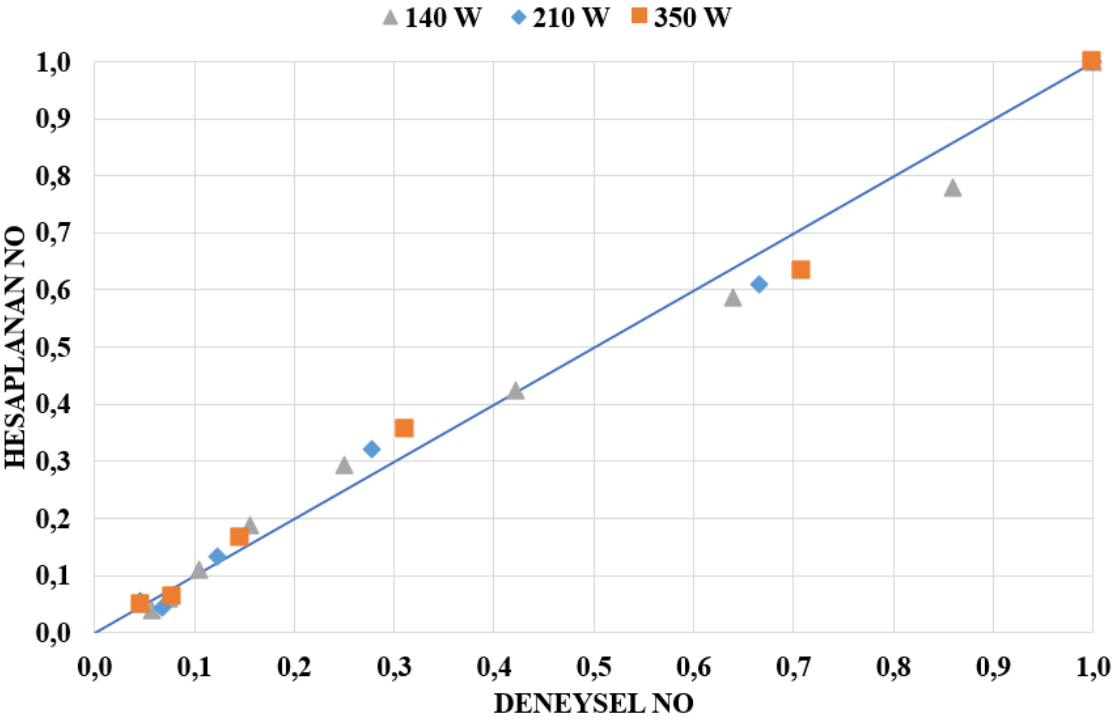
Şekil 6.41 Mikrodalga kurutucuda kurutulan çarkıfelek meyvesinin kuruma hızlarının Page modeli



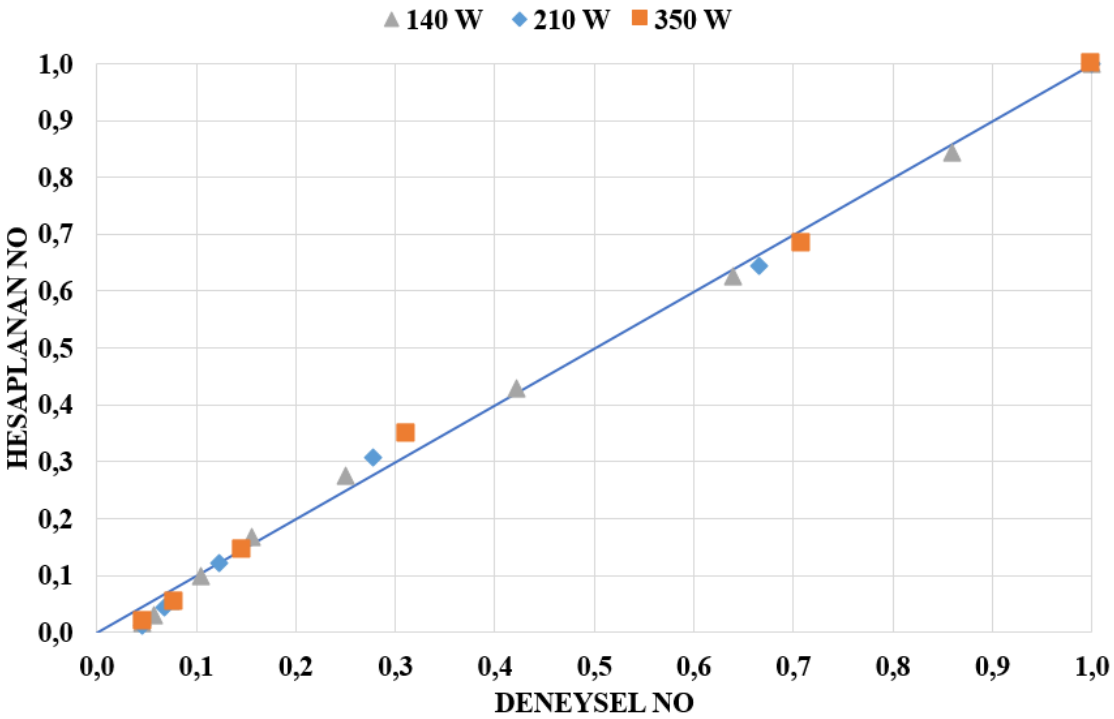
Şekil 6.42 Mikrodalga kurutucuda kurutulan çarkıfelek meyvesinin kuruma hızlarının Parabolik modeli



Şekil 6.43 Mikrodalga kurutucuda kurutulan çarkıfelek meyvesinin kuruma hızlarının Verma modeli



Şekil 6.44 Mikrodalga kurutucuda kurutulan çarkıfelek meyvesinin kuruma hızlarının Wang & Singh modeli



Şekil 6.45 Mikrodalga kurutucuda kurutulan çarkıfelek meyvesinin kuruma hızlarının Weibull modeli

KAYNAKÇA

Adeleye, S. A., Evaluation of the Convective Drying of Banana, International Research Journal of Modernization in Engineering Technology and Science, 2(8), 1017-1026, 2020.

Aghbashlo vd., Mathematical Modelling of Thin-Layer Drying of Carrot, International Agrophysics, 23(4), 2004.

Alcantara, S. R. vd., Adsorption isotherms of the dry cashew apple, Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental, 13(1), 81-87, 2009.

Alibas, I., Microwave Drying of Grapevine (Vitis vinifera L.) Leaves and Determination of Some Quality Parametres, Journal of Agricultural Sciences, 18 (1), 43-53, 2012.

Ashraf-Vonna, Z. vd., Evaluation and Characterization of Vacuum Drying of Date Paste, Journal of Agricultural Science and Technology, 14(3), 565-575, 2012.

Ayrancı, U. G. vd., Effect of Ultrasound Pre-Treatment of Drying Kinetics of Kumquat, IV. International Multidisciplinary Congress of Eurasia, Vol. 3, 21-26, 2017.

Azadbakht, M., Torshizi, M. V., Energy and Exergy Analyses in Microwave Drying of Orange Slices, Iranian Food Science and Technology Research Journal, 16(3), 1-13, 2020.

Babalis vd., Evaluation of Thin-Layer Drying Models for Describing Drying Kinetics of Figs (Ficus Carica), Journal of Food Engineering, 75(2), 205-214, 2006.

Babio vd., Adherence to the Mediterranean Diet and Risk of Metabolic Syndrome and its Components, Nutrition, Metabolism, and Cardiovascular Diseases, 19(8), 563-570, 2009.

Bailey, M. vd., The Passion Fruit in Florida, IFAS Extension, University of Florida, 2021(1)

Bai-Ngew, S. vd., Microwave vacuum-dried durian flour and its application in biscuits, Heliyon, 7(11), 2021.

Beigi, M., Energy Efficiency and Moisture Diffusivity of Apple Slices During Convective Drying, Food and Science Technology, (36), 2016.

Bernacci, L. C. vd., Passiflora Edulis Sims: The Correct Taxonomic Way to Cite the Yellow Passion Fruit (and of Others Colors), Revista Brasileira de Fruticultura, 30(2), 566-576, 2008.

Bernacci, L. vd., Passiflora Edulis Sims: The Correct Taxonomic Way to Cite the Yellow Passion Fruit (and of others colors), Revista Brasileira de Fruticultura, 30(2), 566-576, 2008.

Chandra, A. vd., Ultrasonic and osmotic pretreatments followed by convective and vacuum drying of papaya slices, Journal of the Science of Food and Agriculture, 101(6), 1-9, 2020.

Chauhan, A. vd., Optimization of pineapple drying based on energy consumption, nutrient retention, and drying time through multi-criteria decision-making, Journal of Cleaner Production, Vol. 292, 2021.

Chen, X., Majumdar, A., Drying Technologies in Food Processing, 2008.

Cheng, W., vd., A Comparative Study of Mango Solar Drying Methods by Visible and Near-Infrared Spectroscopy Coupled with ANOVA, 2019.

Dantas, D. vd., Influence of spray drying conditions on the properties of avocado powder drink, Food Chemistry, 266(15), 284-291, 2018.

Devalaraja, S. vd., Exotic Fruits as Therapeutic Complements for Diabetes, Obesity and Metabolic Syndrome, Food Research International, 44(7), 1856-1865, 2011.

Dhurve, P. vd., Drying kinetics, mass transfer parameters, and specific energy consumption analysis of watermelon seeds dried using the convective dryer, Materials Today: Proceedings, 2022.

Dilip, P., Solids Drying: Basics and Applications, Chemical Engineering -New York-Mcgraw Hill Incorporated then Chemical Week Publishing Llc, 121(4), 2014

Dincer, F., The Analysis on Wind Energy Electricity Generation Status, Potential and Policies in the World, Renewable and Sustainable Energy Reviews, 15(9), 5135-5142, 2011.

Doymaz, I., Sun drying of figs: An experimental study, Journal of Food Engineering, 71(4), 403-407, 2005.

Egas-Astudillo, L A. vd., Impact of shelf temperature on a grapefruit puree temperature evolution during freeze-drying, International Journal of Food Science & Technology, 56(1), 2020.

Farida, B., Drying of Fruits: A Mini-Review, Novel Techniques in Nutrition & Food Science, 3(5), 2019.

Gunasekaran, S., Pulsed Microwave-Vacuum Drying of Food Materials, Drying Technology, Vol. 17, 395-412, 1999.

Hanif, M. vd., Drying of grapes using a solar air heater drying of grapes using a dish type solar air heater, Journal of Agricultural Research, 2012.

Henderson, S.M. ve Pabis, S., Grain Drying Theory I. Temperature Effects on Drying Coefficient. Journal of Agricultural Engineering Research, 6, 169-174, 1961.

Henderson, S.M., Progress in Developing the Thin Layer Drying Equation, 1974

Hussein, M. S. vd., Physicochemical and Sensorial Quality of Semolina-Defatted Guava Seeds Flour Composite Pasta, Journal of American Science, 7(6), 623-629, 2011.

Izli, G. vd., Convective Drying of Kumquat Slices: Comparison of Different Drying Temperatures on Drying Kinetics, Colour, Total Phenolic Content and Antioxidant Capacity, Latin American Applied Research, 48(1), 2017.

Jena ve Das, S. Ve Das, H., Modeling for Vacuum Drying Characteristics of Coconut Presscake, Journal of Food Engineering, 79: 92–99, 2007.

Joardder, U. H., Karim, M. A., Thermal Science and Engineering Progress, Vol. 30, 2022.

Joy, P. P., Passion Fruit-Passiflora Edulis Sims: Passifloraceae, 2010

Joy, P.P., Passion Fruit (Passiflora edulis Sims): Passifloraceae. Pineapple Research Station, Affiliation: Kerala Agricultural University, 1-8, 2010.

Kaleta, A., Górnicki, K., Evaluation of Drying Models of Apple (Var. Mcıntosh) Dried in a Convective Dryer, International Journal of Food Science & Technology, 45(5), 891 – 898, 2010.

Karabulut, I. vd., Effect of Hot Air Drying and Sun Drying on Color Values and B-Carotene Content of Apricot (Prunus Armenica L.), LWT - Food Science and Technology, 40(5), 753-758, 2007.

Kipcak, A. S., "Microwave drying kinetics of mussels (Mytilus edulis)", Researchon Chemical Intermediates cn. 43(3), ss. 1429-1445, 2015.

Kipcak, A. S., Investigation of infrared drying of pomegranate by-products, Journal of Thermal Engineering, 4(2), 1821-1827, 2018.

Knight, R.J., Sauls, J.W., The Passion Fruit Fact Sheet, University of Florida, 1994.

Koc, M. vd., Drying of Fig with Microwave and Hot Air Assisted Foam-Mat Drying Method, Turkish Journal of Agriculture - Food Science and Technology, 7(2), 291-300, 2019.

Kondareddy, R. vd., Performance analysis of solar tunnel dryer with thermal storage and Photovoltaic system for drying star fruit, IOP Conference Series Earth and Environmental Science, 463(1), 2020.

Lal, A. M. vd., A Comparison Of The Refrigerated Adsorption Drying Of Daucus Carota With Fluidized Bed Drying, LWT Food Science and Technology, 154(15), 2022.

Liu, Z. vd., Improvement of drying efficiency and quality attributes of blueberries using innovative far-infrared radiation heating assisted pulsed vacuum drying (FIR-PVD), Innovative Food Science & Emerging Technologies, Vol. 77, 2022.

Macedo, L. L. vd., Intermittent microwave drying and heated air drying of fresh and isomaltulose (Palatinose) impregnated strawberry, LWT Food Science and Technology, Vol. 155, 1-11, 2022.

Malik, N. S., Bradford, J.M., Changes in Oleuropein Olives During Differentiation and Development of Floral Buds in Arbequina Olives, Scientia Horticulturae, 110(3), 274-278, 2006.

Martinez-Navarrete, N. vd, Influence of biopolymers and freeze-drying shelf temperature on the quality of a mandarin snack, LWT Food Science and Technology, Vol. 99, 57-61, 2019.

Medina, N. N. R., Herrero, J. V., Guava (Psidium guajava L.) Cultivars, Nutritional Composition of Fruit Cultivars, 2016.

Michalska, A. vd., Physicochemical Properties of Whole Fruit Plum Powders Obtained Using Different Drying Technologies, Food Chemistry, 207(15), 223-232, 2016.

Midilli vd., New Model for Single-Layer Drying Technology, 20(7), 1503–1513, 2002.

Mujaffar, S., Dadbahal, V. The Fluidized Bed Drying of Watermelon (Citrullus lanatus) Rind, 2nd Edition of Euro-Global Conference on Food Science and Technology, 2019.

Mujumdar, A. S., Drying Technology in Agriculture and Food Sciences, Drying Technology, 19(6), 1217-1218, 2007.

Nabnean, S., Nimnuan, P. Experimental performance of direct forced convection household solar dryer for drying banana, Case Studies in Thermal Engineering, Vol. 22, 2020.

Ni, J. vd., Impact of different pretreatment methods on drying characteristics and microstructure of goji berry under electrohydrodynamic (EHD) drying process, Innovative Food Science & Emerging Technologies, Vol. 61, 2020.

Nizamlioglu, N. M. vd, Chemical versus infrared spectroscopic measurements of quality attributes of sun or oven dried fruit leathers from apple, plum and apple-plum mixture, LWT Food Science and Technology, Vol. 153, 1-8, 2022.

Noshad, M., Ghasemi, P. Influence of freezing pretreatments on kinetics of convective air-drying and quality of grapes, Food Bioscience, Vol. 38, 2020.

Nowak, D., Lewicki, P. P., Infrared Drying of Apple Slices, Innovative Food Science & Emerging Technologies, 5(3), 353-360, 2004.

Ojediran, J. O. vd., Hot air convective drying of hog plum fruit (Spondias mombin): effects of physical and edible-oil-aided chemical pretreatments on drying and quality characteristics, Heliyon, 7(11), 1-14, 2021.

Onwude, D. vd., Modeling the Thin-Layer Drying of Fruits and Vegetables: A Review, Comprehensive Reviews in Food Science and Food Safety, 15(3), 599-618, 2016.

Ouaabou, R. vd., Impact of solar drying process on drying kinetics, and on bioactive profile of Moroccan sweet cherry, Renewable Energy, Vol. 151, 908-918, 2020.

Ozgen, F., Celik, N., Evaluation of Design Parameters on Drying of Kiwi Fruit, Applied Sciences, 9(1):10, 2018.

Page, C., Factors Influencing the Maximum Rates of Air-Drying of Shelled Corn in Thin Layer. Unpublished M.S. Thesis, 1949.

Pandey, D. K. vd., Effect of Pretreatments on Air Drying of Papaya Cubes, International Journal of Food Engineering, 4(5), 2008.

Parvin, M. vd., Solar Conduction Dryer for Drying of Fruit and Vegetables in Bangladesh, Journal of Food Processing and Preservation, 45(12), 2021.

Patel, S. S. Morphology and Pharmacology of Passiflora Edulis: A Review, Journal of Herbal Medicine and Toxicology, 3(1), 1-6, 2009

Patel, S. S., Morphology and Pharmacology of Passiflora Edulis: A Review, Journal of Herbal Medicine and Toxicology, 3(1), 1-6, 2009.

Peleg, M., Assessment of a Semi-Empirical Four Parametre General Model for Sigmoid Moisture Sorption Isotherms, Journal of Food Process Engineering (16), 21-37, 1993.

Polat, A., Izli, N. Drying characteristics and quality evaluation of 'Ankara' pear dried by electrohydrodynamic-hot air (EHD) method, Food Control, Vol. 134, 2022.

Przybyl, K. vd., Artificial neural networks in the evaluation of the influence of the type and content of carrier on selected quality parameters of spray dried raspberry powders, Measurement, Vol. 186, 2021.

Qiao, F. vd., A study on microwave vacuum dried re-structured lychee (Litchi chinensis Sonn.) mixed with purple sweet potato (Ipomoea batatas) snacks, Food and Bioproducts Processing, 90(4), 653-658, 2012.

Queiroz, V. A. vd., Osmotic dehydration and convective drying of guava, Pesquisa Agropecuária Brasileira, Vol. 42, 1479-1486, 2007.

Radjabov, M. vd., Study of the Influence of Ultrasound in the Process of Osmotic Drying of Melon, Acta Scientific Nutritional Health, 5(1), 2021.

Rahman, M.S., Perera, C. and Thebaud, C. (1998) Desorption Isotherm and Heat Pump Drying Kinetics of Peas. Journal of food research International, 30, 485-491.

Raj, B., Kumar Dash, K., Heat transfer analysis of convective and microwave drying of dragon fruit, Journal of Food Process Engineering, 44(7), 1-14, 2021.

Reyes, A. vd., Freeze-Drying of Soymilk, International Journal of Food and Biosystems Engineering, 2(1), 66-72, 2017.

S.Debnath,M. M. Kumar, T. S. ChandraveK. Prasad, K. "Evaluation of Physical Properties and Hydration Kinetics of Red Lentil (Lens culinaris) at Different Processed Levels and Soaking Temperatures", Journal of Saudi Society of Agricultural Sciences cn.17, 2018.

Senapati, A. vd., Fluidized Bed Drying of Food: A Review, E-Planet, 19(1), 25-30, 2021.

Sharkhel, S. vd., Comparison of drying characteristics and quality of tender mulberry leaves (Morus alba) using five different drying methods, Journal of Medicinal Plants Studies, 10(1), 30-35, 2022.

Sharma, G. P. vd., Thin – Layer Infrared Radiation Drying of Onion Slices, Journal of Food Engineering, 67(3), 361-366, 2005.

Sharma, G.P., Prasad, S., Effective Moisture Diffusivity of Garlic Cloves Undergoing Microwave-Convective Drying, Journal of Food Engineering, 65(4), 609-617, 2004.

Silva, G. S., Souza, M. M., Origin of the Cultivated Passion Fruit Passiflora Edulis F. Flavicarpa and Genomic Relationships Among Species of the Subgenera Decaloba and Passiflora, Plant Biology, 22(3), 533-540, 2020.

Singh, G. vd., The Guava, Central Institute for Subtropical Horticulture, 2003

Singh, S. vd., Analysis of mango drying methods and effect of blanching process based on energy consumption, drying time using multi-criteria decision-making, Cleaner Engineering and Technology, Vol. 8, 1-13, 2022.

Sozzi, A. vd., Fluidized bed drying of blackberry wastes: Drying kinetics, particle characterization and nutritional value of the obtained granular solids, Powder Technology, Vol. 385, 37-49, 2021.

Spencer, K.C., Seigler, D.S., Cyanogenesis of Passiflora Edulis, Journal of Agricultural and Food Chemistry, 31(4), 794-796, 1983

Taiwe, G. S., Kuete, V., Passiflora Edulis, Medicinal Spices and Vegetables from Africa, Chapter 24, ss. 513-526, 2017

Toğrul, İ. Pehlivan, D., Modelling of Drying Kinetics of Single Apricot, Journal of Food Engineering, 58(1), 23-32, 2003.

Toğrul, İ. Pehlivan, D., Modelling of Thin Layer Drying Kinetics of Some Fruits Under Open-Air Sun Drying Process, Journal of Food Engineering, 65(3), 413-425, 2004.

Upadhyay, R., Singh, R. B., Guava Enriched Functional Foods, The Role of Functional Food Security in Global Health, 2009.

Verma vd., Effects of Drying Air Parametres on Rice Drying Models, American Society of Agricultural and Biological Engineers, 28(1), 296-301, 1985.

Viuda-Martos, M. vd., Passion Fruit, Nutritional Composition and Antioxidant Properties of Fruits and Vegetables, ss. 581-594, 2020

Waghmare, R. vd., Recent Developments in Freeze Drying of Foods, Reference Module in Food Science, Vol. 3, 82-99, 2021.

Wang C. Y., Singh R. P., A Single Layer Drying Equation for Rough Rice, 1978.

Wang, B. vd., Influence of the process parameters on the energy conservation and quality of the kiwi fruit subjected to vacuum freeze-drying, Case Studies in Thermal Engineering, Vol. 33, 1-15, 2022.

Wang, J, Sheng, K., Far-infrared and microwave drying of peach, Lebensmittel-Wissenschaft und-Technologie, 39(3), 247-255, 2006.

Wutthigarn, P. vd., Modeling of hot air drying of coconut residue, MATEC Web of Conferences, 192, 2018.

Xanthopoulos, G. vd., Study of the Drying Rate and Colour Kinetics during Stepwise Air-Drying of Apricot Halves, International Journal of Food Engineering, 15(5-6), 2019.

Xu, M. vd., Infrared Drying as a Quick Preparation Method for Dried Tangerine Peel, International Journal of Analytical Chemistry, 2017(4), 2017.

Yagcioglu A., Degirmencioglu A. & Cagatay F., Drying Characteristics of Laurel Leaves Under Different Drying Conditions, Proceedings of the 7th International Congress on Agricultural Mechanization and Energy, 565–569, 26–27 May, Adana, Turkey, 1999.

Yagcioglu, A., Drying Technique of Agricultural Products, Ege University Faculty of Agriculture Publications, 1999

Zartha, J. W. vd., Infrared Drying Trends Applied to Fruit, Frontiers in Sustainable Food Systems, Volume 5, 2021

Zhang, M. vd., Trends in Microwave-Related Drying of Fruits and Vegetables, Trends in Food Science&Technology, 17(10), 524-534, 2006.

Zhou, Y. vd., Microwave-vacuum-assisted drying of pretreated cranberries: Drying kinetics, bioactive compounds and antioxidant activity, LWT Food Science and Technology, Vol. 146, 2021.

Zibadi, S., Watson, R. R., Passion Fruit (Passiflora Edulis), Evidence-Based Integrative Medicine, 1, 183-187, 2004.

Zibadi, S., Watson, R.R., Passion Fruit (Passiflora edulis), Evidence Based Integrative Medicine, (1), 183-187, 2004.

[1] https://www.stylecraze.com/articles/benefits-of-passion-fruit-for-skin-hair-and-health/

[2] https://best-remedies.com/article-detail/guava

[3] Prof. Dr. Hüseyin Gençcelep, Ondokuz Mayıs Üniversitesi, Gıda Mühendisliğinde Temel İşlemler Ders Notları, 11. Hafta

[4] https://medium.com/@brianfallen97/using-a-microwave-shouldnt-be-this-confusing-5f56700119a5

[5] http://www.cagaokuldonanim.com/etuv-nedir/

[6] http://www.trytetc.com/index.php?case=archive&act=show&aid=899

[7] https://www.indiamart.com/proddetail/eco-solar-dryer-with-fan-22461222897.html

[8] https://www.indiamart.com/proddetail/fluid-bed-dryer-16033348091.html

[9] https://www.tetrapak.com/tr-tr/solutions/processing/main-technology-area/spray-drying

[10] https://turkish.alibaba.com/product-detail/Industrial-Fruit-Tray-Dryer-Professional-India-62443214958.html

[11] https://vmindustriesindia.com/vacuum-tray-dryer/

[12] https://turatti.com/en/product/drying-tunnel/

[13] https://claytech.com.tr/language/tr/doner-kurutucu/

[13] https://www.indiamart.com/proddetail/rotary-drum-dryer-7052563888.html

TEZDEN ÜRETİLMİŞ YAYINLAR

Konferans Bildirileri

1. Ata, P., Ozyalcin, Z. O., Kipcak, A. S., "Mikrodalga Yöntemiyle Kurutulan Çarkıfelek Meyvesinin Matematiksel Modellemesi", 2. Uluslararası Mühendislik ve Doğa Bilimleri Kongresi, Ankara, 2022, ss. 424 – 435.