T.C.

YILDIZ TEKNİK ÜNİVERSİTESİ

FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

ÇEŞİTLİ EGZOTİK MEYVELERİN LİYOFİLİZASYON YÖNTEMİ İLE KURUTULMASI VE KALİTE PARAMETRELERİNİN İNCELENMESİ

Dilek OTAL ŞENOL

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Kimya Mühendisliği Anabilim Dalı

Kimya Mühendisliği Programı

Danışman

Prof. Dr. Azmi Seyhun KIPÇAK

Mart, 2024

T.C.

YILDIZ TEKNİK ÜNİVERSİTESİ

FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

ÇEŞİTLİ EGZOTİK MEYVELERİN LİYOFİLİZASYON YÖNTEMİ İLE KURUTULMASI VE KALİTE PARAMETRELERİNİN İNCELENMESİ

Dilek OTAL ŞENOL tarafından hazırlanan tez çalışması 07.03.2024 tarihinde aşağıdaki jüri tarafından Yıldız Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Kimya Mühendisliği Anabilim Dalı, Kimya Mühendisliği Programı **YÜKSEK LİSANS TEZİ** olarak kabul edilmiştir.

Prof. Dr. Azmi Seyhun KIPÇAK
Yıldız Teknik Üniversitesi
Danışman

Jüri Üyeleri

Prof. Dr. Azmi Seyhun KIPÇAK Danışman

Yıldız Teknik Üniversitesi _____

Prof. Dr. Emek DERUN, Üye

Yıldız Teknik Üniversitesi _____

Doç. Dr. Fatma Tuğçe ŞENBERBER DUMANLI, Üye

Nişantaşı Üniversitesi _____

Danışmanım Prof. Dr. Azmi Seyhun KIPÇAK sorumluluğunda tarafımca hazırlanan “ Çeşitli Egzotik Meyvelerin Liyofilizasyon Yöntemi İle Kurutulması ve Kalite Parametrelerinin 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.

Dilek OTAL ŞENOL

Bu çalışma, Yıldız Teknik Üniversitesi Bilimsel Araştırma Proje Koordinatörlüğü'nün FHD-2023-5569 numaralı projesi ile desteklenmiştir.

Anneciğime

ve

canım eşime

TEŞEKKÜR

Öncelikle “Çeşitli Egzotik Meyvelerin Liyofilizasyon Yöntemi ile Kurutulması Ve Kalite Parametrelerinin İncelenmesi” başlıklı tezimde bana danışmanlık yapan saygıdeğer Prof. Dr. Azmi Seyhun KIPÇAK’ a çalışmalarım boyunca anlayışını ve desteğini benden asla esirgemediği için, vazgeçmeme asla müsaade etmediği için ve her zaman yolumu bulmama yardımcı olduğu için en büyük teşekkürü borç bilirim.

Değerli Arş. Gör. Zehra Özden ÖZYALÇIN’ a hem deneysel çalışmalarımda hem de yayın ve tezimin hazırlanması sürecinde gösterdiği destek ve yardımları için teşekkür ederim.

Çok sevgili ailem ve arkadaşlarıma yanlarında olamadığım zamanlarda bana anlayış gösterdikleri için en içten teşekkürlerimi iletirim. Sevgili arkadaşım Melis ARAS’a bana bu süreçte gösterdiği tüm desteklerden dolayı teşekkür ederim.

Canım anneciğim Halise OTAL’ a yokluğunda bile yoluma her zaman ışık olduğu için; sevgisini, değerlerini, fikirlerini ve yaşama dair bitmeyen umudunu benimle paylaştığı için sonsuz teşekkür ederim.

Son olarak bu uzun yolda bana en başından beri hayal edebileceğimden çok daha fazla destek olan, bana sonuna kadar inanan, bunu başarabilmem için her türlü fedakarlığı düşünmeden yapan canım eşim Tunahan ŞENOL’ a kalpten teşekkürlerimi sunarım.

Dilek OTAL ŞENOL

İÇİNDEKİLER

TEŞEKKÜR **v**
İÇİNDEKİLER **vi**
SİMGE LİSTESİ **viii**
KISALTMA LİSTESİ **ix**
ŞEKİL LİSTESİ **x**
TABLO LİSTESİ **xiii**
ÖZET **xiv**
ABSTRACT **xvi**
1 GİRİŞ **1**
1.1 Literatür Özeti 1
1.2 Tezin Amacı 7
1.3 Orijinal Katkı 10
2 EGZOTİK MEYVELER **11**
2.1 Kamkat 11
2.2 Mangosten 13
3 KURUTMA **16**
3.1 Mikrodalga Kurutma 18
3.2 Etüv Kurutma 20
3.3 Güneşte Kurutma 21
3.4 Akışkan Yataklı Kurutucu 22
3.5 Sprey Kurutucu 23
3.6 Tepsili Kurutucu 24
3.7 Vakum Kurutucu 24
3.8 Sürekli Tünel Kurutucu 25
3.9 Döner Kurutucu 26
3.10 Tamburlu Kurutucu 27
3.11 Kızılötesi Kurutma 28
3.12 Dondurarak Kurutma 28
4 DENEYSEL ÇALIŞMALAR **32**
4.1 Hammadde Temini ve Numune Hazırlama 32
4.2 Ön İşlem Uygulamaları 32
4.3 Nem Tayini 35
4.4 Dondurarak Kurutma 37

4.5 Fenolik Analiz 39
4.6 Renk Ölçümleri 41
4.7 Rehidrasyon Kapasitesi Ölçümü 44
4.8 Kurutma Kinetiği Hesaplamaları 45
4.9 Matematiksel Modelleme ve İstatiksel Veri Analizi 46
4.10 Efektif Nem Difüzyon Katsayısı Hesaplamaları 48
5 DENEYSEL SONUÇLAR VE TARTIŞMA **49**
5.1 Fenolik Analiz Sonuçları 49
5.2 Renk Ölçüm Sonuçları 50
5.3 Rehidrasyon Kapasitesi Sonuçları 53
5.4 Dondurarak Kurutucuda Kurutulan Kamkat Meyvesi İçin Kurutma Eğrileri 55
5.5 Dondurarak Kurutucuda Kurutulan Kamkat Meyvesi İçin Efektif Difüzyon Katsayıları 56
5.6 Dondurarak Kurutucuda Kurutulan Kamkat Meyvesi İçin Matematiksel Modelleme Sonuçları 58
5.7 Dondurarak Kurutucuda Kurutulan Mangosten Meyvesi İçin Kurutma Eğrileri 64
5.8 Dondurarak Kurutucuda Kurutulan Mangosten Meyvesi İçin Efektif Difüzyon Katsayıları 66
5.9 Dondurarak Kurutucuda Kurutulan Mangosten Meyvesi İçin Matematiksel Modelleme Sonuçları 68
6 SONUÇ **74**
KAYNAKÇA **77**
A MODEL GRAFİKLERİ **84**
TEZDEN ÜRETİLMİŞ YAYINLAR **97**

SİMGE LİSTESİ

χ^2	Azaltılmış ki-kare
°C	Celsius
D_{eff}	Efektif difüzyon katsayısı
µm	Mikrometre
k_1	Peleg hız sabiti
k_2	Peleg kapasite sabiti
R^2	Regresyon katsayısı
T	Sıcaklık
R	Uluslararası gaz sabiti
L	Yarı kalınlık
%	Yüzde
t	Zaman
W	Watt

KISALTMA LİSTESİ

ASK	Askorbik Asit
atm	Atmosfer
BI	Esmerleşme İndeksi
CIE	Commission Internationale de l'Éclairages
dk	Dakika
GAE	Gallik asit eşdeğeri
GHz	Gigaherts
VIS	Görünür
g	Gram
Hz	Hertz
J	Joule
kJ	Kilojoule
kg	Kilogram
MHz	Megahertz
m	Metre
mg	Miligram
ml	Mililitre
nm	Nanometre
N	Newton
Pa	Pascal
s	Saniye
SEM	Taramalı elektron mikroskobu
TFC	Toplam fenol içeriği
TPC	Toplam polifenol içeriği
US	Ultra ses
UV	Ultraviyole

ŞEKİL LİSTESİ

Şekil 2.1 Kamkat meyvesi **12**

Şekil 2.2 Mangosten meyvesi **13**

Şekil 3.1 Ürün nem içeriğinin kurutma süresi ile değişimi **16**

Şekil 3.2 Kurutma hızının kurutma süresi ile değişimi **17**

Şekil 3.3 Kurutma hızının kurutma süresi ile değişimi **17**

Şekil 3.4 Mikrodalga kurutma cihazı **19**

Şekil 3.5 Etüv kurutma **20**

Şekil 3.6 Güneşte kurutma **21**

Şekil 3.7 Sprey kurutma **23**

Şekil 3.8 Tepsili kurutma cihazı **24**

Şekil 3.9 Döner kurutucu **26**

Şekil 3.10 Liyofilizatör **29**

Şekil 4.1 Çalışmaya hazırlanan mangosten ve kamkat meyveleri **32**

Şekil 4.2 Askorbik asit ön işlemi **33**

Şekil 4.3 Ultrases ön işlemi **33**

Şekil 4.4 Askorbik asit ön işlemi sonrası kamkat (a,b) ve mangosten (c,d) numuneleri **34**

Şekil 4.5 Ultrases ön işlemi sonrası kamkat (a,b) ve mangsten (c,d) numuneleri **34**

Şekil 4.6 Radwag AS 220.R2 dijital terazi (Radwag, Radom, Polonya) **35**

Şekil 4.7 Etüv sonrası kamkat numuneleri **36**

Şekil 4.8 Etüv sonrası mangosten numuneleri **37**

Şekil 4.9 Dondurarak kurutma öncesi dondurucudan çıkarılan numuneler **37**

Şekil 4.10 Dondurarak kurutucudaki numuneler **38**

Şekil 4.11 Dondurarak kurutma işlemi ardından numuneler **38**

Şekil 4.12 Dondurarak kurutma işlemi ardından vakum ile paketlenmiş numuneler **39**

Şekil 4.13 Fenolik analiz için hazırlanan ekstratlar **40**

Şekil 4.14 Farklı konsantrasyonlarda gallik asit çözeltileri **41**

Şekil 4.15 Gallik asit standard eğrisi **41**

Şekil 4.16 Üç boyutlu renk dağılım grafiği **43**

Şekil 4.17 Kolorimetre ile renk ölçüm işlemi **44**

Şekil 4.18 Rehidrasyon kapasitesi ölçümü esnasında mangosten numuneleri **45**

Şekil 4.19 Rehidrasyon kapasitesi ölçümü esnasında kamkat numuneleri **45**

Şekil 5.1 Kamkat numuneleri için rehidrasyon eğrileri **53**

Şekil 5.2 Mangosten numuneleri için rehidrasyon eğrileri **54**

Şekil 5.3 Kamkat numuneleri için zamana bağlı nem miktarı grafiği **55**

Şekil 5.4 Kamkat numuneleri için nem miktarı – kuruma hızı grafiği **56**

Şekil 5.5 Kamkat numunelerine ait efektif nem difüzyon eğrileri **57**

Şekil 5.6 Kamkat numuneleri için D_{eff} değerleri **58**

Şekil 5.7 Dondurarak kurutucuda kurutulmuş kamkat numuneleri için deneysel ve Alibas modeli ile hesaplanan kurutma hızları **63**

Şekil 5.8 Dondurarak kurutucuda kurutulmuş kamkat numuneleri için deneysel ve Midilli vd. modeli ile hesaplanan kurutma hızları **63**

Şekil 5.9 Dondurarak kurutucuda kurutulmuş kamkat numuneleri için deneysel ve İki Terimli model ile hesaplanan kurutma hızları **64**

Şekil 5.10 Mangosten numuneleri için zamana bağlı nem miktarı grafiği **65**

Şekil 5.11 Mangosten numuneleri için nem miktarı – kuruma hızı grafiği **66**

Şekil 5.12 Mangosten numunelerine ait efektif nem difüzyon eğrileri **67**

Şekil 5.13 Mangosten numuneleri için D_{eff} değerleri **68**

Şekil 5.14 Dondurarak kurutucuda kurutulmuş mangosten numuneleri için deneysel ve Alibas modeli ile hesaplanan kurutma hızları **72**

Şekil 5.15 Dondurarak kurutucuda kurutulmuş mangosten numuneleri için deneysel ve Midilli vd. modeli ile hesaplanan kurutma hızları **73**

Şekil 5.16 Dondurarak kurutucuda kurutulmuş mangosten numuneleri için deneysel ve Aghbaslo vd. modeli ile hesaplanan kurutma hızları **73**

Şekil A.1 Dondurarak kurutucuda kurutulmuş kamkat numuneleri için deneysel ve Aghbaslo vd. modeli ile hesaplanan kurutma hızları **84**

Şekil A.2 Dondurarak kurutucuda kurutulmuş kamkat numuneleri için deneysel ve Henderson modeli ile hesaplanan kurutma hızları **84**

Şekil A.3 Dondurarak kurutucuda kurutulmuş kamkat numuneleri için deneysel ve Jena ve Das modeli ile hesaplanan kurutma hızları **85**

Şekil A.4 Dondurarak kurutucuda kurutulmuş kamkat numuneleri için deneysel ve Lewis modeli ile hesaplanan kurutma hızları **85**

Şekil A.5 Dondurarak kurutucuda kurutulmuş kamkat numuneleri için deneysel ve Logaritmik model ile hesaplanan kurutma hızları **86**

Şekil A.6 Dondurarak kurutucuda kurutulmuş kamkat numuneleri için deneysel ve Page modeli ile hesaplanan kurutma hızları **86**

Şekil A.7 Dondurarak kurutucuda kurutulmuş kamkat numuneleri için deneysel ve Parabolik model ile hesaplanan kurutma hızları **87**

Şekil A.8 Dondurarak kurutucuda kurutulmuş kamkat numuneleri için deneysel ve Verma modeli ile hesaplanan kurutma hızları **87**

Şekil A.9 Dondurarak kurutucuda kurutulmuş kamkat numuneleri için deneysel ve Wang modeli ile hesaplanan kurutma hızları **88**

Şekil A.10 Dondurarak kurutucuda kurutulmuş kamkat numuneleri için deneysel ve Weibull modeli ile hesaplanan kurutma hızları.....**88**

Şekil A.11 Dondurarak kurutucuda kurutulmuş kamkat numuneleri için deneysel ve Peleg modeli ile hesaplanan kurutma hızları **89**

Şekil A.12 Dondurarak kurutucuda kurutulmuş kamkat numuneleri için deneysel ve İki Terimli Üstel model ile hesaplanan kurutma hızları.....**89**

Şekil A.13 Dondurarak kurutucuda kurutulmuş kamkat numuneleri için deneysel ve İki Terimli model ile hesaplanan kurutma hızları **90**

Şekil A.14 Dondurarak kurutucuda kurutulmuş mangosten numuneleri için deneysel ve Aghbashlo vd. modeli ile hesaplanan kurutma hızları **90**

Şekil A.15 Dondurarak kurutucuda kurutulmuş mangosten numuneleri için deneysel ve Henderson modeli ile hesaplanan kurutma hızları **91**

Şekil A.16 Dondurarak kurutucuda kurutulmuş mangosten numuneleri için deneysel ve Jena ve Das modeli ile hesaplanan kurutma hızları **91**

Şekil A.17 Dondurarak kurutucuda kurutulmuş mangosten numuneleri için deneysel ve Lewis modeli ile hesaplanan kurutma hızları.....**92**

Şekil A.18 Dondurarak kurutucuda kurutulmuş mangosten numuneleri için deneysel ve Logaritmik model ile hesaplanan kurutma hızları.....**92**

Şekil A.19 Dondurarak kurutucuda kurutulmuş mangosten numuneleri için deneysel ve Page modeli ile hesaplanan kurutma hızları.....**93**

Şekil A.20 Dondurarak kurutucuda kurutulmuş mangosten numuneleri için deneysel ve Parabolik model ile hesaplanan kurutma hızları **93**

Şekil A.21 Dondurarak kurutucuda kurutulmuş mangosten numuneleri için deneysel ve Verma modeli ile hesaplanan kurutma hızları.....**94**

Şekil A.22 Dondurarak kurutucuda kurutulmuş mangosten numuneleri için deneysel ve Wang modeli ile hesaplanan kurutma hızları.....**94**

Şekil A.23 Dondurarak kurutucuda kurutulmuş mangosten numuneleri için deneysel ve Weibull modeli ile hesaplanan kurutma hızları.....**95**

Şekil A.24 Dondurarak kurutucuda kurutulmuş mangosten numuneleri için deneysel ve Peleg modeli ile hesaplanan kurutma hızları.....**95**

Şekil A.25 Dondurarak kurutucuda kurutulmuş mangosten numuneleri için deneysel ve İki Terimli Üstel model ile hesaplanan kurutma hızları..**96**

TABLO LİSTESİ

Tablo 4.1 Ölçülen nem değerleri **36**

Tablo 4.2 Literatürde sıkça kullanılan kurutma modelleri **47**

Tablo 5.1 GAE/100 g kuru madde cinsinden fenolik analiz sonuçları **49**

Tablo 5.2 GAE/100 g kuru madde cinsinden fenolik analiz sonuçları **50**

Tablo 5.3 Kamkat numuneleri için renk ölçümü değerleri **50**

Tablo 5.4 Taze numuneler ile dondurarak kurutulmuş numuneler arasında gerçekleşen toplam renk değişimleri **51**

Tablo 5.5 Mangosten numuneleri için renk ölçümü değerleri **52**

Tablo 5.6 Mangosten numuneleri için toplam renk değişimi değerleri **53**

Tablo 5.7 Kamkat numuneleri için D_{eff} değerleri **57**

Tablo 5.8 Kamkat numuneleri için elde edilen matematiksel model sabitleri ve istatistiksel parametreler **59**

Tablo 5.9 Kamkat numuneleri için elde edilen matematiksel model sabitleri ve istatistiksel parametreler (devamı) **60**

Tablo 5.10 Kamkat numuneleri için elde edilen matematiksel model sabitleri ve istatistiksel parametreler (devamı) **61**

Tablo 5.11 Kamkat numuneleri için elde edilen matematiksel model sabitleri ve istatistiksel parametreler (devamı) **62**

Tablo 5.12 Mangosten numuneleri için D_{eff} değerleri **67**

Tablo 5.13 Mangosten numuneleri için elde edilen matematiksel model sabitleri ve istatistiksel parametreler **69**

Tablo 5.14 Mangosten numuneleri için elde edilen matematiksel model sabitleri ve istatistiksel parametreler (devamı) **70**

Tablo 5.15 Mangosten numuneleri için elde edilen matematiksel model sabitleri ve istatistiksel parametreler (devamı) **71**

Tablo 5.16 Mangosten numuneleri için elde edilen matematiksel model sabitleri ve istatistiksel parametreler (devamı) **72**

ÖZET

Çeşitli Egzotik Meyvelerin Liyofilizasyon Yöntemi ile Kurutulması ve Kalite Parametrelerinin İncelenmesi

Dilek OTAL ŞENOL

Kimya Mühendisliği Anabilim Dalı

Kimya Mühendisliği Programı

Yüksek Lisans Tezi

Danışman: Prof. Dr. Azmi Seyhun KIPÇAK

Kurutma, uzun yıllardır gıda ürünlerini muhafaza etmek için kullanılan en popüler metotlardandır. Liyofilizasyon, kontrollü ısı sağlanarak vakum altında bulunan donmuş üründeki su moleküllerinin sublimasyonu ile gerçekleşir. Bu çalışmada ön işlemsiz, ultrases ve askorbik asit ön işlemleri uygulanmış kamkat ve mangosten meyveleri dondurarak kurutcuda kurutulmuş ve kurutma deneylerinden elde edilen veriler çeşitli matematiksel kurutma modellerine uygulanarak en uygun modeller belirlenmiştir. Numunelerin kurutma davranışları gözlemlenmiş, ön işlemlerin kuruma hızına etkisi üzerine değerlendirmeler yapılmıştır. Ardından efektif nem difüzyon katsayıları hesaplanmış ve kalite seviyesini belirlemek için renk değişimi, rehidrasyon kapasitesi ve fenolik içerik analizleri gerçekleştirilmiştir.

Kamkat meyvesi için uygulanan matematiksel modeller arasında Alibas , Midilli ve İki Terimli modelleri, mangosten meyvesi için ise Alibas , Midilli ve Aghbashlo vd. modelleri en yüksek R^2 değerleri ve en düşük χ^2 ile HKOK değerlerine sahip olduklarından en uygun modeller olarak belirlenmişlerdir.

Askorbik asit ön işlemli kamkat numuneleri diğerlerine göre daha hızlı kurumuştur. Ön işlemsiz ve 30 saniye askorbik asit ön işlemli numuneler en yüksek, ultrases ön işlemli numuneler en düşük efektif nem difüzyon katsayılarına sahiptir. Mangosten için başlangıç nem miktarı daha düşük olan numunelerin daha hızlı kuruduğu gözlemlenmiştir. Ön işlemsiz numuneler en yüksek, ultrases ön işlemli numuneler en düşük efektif nem difüzyon katsayılarına sahiptir.

Askorbik asit ön işlemli mangostenlerde fenolik içerik korunumu ultrases ön işlemli numunelerden daha yüksektir. En yüksek korunum ön işlemsiz numunelerde gerçekleşmiştir. Kamkat numunelerinde ultrases ön işlemli numunelerdeki fenolik içerik korunumu askorbik asit ön işlemli numunelerden daha yüksektir. En yüksek korunum ön işlemsiz numunelerde gerçekleşmiştir. Renk ölçümlerinde kamkat için liyofilizasyon sonrası L* değeri taze numunelere göre yükselmiştir. a* ve b* değerleri için de artış meydana gelmiştir. En az toplam renk değişimi ultrases ön işlemli numuneler için meydana gelmiştir. Mangosten numuneleri için L* ve b* değerleri tüm numuneler için artmış, a* değeri azalmıştır. Rehidrasyon kapasitesi sonuçlarına göre ultrases ön işlemli numuneler süreci daha hızlı tamamlamıştır.

Anahtar Kelimeler: Kamkat, mangosten, liyofilizasyon, ön işlemler, fenolik içerik

ABSTRACT

Lyophilization of Various Exotic Fruits and Examination of Quality Parameters

Dilek OTAL ŞENOL

Department of Chemical Engineering

Master of Science Thesis

Supervisor: Prof. Dr. Azmi Seyhun KIPÇAK

Drying is one of the most popular methods used for preserving food products. Lyophilization occurs with the sublimation of water molecules from the frozen product under vacuum conditions with controlled heat. In this study, kumquat and mangosteen fruits were freeze-dried in a dryer without pre-treatment, with ultrasound, and with ascorbic acid pre-treatment. Data from drying experiments were applied to mathematical models to determine suitable ones. Drying behaviors of samples were observed, and the impact of pre-treatment on the drying rate was evaluated. Effective moisture diffusion coefficients were calculated, and analyses on color change, rehydration capacity, and phenolic content were conducted to assess quality.

Among the mathematical models applied, the Alibas, Midilli, and Two-term models were identified as the most suitable for kumquat, and the Alibas, Midilli, and Aghbashlo et al. models for mangosteen due to their high R^2 values and low χ^2 and RMSE values.

Ascorbic acid pre-treated kumquat samples exhibited faster drying. Samples without pre-treatment and those with 30 seconds of ascorbic acid pre-treatment had the highest effective moisture diffusion coefficients, while ultrasound pre-treated

samples had the lowest values. For mangosteen, samples with lower initial moisture content dried faster, with samples without pre-treatment having the highest and ultrasound pre-treated samples having the lowest effective moisture diffusion coefficients.

Ascorbic acid pre-treated mangosteens showed higher preservation of phenolic content compared to ultrasound pre-treated samples, with the highest preservation in samples without pre-treatment. Ultrasound pre-treated kumquats exhibited higher phenolic content preservation than ascorbic acid pre-treated samples, with the highest preservation in samples without pre-treatment. In color measurements, L* value for kumquats increased after lyophilization, with the least total color change observed in ultrasound pre-treated samples. For mangosteens, L* and b* values increased for all samples, while a* value decreased. According to rehydration capacity results, ultrasound pre-treated samples completed the process faster.

Keywords: Kumquat, mangosteen, lyophilization, pretreatments, phenolic content

1
GİRİŞ

1.1 Literatür Özeti

Meyveler vitamin ve mineral açısından zengin bir besin grubudur ancak aynı zamanda yüksek miktarda su içerirler. Bu sebeple meyveler, yüksek enzimatik ve mikrobiyolojik aktivite nedeniyle bozulmaya en yatkın gıda ürünlerinden biridir. Bir meyve ürününün raf ömrünün arttırılması bu mikrobiyolojik aktivitenin durdurulması ile mümkündür. Kurutma, meyveleri muhafaza etmenin en popüler yöntemidir. Bu yöntemin temel özellikleri raf ömrünü uzatmak, taşıma ağırlığını azaltmak, depolama alanını en aza indirmek ve su aktivitesini azaltmaktır. Dondurarak kurutma yöntemi ile diğer kurutma yöntemlerine göre en kaliteli ürün elde edilebilmektedir. Dondurularak kurutulan malzemeye tekrar su eklendiğinde buruşmaz ve gözenekli yapısı sayesinde yapısındaki suyu hızla emer (rehidrasyon) ve kurumadan önce yapısına çok yakın bir yapıya ulaşır. Dondurularak kurutulmuş gıdaların ve biyolojik materyallerin bir diğer avantajı ise kurutma işlemi sırasında çok az tat ve aroma kaybı yaşamalarıdır (Öz, 2009).

Dondurularak kurutulan ürünlerde, diğer kurutma yöntemleriyle kurutulan ürünlere göre daha az antioksidan kaybı gerçekleşir (Gümüşay vd., 2014). Egzotik meyveler için yapılan çalışmalarda dondurarak kurutmanın fiziksel özellikleri koruduğu, büzülmeyi en aza indirdiği, C vitamini ve fenolik içeriği diğer yöntemlere göre daha fazla koruduğu belirtilmektedir (Marques vd., 2011; Barreca vd.,2010).

Kamkat ve Mangosten yüksek miktarda antioksidan madde içermektedir (Barreca vd.,2010; Chaverri vd., 2008).

Kamkat küçük, eliptik şekilli bir meyvedir. Solunum yolu iltihabını yönetmek için geleneksel halk ilacı olarak kullanılmaktadır. Kamkatın flavonoid bileşimleri diğer narenciye türlerinden çok farklıdır (Lou vd.,2015).

Mangosten Hindistan, Myanmar, Malezya, Filipinler, Sri Lanka ve Tayland'a özgü tropik bir ağaçtır. Mangosten meyvesi koyu mor veya kırmızımsı, beyaz, yumuşak ve sulu, yenilebilir bir dokuya, hafif asidik ve tatlı bir tada ve hoş bir aromaya

sahiptir. Mangosten meyvesi, Güneydoğu Asyalılar tarafından yüzyıllardır cilt enfeksiyonlarını ve yaraları, kolera ve amipli dizanteriyi tedavi etmek için tıbbi bir madde olarak kullanılmaktadır (Chaverri vd.,2008).

Literatürde farklı parametrelerin, farklı ön işlemlerin ve farklı kurutma yöntemlerinin nihai ürün üzerindeki etkilerini araştıran çeşitli çalışmalar bulunmaktadır.

İzli ve diğerleri (2018), farklı sıcaklıkların (50, 60, 70 ve 80°C) kamkat dilimlerinin kuruma kinetiği üzerindeki etkilerini araştırmışlardır. Ayrıca, çeşitli sıcaklıklarda kurutulmuş örneklerin renk, toplam fenolik içeriği ve antioksidan kapasitesi gibi kalite özelliklerini, taze örneklerle karşılaştırmışlardır. 50°C'de kurutulan numunelerin taze numuneye en yakın renk değerlerine sahip olduğu bulunmuştur. Numunelerin diğer kalite özelliklerinde işlem görmemiş numuneye göre bir azalma olmuştur. 70 ºC'de kurutulan numuneler, farklı sıcaklıklarda kurutulan numuneler arasında en yüksek toplam fenol içeriğine ve antioksidan kapasitesine sahiptir.

Chaovanalikit ve diğerleri (2012), mangostenin antosiyanin ve toplam fenolik içeriğini incelemiş ve farklı yöntemlerle kurutma deneyleri gerçekleştirmişlerdir. Yapılan çalışmalara göre mangosten, %17 dış perikarp, %48 iç perikarp, %31 et ve %4 kabuktan oluşmuştur. Antosiyaninlerin çoğu dış perikarpta bulunurken, toplam fenolik maddenin çoğunluğunun ise iç perikarpta (3,404 mg Gallik Asit Eşdeğeri (GAE) / 100 g) bulunduğu sonucuna ulaşmıştır. Sprey kurutmanın, antosiyanin ve mangosten tozunun toplam fenolik içeriğini vakumla kurutmadan daha iyi koruyabileceğini belirtmiştir.

Barreca ve diğerleri (2010), turunçgillerin önemli miktarda biyolojik olarak aktif bileşen içerdiğini; bu bileşenlerden nutrasötikler, polifenolikler ve daha spesifik olarak flavonoidlerin birçok farklı sınıfı arasında giderek artan sayıda araştırmanın odak noktası haline geldiğini belirtmişlerdir. Kamkatın ve diğer turunçgillerin çok yakın bir taksonomik ilişkiye sahip olsalar da flavonoid parmak izlerinin oldukça farklı olduğu belirtilmiştir. *Citrus* cinsinin önde gelen flavonoidleri flavanon ve flavondur oysa *Fortunella* cinsinde dihidrokalkon, phloretin 3',5'-di-C-glukozit açık ara en bol bulunan bileşiktir.

Lou ve diğerleri (2015), kamkatın fenolik içeriğini incelemişlerdir. Turunçgillerde başlıca bulunan flavonoidler, flavanon glikozitler ve polimetoksiflavonlar olduğunu belirtmiş ve kamkatların flavonoid bileşimlerinin diğer turunçgil türlerinden çok farklı olduğunu gözlemlemişlerdir. Ayrıca kamkatın solunum yollarının iltihaplanmasını yönetmek için geleneksel halk ilacı olarak kullanıldığını ve bugüne kadar sağlığa faydalarını gösteren birçok çalışma yapıldığını, biyoaktivitelerinin ise flavonoid bileşiklerinin varlığı ile ilişkilendiğini belirtmişlerdir.

Turgut ve diğerleri (2020), farklı kurutma yöntemleri ile kurutulmuş kamkat dilimlerini oda sıcaklığında 4 ay depolamış ve depolama süresinde ürün kalitesi ve stabilitesini incelemiştir. Bu amaçla, kamkat dilimleri suda haşlama ön işlemi ve ön işlemsiz olarak sıcak hava, vakum, ultrason destekli ozmotik ön kurutma sonrası sıcak hava ve mikrodalga destekli sıcak hava kurutma olmak üzere 4 kurutma yöntemi ile kurutulmuştur. Depolama süresinde kurutulmuş kamkat dilimlerinin nem içerikleri ve su aktivitesi değerleri artış göstermiş, en düşük artış ön işlemsiz sıcak hava kurutma yöntemi ile kurutulan örneklerde belirlenmiştir. Genel olarak, depolamanın sonunda kurutulmuş kamkat dilimlerinin L*, b*, kroma, hue açısı değerleri azalış göstermiş, a* ve toplam renk değişim değerleri ise artış göstermiştir. Depolama periyodunda kurutulmuş örneklerin askorbik asit içeriğinin %28,36-75,61 oranında kayba uğradığı gözlenmiştir. Çalışma sonucunda kamkat dilimlerinin ön işlemsiz olarak kurutulmasının 4 aylık depolama süresinde incelenen kalite özellikleri açısından daha uygun olduğu belirlenmiştir.

Suvarnakuta ve diğerleri (2010), seçilen kurutma yöntemlerinin ve koşullarının, mangosten kabuğundaki ksantonların antioksidan aktivitesinin yanı sıra içerik değişiklikleri üzerindeki etkilerini incelemeyi amaçlamıştır. Mangosten kabuğu, yüksek antioksidan aktiviteye sahip olduğu bildirilen en iyi doğal ksanton kaynaklarından biridir. Bununla birlikte, farklı kurutma yöntemlerinin ve koşullarının mangosten kabuğunda ksantonların tutulması üzerindeki etkilerine ilişkin bilgiler hala çok sınırlıdır. Yapılan çalışmada mangosten kabuğu, 60, 75 ve 90°C'de sıcak havayla kurutmaya, vakumla kurutmaya veya düşük basınçlı aşırı ısıtılmış buharla kurutmaya tabi tutulmuştur. Ksanton içerikleri yüksek basınçlı sıvı kromatografisi ile analiz edilirken, antioksidan aktiviteleri değerlendirilmiştir.

Sonuçlar, kurutma yöntemlerinin ksantonların (yani, a-mangostin ve 8-desoksigartanin) bozulmasını ve antioksidan aktivitelerini önemli ölçüde etkilediğini göstermiştir. Mangosten kabuğunda ksantonları korumak için uygun bir kurutma tekniği ve koşulu olarak ya sıcak havayla kurutma ya da 75°C'de düşük basınçlı aşırı ısıtılmış buharla kurutma önerilmektedir.

Igual ve diğerleri (2019), dondurularak kurutulan greyfurta odaklanmıştır. Çalışmada numunelere mikrodalga ön işlemi de uygulanarak Midilli-Küçük ve Page modellemeleri gerçekleştirilmiştir.

Dziki (2020), dondurularak kurutulmuş gıdalar üzerinde çeşitli ön işlem yöntemlerini araştırmış ve ultrases ön işlemiyle meyveler için kuruma süresinin kısaldığını vurgulamıştır. Ultrases ön işleminin antioksidan özellikleri arttırdığını ayrıca ayva meyvesinde sertliğin ve büzülmenin azalmasına neden olduğunu belirtmiştir.

Tüfekçi ve diğerleri (2017), sıcak havayla kurutmadan önce havuç dilimleri üzerinde ultrasonik ön işlem uygulanmışlar ve daha uzun ön işlemle kuruma hızının arttığını ve sürenin azaldığını tespit etmişlerdir. Page ve Modifiye Page modelleri ile kuruma kinetiğini oluşturmuşlardır ve SEM görüntüleri ile gerçekleşen doku hasarını ortaya koymuşlardır.

Turgut (2022), kamkat dilimleri üzerinde dondurarak kurutma ve sıcak havayla kurutma (50°C, 60°C, 70°C, 1 m/s) etkilerini karşılaştırmıştır. Dondurularak kurutulmuş dilimler renk, toplam fenolik, toplam flavonoid ve askorbik asit içeriği açısından üstün özellikler sergilemiştir. Çalışma, kamkat gibi biyoaktif açıdan zengin meyvelere alternatif olarak dondurarak kurutmayı önermektedir.

Milani ve diğerleri (2020), yaptıkları çalışmada ayva çekirdeği müsilajı ve askorbik asit ön işlemlerinin dondurularak kurutulmuş muz dilimlerinin kalitesi üzerindeki etkilerini göstermektir. İncelenen parametreler nem içeriği, antioksidan aktivite, toplam fenol, renk özellikleri, yapısal özellikler ve duyusal değerlendirmedir. Her iki uygulama da kurutulmuş muz dilimlerinde toplam fenolik içeriğin ve antioksidan aktivitenin korunmasında etkili olmuştur. Kontrol dilimleri, ön işleme tabi tutulmuş kurutulmuş örneklere göre esmerleşme indeksinde (BI) daha fazla artış ve açıklıkta (L*) daha fazla azalma göstermiştir. Askorbik asit ve ayva

çekirdeği müsilajı uygulamaları, muz cipslerinin kalite özelliklerinin korunmasının yanı sıra enzimatik esmerleşmenin kontrolünde de etkili olabilir. Bu nedenle, muzun kalitesinin korunmasının yanı sıra enzimatik esmerleşmeyi önlemek için %0,25 ayva çekirdeği müsilajına ve %0,05 askorbik asite daldırma ön işleminin kullanılması tavsiye edilir.

Minuye ve diğerleri (2021) yaptıkları çalışmada askorbik asit ön işlemi uygulanmış ve uygulanmamış ve farklı teknikler altında kurutulan papaya meyvesinin (*Carica papaya L*) besin maddelerinin ve biyoaktif bileşiklerinin muhafazasını değerlendirmiş ve daha sonra seçilen popülasyon için numunelerden A vitamini alımlarını incelemiştir. En yüksek TPC, TFC, toplam karotenoidler ve ß-karoten ölçümleri dondurularak kurutulmuş papaya örneklerinden alınmıştır. Dondurarak kurutulan numunelerde toplam karotenoidlerin %81,5 ve ß-karotenin %61,9 ile en yüksek oranda korunduğu saptanmıştır. Askorbik asit ön işleminin toplam karotenoidlerin, ß-karoten, TPC ve TFC'nin tutulmasını arttırmıştır. Elde edilen verilere göre 25 gram dondurarak kurutulmuş papaya, küçük çocukların retinol eşdeğeri ihtiyacının %38'ine katkıda bulunabilir.

Gümüşay ve diğerleri (2013) domates ve zencefilin tiyolik ve fenolik içerikleri için güneşte kurutma, fırında kurutma, vakumlu fırında kurutma ve dondurarak kurutma olmak üzere dört farklı kurutma işleminin etkilerini araştırmışlardır. Diğer kurutma tekniklerinin kullanımı ile dondurarak kurutma yöntemleri arasında toplam fenolik içerik, askorbik asit ve tiyol içeriğinin azalmasında önemli bir istatistiksel fark saptamışlardır. Dondurularak kurutulmuş domates ve zencefil örnekleri diğer yöntemlere kıyasla daha iyi antioksidan özellikler gösterir.

Sadıkoğlu ve diğerleri (2013), safranın dondurarak kurutulması işlemi üzerine incelemelerde bulunmuşlardır. Safranın ısıya duyarlı uçucu ve aroma veren bileşikleri, diğer geleneksel kurutma yöntemlerine kıyasla dondurarak kurutma kullanılarak daha fazla korunabilir. Bu çalışmada safranın dondurarak kurutma özellikleri deneysel olarak belirlenmiştir. Kurutma kinetiği verileri, dondurarak kurutma sırasında safranın ağırlık kaybını temsil eden en iyi modeli bulmak için literatürden 10 farklı ampirik difüzyon kurutma modeline uyarlanmıştır. Bu çalışmada test edilen modeller arasında, dondurarak kurutma sırasında safranın kuruma kinetiğini temsil eden en iyi model Page modeli bulunmuştur.

Fabiano ve diğerleri (2007), yapmış oldukları karşılaştırmalı çalışmada sapota hamurundan elde edilen dondurularak kurutulmuş sapota tozunun ham sapotadan daha parlak bir renge sahip olduğunu, rehidrasyon kabiliyetinin ısı pompası ve sıcak hava ile kurutulmuş sapota tozlarından daha yüksek olduğunu bulmuştur.

Ayrıca dondurularak kurutulmuş edamamenin (*Glycine max L.*), maksimum C vitamini ve klorofil tutma ve maksimum rehidrasyon kapasitesi sağladığını belirtmiştir. Dondurularak kurutulmuş ürünlerin rengi taze numunelere daha yakındır.

Dondurularak kurutulmuş ananas, Barbados kirazı, guava, papaya ve mangonun renk, tat ve tatlarını koruduğunu bildirmiştir. Barbados kirazı ve guava meyvelerinin dondurularak kurutulması, hamurlarda bulunan çözünür karbonhidratların (şekerlerin) kristal yapısından amorf bir yapıya geçişi nedeniyle higroskopik bir ürünle sonuçlanmış, yumuşatılmış bir görünüme neden olmuş, ancak diğer ürün özellikleri korunmuştur.

Besin analizlerine (C vitamini, kalsiyum ve fosfor) dayanarak, tropikal meyvelerin dondurularak kurutulması, yüksek besleyici değere sahip ürünler sağlamaktadır. Ancak dondurularak kurutulmuş ürünler pahalıdır ve artan enerji maliyetleri ile daha az rekabetçi olacaktır.

Chong ve diğerleri (2010), birçok egzotik meyveyi farklı yöntemlerle kurutmuşlar ve buldukları sonuçları değerlendirmişlerdir.

• Açerola kirazını ozmotik ve dondurarak kurutma yöntemleri ile kurutmuşlardır. Ulaştıkları sonuçlara göre dondurarak kurutmada hücresel yapı korunur, büzülme en aza indirilir ve rehidrasyon kapasitesi en yüksektir.

• Guava meyvesi ısı pompalı kurutma, dondurarak kurutma ve ozmotik dehidrasyonla kurutulmuştur. Isı pompalı kurutma diğer yöntemlere göre 44% daha iyi difüzyon oranı, daha az kararma, daha iyi fiziksel görünüş ve daha yüksek C vitamini içeriği sağlamıştır.

• Saskatoon meyvesinin dondurularak kurutulmasının geleneksel tekniğe kıyasla antosiyanin içeriğini ve antioksidan aktiviteyi daha iyi koruyabildiği bildirilmiştir. Ancak, bu kurutma tekniğinde enerji tüketimi diğerlerine göre oldukça yüksektir.

• Dondurularak kurutulmuş çarkıfelek suyu üzerinde donma hızı, dondurarak kurutma sıcaklığı, sakaroz ve topaklanma önleyici maddelerin etkileri incelenmiştir. Sıvı nitrojen içinde hızla dondurulan numunelerin, şekerlerin yeniden kristalleşmesi nedeniyle daha düşük su emme oranlarına sahip olduğunu bulmuştur.

Marques ve diğerleri (2011), taze ve dondurularak kurutulmuş guava, mango, papaya ve ananasın C vitamini içeriğini analiz etmiştir. Ayrıca dondurarak kurutma ve konvektif kurutma teknikleri arasında karşılaştırmalı bir çalışma yapılmıştır. Kalite parametresi olarak C vitamini içeriği kullanılmıştır. Dondurularak kurutulmuş guava, mango, papaya ve ananas için %37,47 ila %3,05'lik kayıplar gözlenirken, konvektif kurutmadan sonra bu kayıplar %49,3'tür.

Yapılan çeşitli çalışmalarda kurutma öncesi askorbik asit ön işleminin egzotik meyvelerde besin maddelerinin ve biyoaktif bileşenlerin kaybını önlediği, oksidasyon reaksiyonlarını yavaşlatıp esmerleşmeyi engellediği belirtilmiştir (Minuye vd., 2021;Milani vd., 2020).

1.2 Tezin Amacı

Meyveler, vitamin ve mineral bakımından zengin bir besin grubunu temsil ederken aynı zamanda içerdikleri yüksek miktarda su ile öne çıkarlar. Bu sebeple, meyveler, yüksek enzimatik ve mikrobiyolojik aktiviteye sahip olduklarından dolayı bozulmaya oldukça yatkın gıda ürünlerinden biridir. Bir meyve ürününün raf ömrünü uzatmak için ise bu mikrobiyolojik aktivitenin durdurulması gerekmektedir. Kurutma, meyvelerin muhafaza edilmesi için yaygın olarak tercih edilen bir yöntemdir. Bu yöntemin temel özellikleri arasında su aktivitesini azaltarak raf ömrünü uzatmak, taşıma ağırlığını azaltmak ve depolama alanını minimumda tutmak bulunmaktadır.

Dondurarak kurutma yöntemi, diğer kurutma yöntemlerine kıyasla en kaliteli ürün elde etme konusunda öne çıkar. Dondurularak kurutulan malzemeye tekrar su eklendiğinde, buruşmaz ve gözenekli yapısı sayesinde suyu hızla emer (rehidrasyon) ve kurumadan önceki yapıya çok yakın bir form kazanır. Dondurarak kurutulmuş gıda ve biyolojik materyallerin bir diğer avantajı ise tat ve aroma kayıplarının oldukça az olmasıdır. Bu yöntemle kurutulan ürünlerde, diğer kurutma

yöntemleriyle kurutulanlara kıyasla daha düşük antioksidan kaybı gözlemlenir (Öz, 2009; Gümüşay vd., 2014).

Literatürde egzotik meyveler için yapılan çalışmalarda dondurarak kurutmanın fiziksel özellikleri diğer yöntemlere oranla daha fazla koruduğu, büzülmeyi en aza indirdiği, C vitamini ve fenolik içeriği diğer yöntemlere göre daha fazla koruduğu belirtilmektedir (Marques vd., 2011; Barreca vd., 2010). Kamkat (*Citrus japonica var. margarita*) ve Mangosten (*Garcinia Mangostena Linn*) yüksek miktarda antioksidan madde içermektedir (Barreca vd.,2010;Chaverri vd., 2008). Kamkat küçük, eliptik şekilli bir meyvedir. Solunum yolu iltihabını yönetmek için geleneksel halk ilacı olarak kullanılmaktadır. Yapılan çalışmalara göre kamkatın flavonoid bileşimi diğer narenciye türlerinden çok farklıdır (Lou vd., 2015). Mangosten Hindistan, Myanmar, Malezya, Filipinler, Sri Lanka ve Tayland'a özgü tropik bir ağaçtır. Mangosten meyvesi koyu mor bir kabuğa; içinde ise beyaz, yumuşak ve sulu, yenilebilir bir dokuya, hafif asidik ve tatlı bir tada ve hoş bir aromaya sahiptir. Mangosten meyvesi, Güneydoğu Asyalılar tarafından yüzyıllardır cilt enfeksiyonlarını ve yaraları, kolera ve amipli dizanteriyi tedavi etmek için tıbbi bir madde olarak kullanılmaktadır (Chaverri vd., 2008).

Literatürde kamkat ve mangosten için farklı kurutma teknikleri ile çalışmalar mevcuttur ancak hem dondurarak kurutma alanında oldukça az çalışa bulunmaktadır hem de dondurarak kurutma alanında bir matematiksel modelleme çalışması bulunmamaktadır.

İzli ve diğerleri (2018) kamkatın etüv kurutucuda kuruma kinetiğini incelemiş ve en iyi kurutma koşulunun 70°C'de sağlandığı görülmüştür. Chaovanalikit (2012), Mangostenin sprey kurutucuda kurutulması ve vakumlu kurutucuda kurutulması üzerinde çalışmış ve sprey kurutmanın, fenolik içeriği korumak için daha iyi olduğunu belirlemiştir. Turgut (2022) kamkat dilimlerinin dondurarak kurutulmasını ve sıcak havayla kurutulmasını (50°C, 60°C, 70°C, 1 m/s) karşılaştırmıştır. Dondurularak kurutulmuş dilimler renk, toplam fenolik, toplam flavonoid ve askorbik asit içeriği açısından daha üstün özellikler sergilemişlerdir. Çalışma, kamkat gibi biyoaktif açıdan zengin meyveler için dondurarak kurutmayı önermektedir.

Öte yandan birçok meyve ve sebze için kurutma işlemleri öncesi ultrases ve askorbik asit ön işlemlerinin etkileri incelenmiş olmasına rağmen, kamkat ve mangosten için bu alanda da herhangi bir çalışma bulunmamaktadır.

Igual ve diğerleri (2019), mikrodalga ön işlemi uygulanmış greyfurtun dondurarak kurutulması üzerine çalışmıştır. Çalışma sonucunda Midilli-Küçük ve Page modelleri uygun modeller olarak belirlenmiştir.

Dziki (2020), dondurularak kurutulmuş gıdalar üzerinde çeşitli ön işlem yöntemlerini araştırmış ve ultrases ön işleminin meyveler için kuruma süresini kısalttığını vurgulamıştır. Ultrases ön işlemi ayrıca antioksidan özelliklerin artmasında etki göstermiş ancak bazı meyvelerde sertlik özelliklerinin azalmasına neden olmuştur.

Tüfekçi ve diğerleri (2017), sıcak hava ile kurutma işleminden önce havuç dilimleri üzerinde ultrases ön işleminin etkilerini incelemişler ve daha uzun ultrases ön işlemi ile kuruma hızının arttığı ve kuruma sürenin azaldığı tespit edilmiştir.

Milani ve diğerleri (2020) ayva çekirdeği müsilajı ve askorbik asit ön işlemleri uygulandıktan sonra dondurularak kurutulmuş muz dilimlerinin kalitesini incelemişlerdir. Askorbik asit ve ayva çekirdeği müsilajı uygulamalarının, muz cipslerinde enzimatik esmerleşmenin kontrolü için etkili olabileceği saptanmıştır.

Minuye ve diğerleri (2021) gerçekleştirdikleri çalışmada askorbik asit ön işlemi uygulanmış ve uygulanmamış, farklı teknikler ile kurutulan papaya meyvesinin (*Carica papaya L*) besin maddelerinin ve biyoaktif bileşiklerinin muhafazasını değerlendirmiş ve askorbik asit ön işlemi, toplam karotenoidlerin, ß-karoten, TPC ve TFC'nin korunumunu arttırdığını belirtmiştir.

Literatürde kamkat ve mangostenin dondurarak kurutulması üzerine çok az çalışma olduğundan ve bu meyvelere kurutma öncesi askorbik asit ve ultrases ön işlemleri uygulanması üzerine herhangi bir çalışma bulunmadığından, bu tezde mangosten ve kamkat meyveleri askorbik asit ve ultrases ön işlemleri uygulanarak dondurarak kurutucuda kurutulmuş, kurutma prosesinin matematiksel modellemeleri yapılmış ve renk, fenolik içerik, rehidrasyon kapasitesi gibi kalite özelliklerinde meydana gelen değişiklikler saptanmış ve elde edilen sonuçlar karşılaştırmalı olarak değerlendirilmiştir.

1.3 Orijinal Katkı

Literatür taramasında görüldüğü üzere egzotik meyvelerin geleneksel yöntemler ile kurutulması alanında çalışmalar mevcuttur. Dondurarak kurutma ile meyve kurutulması alanında pek çok çalışma olmasına rağmen egzotik meyvelerin dondurularak kurutulması alanında yapılmış çalışma sayısı oldukça azdır. Yapılan çalışmalar sadece Mango, Papaya gibi popüler egzotik meyveler hakkında incelemeler içerir. Turunçgiller arasında oldukça farklı bir fenolik parmak izi olan Kamkat ve süper besin olarak anılan Mangostenin dondurarak kurutması üzerine yapılmış çalışma bulunmamaktadır. Ayrıca belirlenen ön işlemler daha önce Kamkat ve Mangostene uygulanmamıştır ve kurutulmuş ürünün özelliklerine etkisine dair literatürde bir çalışma bulunmamaktadır.

Bu açıdan yapılacak olan bu çalışma dondurarak kurutulan bu meyvelerden elde edilecek ürünlerin kurutma kinetiğinin incelenmesi ve kalite parametrelerinin belirlenmesi, çeşitli ön işlemler ile kombine edilen dondurarak kurutmanın Kamkat ve Mangosten meyvelerine uygulanabilirliğine dair önemli çıktılar sağlayacaktır ve bu noktada önemli bir özgün değeri bulunmaktadır.

2
EGZOTİK MEYVELER

Meyveler, canlı ve metabolik dokulardan meydana gelirler. Bu sebeple, meyveler zamanla, çeşitli sıcaklık değişimlerine ve fiziksel streslere karşı direnç gösteremez hale gelirler. Meyvelerin önemli bir bölümü, hastalıklar, aşırı üretim, yetersiz çeşitlilik, uygun olmayan hasat ve hasat sonrası uygulamalar, uygun olmayan nakliye koşulları ve kötü depolama koşulları nedeniyle en yoğun üretim dönemlerinde israf edilmektedir.

Meyveler, günlük diyetimizin önemli bir parçası olarak vücudumuzun çeşitli hastalıklarla savaşma yeteneğini artıran çeşitli biyoaktif nutrasötikleri içerirler. Geleneksel tedavilerde, çeşitli etnik ve coğrafi bölgelere özgü meyveler, diyabet ve obezite gibi çeşitli sağlık sorunlarının tedavisinde kullanılmaktadır (Babio vd., 2009).

Egzotik meyveler, eskiden sınırlı coğrafi bölgelerde yaşayan toplulukların tüketimi ile sınırlıydı, ancak şimdi egzotik olmayan ülkelerde de yaygın olarak tüketilen bir besin grubu haline gelmiştir. Ancak, egzotik meyveler genellikle yerli olmayan ve ithal edilen meyveler olduğu için pahalı ve ulaşılması zor olabilir.

Yıldız meyvesi, ejder meyvesi, mangosten, liçi, durian, boynuzlu kavun, jabuticaba, çarkıfelek meyvesi, guava, yıldız elması, kurt üzümü, frenk üzümü, ananas, yaban mersini, kamkat, pepino ve demirhindiba egzotik meyvelere örnek verilebilir.

Bu meyveler uygun olmayan saklama koşulları ve kapları, yanlış paketleme, nakliye ve depolama sırasında gerçekleşebilecek çeşitli hasarlara karşı hassastır. Bu hasarlar, küf ve bakterilere giriş noktaları sağlar ve sonuç olarak meyvelerde çürümeler meydana gelir (Mujumdar, 2011).

2.1 Kamkat

Kamkat, Rutaceae ailesine ait canlı ve verimli bir küçük çalı ağacıdır. Oval veya yuvarlak şekilli, pürüzsüz, parlak turuncu bir kabukla kaplı meyveler verir (Barreca vd., 2010). Kamkat (*Citrus japonica var. margarita*) Şekil 2.1'de görülebileceği

gibi küçük, eliptik şekilli bir meyvedir (Lou vd., 2015). Dünya üzerinde birçok farklı çeşidi bulunan turunçgillerin küçük mücevheri olarak bilinir. Anavatanı Güney Asya ve Asya - Pasifik olan kamkat hem meyvesi için hem de süs bitkisi olarak uzun zamandır Çin, Japonya, Filipinler ve Güneydoğu Asya ülkelerinde yetiştirilmektedir. Yetiştirildiği ülkelerde "kumquat", "kin kan", "kin kit", "gold orange" gibi isimlerle anılmaktadır. Ülkemizde son yıllarda özellikle Ege ve Akdeniz Bölgesi'nde üretim potansiyeli önemli düzeyde artmaktadır. Kamkat meyvesi diğer turunçgil meyvelerinin aksine küçük boyutludur ve kabuğu ile tüketilebilmektedir. Kabuğu kendine has tipik bir aromaya sahiptir ve şeker oranı pulpına göre daha yüksektir (Turgut, 2022).



Şekil 2.1 Kamkat meyvesi (Kale Marketleri, 2019)

Genellikle *Citrus* cinsine dahil edilmiştir ancak, son zamanlarda Zhang ve Mabberley (2008) tarafından önerildiği gibi *Citrus japonica* altında yeniden gruplandırılması önerilmiştir (Zhang & Mabberley, 2008). Çoğu *Citrus*'tan farklı olarak, kamkat meyvesi kabuğu ile yenir ve tadı güçlü, tatlı bir başlangıç ve hafif acı bir bitişe sahiptir. Ayrıca likör, reçel ve sos yapımında kullanılırlar ve şeker şurubunda şekerlenmiş veya bütün olarak saklanabilirler. Kamkat bazı gruplamalarda ise *Fortunella* cinsine dahil edilir. *Fortunella* cinsi uzun yıllar boyunca halk tıbbında kullanılmıştır ve geçmişte kamkat kabuğundan elde edilen biyoaktif bileşiklerin farmakolojik aktivitesini incelemek için bazı girişimlerde bulunulmuştur (Barreca vd., 2010). Bugüne kadar sağlığa faydalarını gösteren birçok çalışma yapılmıştır. Biyoaktiviteleri flavonoid bileşiklerinin varlığı ile

ilişkilendirilir (Lou vd., 2015). *Citrus* ve *Fortunella*, çok yakın taksonomik bir ilişkiyi paylaşsalar da flavonoid izleri oldukça farklıdır. *Citrus* cinsinin öne çıkan flavonoidleri flavanon ve flavon glikozitleridir. *Fortunella* cinsinde ise en fazla bulunan bileşik, dihidrokalkon olan phloretin 3′,5′-di-C-glucoside'dir. Bununla birlikte, kamkat kabuğunun polifenolik bileşimi üzerine çok sayıda çalışma yapılmış olsa da suyuyla ilgili mevcut veriler oldukça sınırlıdır (Barreca vd., 2010).

2.2 Mangosten

Mangosten (*Garcinia Mangostena Linn*), Guttiferae ailesinde yer alan tropikal bir meyvedir ve Güneydoğu Asya kökenlidir. Genellikle Tayland, Malezya ve Endonezya'da yetiştirilmektedir. Tayland'da Mangosten mevsimi Mayıs'tan Eylül'e kadar sürmektedir. Mangostenin büyük bir kısmı taze olarak tüketilir veya dış pazarlara ihraç edilir. Şekil 2.2'de görülebileceği üzere koyu mor ile kırmızı-mor arasında değişen renkte meyvelere sahiptir. Yenebilir meyve özü beyaz, yumuşak ve tatlı, hafif asidik bir lezzete ve hoş bir aromaya sahiptir. Ayrıca "Meyve Kraliçesi" olarak da bilinir. Mangosten ağacı, 6-25 metre yüksekliğinde, koyu kahverengi veya siyah kabuklu, acı lateks içeren bir ağaçtır. Meyvesi tohumlar içerebilir ve genellikle kabuk ve kök kısımları geleneksel tıpta çeşitli sağlık sorunlarının tedavisi için kullanılmıştır. (Chaverri vd., 2008; Chaovanalikit vd.,2012)



Şekil 2.2 Mangosten meyvesi (Handoo, 2023)

Mangostenin besin değeri 100 gram başına şu şekildedir: 80,9 gram su, 0,5 gram protein, 18,4 gram karbonhidrat, 1,7 gram lif, 9 mg kalsiyum, 14 mg fosfor, 0,5 mg

demir, 2 mg C vitamini, 0,09 mg B1 vitamini, 0,06 mg B2 vitamini ve 0,1 mg B5 vitamini. Mangostenin kabuğu, α-mangostin gibi önemli bileşenler içerir ve antidiyabetik, antioksidan ve anti inflamatuar etkileri vardır. Mangosten, dünya genelinde yaygın olarak yetiştirilmese de özellikle Güneydoğu Asya'da bulunan tropikal bölgelerde yetişir. Geleneksel tıpta birçok kullanımı vardır; örneğin mangosten kabuğu, dizanteri, mikroplara karşı antimikrobiyal ajan ve cilt sorunlarının tedavisi için kullanılmıştır. Ayrıca, çeşitli bölgelerde enerji artırıcı tonik olarak da tüketilmiştir. Mangostenin farmakolojik özellikleri üzerine yapılan çalışmalar, özellikle xanton türevleri olan α-mangostin ve γ-mangostin'in bakteri ve mantarlar üzerinde inhibe edici etkiler gösterdiğini göstermiştir. Ayrıca, antimikrobiyal, antioksidan, antidiyabetik ve anti inflamatuar özelliklere sahiptir. Bu nedenle, Mangosten, geleneksel tıp ve modern farmakolojide önemli bir bitkisel ilaç olarak kabul edilmektedir. Bazı bakterilere karşı inhibe edici etkisi olduğu ve antibakteriyel aktivite sergilediğini belirtmiştir (Hasegawa vd., 1996; Puripattanavong vd., 2006). Ayrıca mangostende bulunan xantonlar ve α-mangostininin çeşitli mantar türlerine karşı antifungal aktivite gösterdiği de gözlemlenmiştir (Gopalakrishnan vd., 1997). α-mangostin ve γ-mangostin, anti-enflamatuar aktivite göstererek uyarılabilir azot oksitlerin sentezini inhibe eder (Ansori vd., 2019).

Mangostenin antihyperglisemik ve antidiyabetik aktivitesini gösteren birçok çalışma da bulunmaktadır. Mangostenin perikarp ekstresinin tip-2 diyabetik farelerde kan kolesterol düzeyini ve lipid peroksidasyonunu azaltmada etkili olduğunu belirtmiştir (Husen vd., 2017).

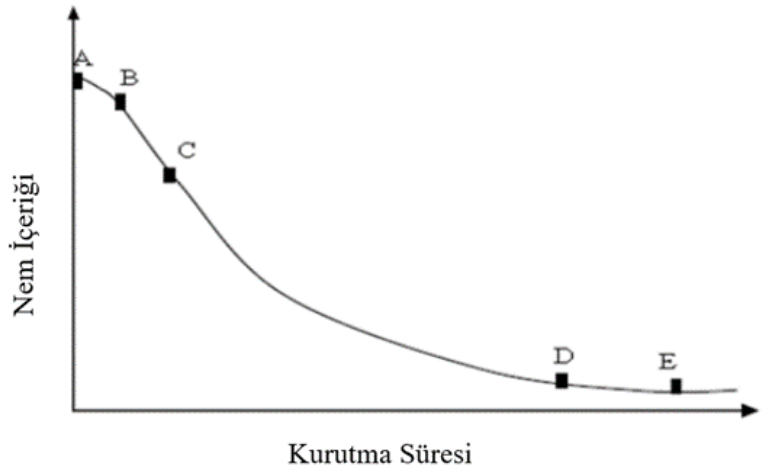
Mangostenden elde edilen bazı bileşiklerin immün düzenleme ve anti inflamatuar etki gösterebileceğini tespit edilmiştir (Fu vd., 2014). Mangostenin çeşitli kanser türleri üzerinde potansiyel antikanser etkileri bulunmaktadır. α-mangostin, γ-mangostin ve diğer bileşenler, çeşitli kanser hücre hatları üzerinde inhibe edici etkiler göstermiştir. Johnson ve ekibi, α-mangostinin insan prostat karsinomunda tümör büyümesini azalttığını ortaya koymuştur. Mangostenin depresyon üzerinde antidepresan benzeri etkileri olduğu belirtilmiştir.

Mangostenin toksisite çalışmaları, oral uygulama ile farelerde belirli konsantrasyonlarda ölüme neden olabileceğini göstermiştir. Ancak, düşük dozlarda toksik olmadığı belirtilmiştir. (Chaverri vd., 2008)

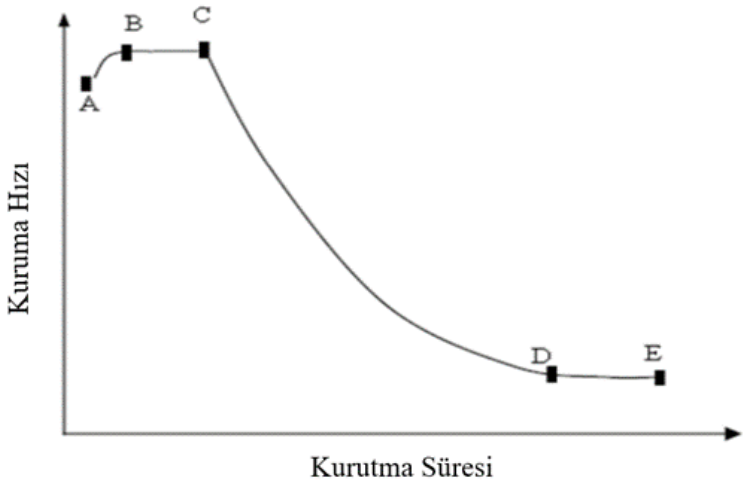
3
KURUTMA

Bir temel işlem olarak kurutma, kimya, gıda, ilaç endüstrilerinde en yaygın ve en temel işlemlerden biridir. 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 ürünün içindeki su uzaklaştırılır. Sıcaklık ve basınç gibi kurutma koşullarının seçimi, kurutulan ürünün fizikokimyasal özelliklerine bağlıdır. Kurutulmuş malzemelerin son nem içerikleri genellikle %10'dan küçüktür ve hatta birçoğunda %1'den küçüktür (Saravacos, 2001).

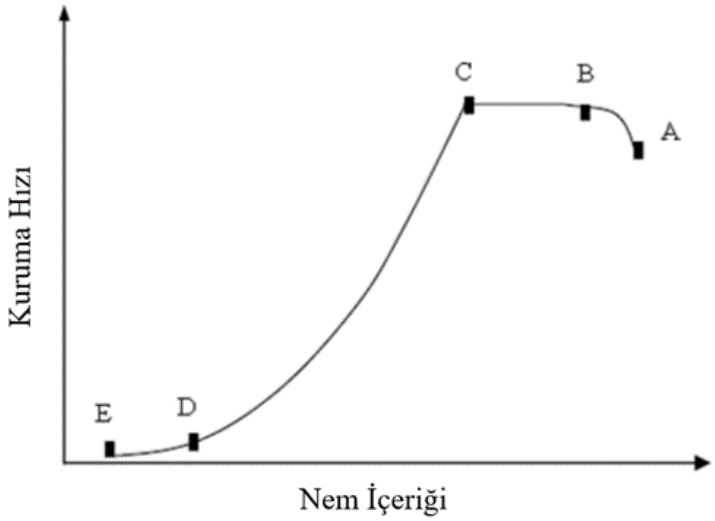
Kurutulan maddelerin nem düzeyi ile kuruma kinetikleri arasındaki ilişki Şekil 3.1, Şekil 3.2 ve Şekil 3.3'te verilen kuruma eğrileri ile belirlenebilir:



Şekil 3.1 Ürün nem içeriğinin kurutma süresi ile değişimi (Gençcelep, 2024)



Şekil 3.2 Kurutma hızının kurutma süresi ile değişimi (Gençcelep, 2024)



Şekil 3.3 Kurutma hızının kurutma süresi ile değişimi (Gençcelep, 2024)

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 (Gençcelep, 2024).

Kurutma, birçok gıda maddesinin işlenmesinde son aşamada vazgeçilmez bir temel 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 ve gözenek yapıları birbirinden farklı olduğundan kurutma işlemi ürüne özgü olarak seçilmelidir. Bu sebeple endüstride kullanılan kurutma prosesleri tek tip değil, çeşitlidir.

Kurutma, gıda ürünlerini saklamaya uygun hale getirmek için temel işlem olarak gerçekleştirilebileceği gibi, bazı ürünlerin üretim proseslerinde ikincil işlem olarak da gerçekleştirilebilir (Senadeera vd., 2003).

3.1 Mikrodalga Kurutma

Mikrodalga kurutma, yüksek kurutma hızına sahip olması sebebiyle gıda maddelerini kurutmak için yaygın olarak kullanılır. Mikrodalga kurutma, elektromanyetik alandan faydalanır. Bu kurutma yönteminde elektrik enerjisi 300 MHz ile 300 GHz frekans aralığında kullanılır ve en yaygın olarak kullanılan frekans 2450 MHz'dir. Mikrodalgalar, genellikle 60 Hz frekansta ev içi güç hatlarından alınan alternatif akımı 2450 MHz'ye çıkaran bir fırın içinde üretilir. Bu işlemi gerçekleştiren cihaz "magnetron" adını taşır. Yüksek hacimli ısıtma ve

azaltılmış işlem süresi, mikrodalgaları termal enerji kaynağı olarak çekici kılar. Ancak, mikrodalgalar tek başına bir kurutma sürecini tamamlayamaz, bu nedenle mikrodalga işleminin verimliliğini daha da artırmak için hava geçirme veya vakum gibi teknikler ile birleştirmek önerilir.



Şekil 3.4 Mikrodalga kurutma cihazı (Huang, 2018)

Mikrodalga kurutma sürecinde, malzeme mikrodalga enerjisi ile etkileşime girdiğinde, ısı moleküler uyarılma yoluyla ürün içinde oluşur. Bir sonraki adım, su buharını uzaklaştırmaktır. Suyu uzaklaştırmak için en basit teknik, malzemenin yüzeyinden hava geçirmek, böylece "mikrodalga konveksiyon kurutma" olarak adlandırılan bir süreci oluşturmaktır. Birçok durumda, mikrodalga kurutmadan bahsedildiğinde, bu mikrodalga konveksiyon kurutma anlamına gelir. Ürünün içinden geçen hava sıcaklığı, kuruma süresini kısaltmak için değiştirilebilir. Seçilen hava sıcaklığı, ürünün karakteristiklerine bağlıdır. Ürünün sıcaklığını kontrol etmek için ya güç yoğunluğu veya görev döngüsü kontrol edilmelidir.

Mikrodalga kurutmanın konveksiyonel kurutmaya göre birçok avantajı vardır, ancak bazı dezavantajları da bulunmaktadır.

Mikrodalga kurutmanın avantajları aşağıdaki gibi sıralanabilir:

- Hızlı hacimsel ısınma
- Daha yüksek kuruma hızı
- Kaliteli ürün
- Düşük enerji tüketimi

- Düşük işletme maliyetleri

Mikrodalga kurutmanın dezavantajları ise aşağıdaki gibi sıralanabilir:

- Sanayi ölçekli kurutucular için yüksek başlangıç maliyetleri
- Kısmi aroma kaybı ve olumsuz duyusal değişiklikler
- Ürün dokusunda bozulma ihtimali
- Etkili kurutma prosesi için belirli örnek boyutu ve şekil gereksinimleri (Orsat vd., 2006)

3.2 Etüv Kurutma

Endüstrinin birçok alanında farklı amaçlar için kullanılan etüvler, aynı zamanda gıda endüstrisinde de kullanılmaktadır. Gıda maddelerini hızlı ve düşük maliyetle kurutmak için tercih edilen bir yöntemdir. Kontrollü sıcaklık seviyelerine erişim sayesinde, sıvının buharlaşmasını kolaylaştırır ve hızlı bir kurutma sağlar. Etüvde dolaşan sıcak hava genellikle geri dönüştürülerek ısıtma maliyetleri azaltılır. Aynı zamanda, ısı kaybını önlemek için etüv yapımında yalıtıcı malzemeler kullanılır (Azizov, 2015).



Şekil 3.5 Etüv kurutma (Çağa Okul Donanım, 2023)

Etüvlerin çalışma mekanizması ve kullanımı oldukça basittir. Kurutulacak örnek, ayarlanmış bir sıcaklığa sahip önceden ısıtılmış etüve yerleştirilir. Kurutulacak malzemenin yapısına bağlı olarak cihaz panelinde gerekli tüm parametreler uygun bir şekilde ayarlanır. Etüv, ısı odasındaki havayı ısıtmaya başlar. Hava üfleyici, ısı odasının içi tamamen ısınınca içeriye soğuk hava üfler. Bu sayede ısıtılmış soğuk hava, ısı odasında dolaşımı sağlar. Bu dolaşımın bir sonucu olarak homojen kurutma elde edilir. Isı odasına eşit olarak dağılmış sıcaklık, kurutulan malzemenin tamamında homojen kurutma sağlar. Kurutma sürecinde ısı odasının içindeki bağıl nem seviyesi korunur (Mujumdar, 2009).

3.3 Güneşte Kurutma

Güneşte kurutma, diğer yöntemlere kıyasla düşük maliyet ve basit işlem avantajlarına sahiptir. Bu yöntem yenilenebilir enerji kaynaklarından biri olan güneş enerjisini kullanır. Alternatif kurutma yöntemlerine göre çevre dostu, maliyeti düşük ve güvenli bir seçenek olarak öne çıkmaktadır. Ancak, bu avantajların yanı sıra bazı dezavantajlar da gözlemlenmektedir. Öngörülemeyen hava koşulları, çevresel kirlilik ve kurutma şartlarının kontrol edilememesi, güneşte kurutmanın zayıf yönleri arasındadır (Jayaraman, 2006).



Şekil 3.6 Güneşte kurutma (Şahbaz, 2019)

Kurutulmuş ürünlerin, toz ve böcekler gibi kirleticiler içerebileceği ve mikrobiyal aktivitenin meydana gelebileceği unutulmamalıdır. Ayrıca, kuruma süreci genellikle uzun sürmekte ve geniş kurutma alanları gerektirmektedir. Bu yöntemin etkili olabilmesi için gereken hava koşulu, havadaki nemin minimum seviyede olması gerektiği anlamına gelir ve bu durum, kuvvetli rüzgarlar ve sıcak güneşle gerçekleşebilir (Jayaraman, 2006).

Güneşte kurutma, büyük ölçekli üretim için her zaman uygun olmayabilir; zira büyük ölçekli sistemlerde bu yöntemin kullanılması durumunda düzensiz kuruma veya ürün kirliliği gibi sorunlar ortaya çıkabilir. Kurutma odasındaki sıcaklık mahsul için optimum seviyede tutulmalıdır, aksi takdirde verim düşebilir. (Barnwal ve Tiwari, 2008).

3.4 Akışkan Yataklı Kurutucu

Akışkan yataklı kurutucuda, sıcak havanın katı parçacıklardan oluşan yataktan yüksek hızda geçirilmesi ile kurutma işlemi gerçekleşir. Bu yöntem, yüksek kütle ve ısı transferi, yüksek termal verim, kısa temas süresi ve basit kontrol gibi avantajlar sunar. Ancak, organik çözücülerin uzaklaştırılması gerektiğinde kullanılamaması, daha fazla gaz işleme ihtiyacı ve çok ıslak besleme durumunda akışkanlaştırma ve esnekliğin zayıflığı gibi dezavantajları bulunmaktadır (Mujumdar, 2015).

Akışkan yataklı kurutucular, düşük sıcaklıklarda işlem gördüğünden ısı duyarlılığı yüksek maddelerin kurutulmasında tercih edilen bir yöntemdir (Shewale vd., 2019). Bu yöntem, küçük ve yapışkan olmayan partiküllü maddelerin kurutulmasında diğer metotlara göre üstünlük sağlar. Partiküller, yüksek hızda verilen hava ile hareket etmeye başlar ve akışkan bir görünüm sergiler. Sıcak hava kullanılması, ürünün kuruma hızını artırır ve bu sayede eşit bir kuruma gerçekleşir, kuruma süresi kısalarak verimlilik artar (Parlak, 2015; Kumar ve Belorkar, 2015).

Akışkan yatakta kurutma, sıcak noktaların oluşumunu engelleyerek eşit olmayan bir kurutma işleminin önüne geçer ve proses kontrolünü kolaylaştırır (Palancar vd., 2001). Bu nedenle, akışkan yataklı kurutma, çeşitli endüstriyel uygulamalarda başarılı ve etkili bir yöntem olarak öne çıkmaktadır.

3.5 Sprey Kurutucu

Sprey kurutma genellikle sıvı gıda ürünlerinin kurutulması için tercih edilen bir yöntemdir, bu süreçte öncelikle kuru ve sıcak bir ortamın oluşturulması gerekmektedir. Ardından, sıvı haldeki kurutulacak ürün, bu sıcak ve kuru ortama püskürtülmek üzere bir püskürtücü aracılığıyla beslenir. Bu süreç genellikle sıvının püskürtülerek atomize edilmesini ve elde edilen malzemenin kurutma ortamıyla etkileşime girmesini içerir. Sonunda ise ürün kuru toz halinde ortamdan ayrılır. Sprey kurutma teknolojisi içinde morfolojiyi ve partikül boyut dağılımını etkileyen bir dizi parametre bulunmaktadır, bunlar arasında katı konsantrasyonu, partikül boyutu, yüzey gerilimi ve süspansiyon viskozitesi gibi faktörler öne çıkmaktadır, ancak bunlarla sınırlı olmayabilir (Marie vd., 2021). Örneğin, Wang vd., 2009 yılında yaptıkları çalışmada hidroksiapatitin sprey kurutulması sürecinde hava akış hızının granül boyutu üzerinde etkili olduğunu belirtmiş, granül boyutu ile hava akış hızı arasında ters orantılı bir ilişki olduğunu gözlemlemişlerdir; ancak besleme hızının yüksek olduğu durumlarda bu etkinin daha az belirgin olduğunu tespit etmişlerdir (Wang vd., 2009).



Şekil 3.7 Sprey kurutma (Tetrapak, 2023)

3.6 Tepsili Kurutucu

Tepsili kurutucular, tekrar tekrar gerçekleşen sıcak hava sirkülasyonu prensibine dayanır. Bu sistemde, tepsiye düzenli olarak yerleştirilen katı partiküllerden suyun uzaklaştırılması, konveksiyon yöntemiyle gerçekleşir. Isıtma süreciyle birlikte nemli hava anında uzaklaştırılır, ardından temiz hava tepsilere yönlendirilir ve burada ısınır. Malzemedeki su, yüzeyden buharlaşarak, kılcal hareketlerle katı içine doğru yayılır. Çıkış noktasından çıkan nemli hava, temas süresinin kısa oluşuyla karakterizedir ve tek geçişte uzaklaştırılan su miktarı sınırlıdır (Misha vd., 2013).



Şekil 3.8 Tepsili kurutma cihazı (Kariyer Mutfak, 2023)

3.7 Vakum Kurutucu

Vakumlu kurutma, sıvı ürünlerin kurutulmasında kullanılan bir yöntemdir ve özellikle gıda endüstrisinde yaygın olarak kullanılmaktadır. Bu konudaki birçok kaynak, bu kurutma yöntemini ve endüstriyel uygulamalarını detaylı bir şekilde ele almaktadır.

Vakumlu kurutma sürecinde, malzeme düşük basınç altında bir vakum içinde kurutulur. Bu süreç, ürünün içindeki suyun daha düşük bir sıcaklıkta buharlaşmasına olanak tanır, bu da ürünün ısıya duyarlılığına karşı bir avantaj

sağlar. Vakum, suyun düşük sıcaklıklarda buharlaşmasını sağlayarak ürünün kalitesini korur.

Vakumlu kurutucular genellikle karmaşık sistemlerdir. Bu cihazlar, sıvı ürünlerin kurutulması sürecinde su buharını uzaklaştırmak için özel olarak tasarlanmıştır. Bu kurutma yöntemi, gıda endüstrisinde, ilaç üretiminde ve biyolojik ürünlerin korunmasında yaygın olarak kullanılmaktadır. (Mujumdar vd.,2014)

3.8 Sürekli Tünel Kurutucu

Sürekli tünel kurutucular, ürünün bir tünel boyunca taşındığı sistemlerdir. Bu tüneller genellikle konveyör bantlar veya benzeri taşıma sistemleri üzerinde yer alır. İçerideki ürün, genellikle ısıtılmış hava veya başka bir ısı taşıyıcı ortam tarafından temas ile ısıtılır. Isınan ürün üzerindeki su buharlaştırılarak üründen uzaklaştırılır ve nemli hava dışarıya atılır.

Ana bileşenler:

- Konveyör Bantlar: Ürünler genellikle konveyör bantlar üzerinde hareket eder. Bantlar, ürünün tünel boyunca düzenli bir şekilde hareket etmesini sağlar.
- Isıtma Elemanları: Isıtma elemanları, genellikle hava veya diğer ısı taşıyıcıları ısıtarak ürünü kurutmak için kullanılır. Bu, elektrikli rezistanslar, buhar veya gaz ısıtıcılar olabilir.
- Fanlar: Fanlar, ısıtılmış havayı tünele dağıtarak ürünle temas ettirir ve buharlaşmayı hızlandırır.
- Çıkış Hava Sistemi: Bu sistem, üründen buharlaşan nemi içeren nemli havanın dışarı atılmasını sağlar.

Avantajlar:

- Sürekli işleme izin verir, bu da büyük üretim miktarlarını destekler.
- Yüksek verimlilik sağlar.
- Otomatik kontrol sistemleri ile işletimi kolaydır.
- Çeşitli endüstrilerde kullanılabilir, özellikle gıda, kimya, ilaç ve malzeme işleme sektörlerinde yaygındır.

Dezavantajlar:

- Yatırım ve işletme maliyetleri yüksek olabilir.
- Genellikle enerji tüketimi yüksektir.
- Daha karmaşık bakım gereksinimleri olabilir.

Sürekli tünel kurutucular, genellikle büyük ölçekli endüstriyel üretimde kullanılan etkili ve verimli kurutma sistemleridir. (Mujumdar vd.,2014)

3.9 Döner Kurutucu

Döner kurutucular, genellikle büyük ölçekli endüstriyel ve kimyasal süreçlerde granüler malzemelerin kapsamlı bir şekilde kurutulması amacıyla yaygın olarak kullanılan sürekli işlemlerdir. Bu tür kurutucular, özellikle çimento endüstrisinde önemli bir role sahiptir. Örneğin, kuru çimento üretim sürecinde, kil, kalker ve yaş cüruf gibi hammaddelerin öğütme işleminden önce nem oranlarını azaltmak için döner kurutuculara başvurulur.



Şekil 3.9 Döner kurutucu (Çakmak Makine, 2023)

Döner kurutucular, genellikle çelik levhalardan yapılmış silindirik kabuklara sahip büyük boyutlu cihazlardır, tipik olarak 1 ila 5 metre çapında ve 10 ila 40 metre uzunluğundadırlar. Kurutma işlemi, ıslak malzemenin silindirik kabuk içerisinde hareket ettiği sırada aynı veya ters yönde akan sıcak hava ile etkileşime girmesine dayanır (Platin vd., 1982). Sıcak hava, malzemede bulunan nemi buharlaştırarak

kurutma işlemini gerçekleştirir. Malzemeye aktarılan ısı, havanın sıcaklığını hızla düşürür, bu da kurutucudan çıkan gazın düşük sıcaklıkta olmasına neden olur.

Döner kurutucuların bu özel tasarımı, büyük miktarlarda malzemenin etkili bir şekilde kurutulmasını sağlar. Özellikle endüstriyel süreçlerdeki nemli hammaddelerin öğütme öncesinde kurutulması gerekliliği düşünüldüğünde, döner kurutucuların yaygın bir tercih olduğunu söylemek mümkündür. Bu kurutucular, malzemenin homojen bir şekilde kurumasını sağlamak ve işlemin verimliliğini artırmak için çeşitli endüstriyel uygulamalarda başarıyla kullanılmaktadır. (Mujumdar, 2014).

3.10 Tamburlu Kurutucu

Tamburlu kurutma makineleri, diğer benzer makinelerden farklı olarak daha yüksek bir dönüş hızına sahiptir ve bu sayede düşük sıcaklıklarda ürünlerdeki sıvıları uzaklaştırarak kurutma işlemini gerçekleştirir. Bu yöntem, tambur içine konulan ürünlerin içerisindeki sıvının kısa sürede uzaklaştırılmasını sağlar. Sonuç olarak elde edilen ürünler, hızlı bir şekilde sulandırılabilen, lezzet ve tat kaybı olmayan, orijinal renklerini koruyan ve besin değerlerini kaybetmeyen ürünlerdir. Bu işlem özellikle kuru gıdaların üretimi için büyük önem taşır çünkü kuru gıdaların besin değerlerini, renklerini ve tatlarını kaybetmeden elde etmek oldukça zor bir süreçtir.

Tamburlu kurutma makinelerinde kullanılan tamburlar, işlenecek ürünün çeşidine bağlı olarak dökme demir veya paslanmaz çelikten imal edilir. Ürünlerin tambur içinde kalacağı süre de yine ürünlerin özelliklerine göre değişir, çünkü ürünlerin içindeki nem ve sıvı miktarları farklılık gösterir. Eğer hammadde yüksek sıcaklığa maruz kalmış veya bu risk altındaysa, vakumlu tamburlu kurutucular tercih edilebilir; ancak bu durum nadiren karşılaşılan bir durumdur ve sadece belirli ürünler için geçerlidir.

Tamburlu kurutma makinelerinde, kurutulmak istenen ürünler tamburun içine yerleştirilir. Bu işlem, forklift veya taşıma bandı gibi araçlar kullanılarak gerçekleştirilebilir. Daha sonra tambur, minimum sıcaklıkta dönerek ürünlerin içindeki sıvı ve nem miktarını istenilen seviyeye çeker. Tamburun dönüş hızı,

işlenen ürünün çeşidine bağlı olarak değişiklik gösterebilir (Çakmak Makine, 2023).

3.11 Kızılötesi Kurutma

Kızılötesi kurutucular (IR), tüp tipi bir kızılötesi ısıtıcıya sahip kurutma odası ve sıcak hava besleme ünitesinden olmak üzere iki ana bileşenden meydana gelir. Kurutma odasında, kızılötesi radyasyon yoğunluğuna ek olarak hava sıcaklığı, voltaj gibi değişkenler bulunmaktadır. Hava hızı ise bir damper yardımıyla düzenlenir, bu damper kurutma odasına giden hava besleme hattına yerleştirilir (Sharma vd., 2005). Elektromanyetik radyasyon yayılımı için ortamın şart olmaması dikkat çeker. Radyasyonun dalga boyu spektrumu, ısıtma kaynağının sıcaklığı ve formuna bağlı olarak değişir. Malzemeler, kendi ısılarını yayan "termal radyasyon" adı verilen bir süreçle elektromanyetik spektrumda 0,78 μm ile 1000 μm arasındaki değerler arasında kızılötesi olarak adlandırılır (Riadh vd., 2014). Bir cisim, termal radyasyonu emebilir, yüzeyden yansıtabilir veya malzeme aracılığıyla iletebilir. Bu uygulama sırasında çevredeki hava önemli ölçüde ısınmaz.

Kızılötesi konvektif kurutma yöntemi, geleneksel yöntemlere kıyasla bir dizi avantaja sahiptir. Yüksek kuruma hızı, malzemenin özelliklerine ve geometrisine göre hassas bir şekilde ayarlanabilmesi, ısıtıcıların yüksek toplam verimi ve uzun ömürlü olması, maliyet tasarrufu sağlaması ve ısıtılacak veya kurutulacak ürünle doğrudan temas gerektirmemesi gibi avantajlar, bu kurutma yöntemini etkili ve verimli kılar (Zhou, 2017).

3.12 Dondurarak Kurutma

Liyofilizasyon veya dondurarak kurutma, kontrollü ısı sağlanarak vakum altında bulunan donmuş üründeki su moleküllerinin sublimasyonu ile gerçekleşir. Geleneksel kurutma yöntemleriyle kurutulması zor olan, sıcaklığa oldukça duyarlı olan biyolojik maddeler, ilaçlar ve gıdalar dondurarak kurutma yöntemi ile işlenebilir. Birçok ilaç ve gıda maddesi zamanla bozulmaya oldukça duyarlıdır. Bu tür maddeler üretim sonrasında hemen dondurularak stabil bir yapıya getirilir ve böylece uzun bir süre boyunca biyolojik aktivitelerini korurlar. Dondurarak kurutmanın başlıca uygulama alanları kimya ve biyokimya, ilaç, kozmetik ve gıda

endüstrilerindedir. Diğer uygulamalar arasında su hasarı görmüş kitaplar, belgeler ve el yazmaları, hayvansal yan ürünler, süt ürünleri mayaları ve çeşitli arkeolojik kazıların korunması, cerrahi taşıma dokuları, bitkiler ve hayvanlar bulunur.



Şekil 3.10 Liyofilizatör (LabBurada, 2023)

Dondurarak kurutma yöntemi, diğer kurutma yöntemlerine kıyasla daha yüksek kaliteli bir ürün elde etme avantajına sahiptir. Dondurarak kurutma ile elde edilen malzeme, tekrar su eklenmesi durumunda gözenekli yapısı nedeniyle hızla su emer (rehidrasyon) ve kurutma öncesindeki yapısına çok yakın bir yapıya ulaşır. Liyofilize edilmiş gıda ve biyolojik maddelerin kuruma sürecinde çok az tat ve aroma kaybına uğramaları da bir avantajdır. Diğer geleneksel kurutma yöntemlerine göre çok düşük sıcaklık, düşük bağıl nem, çok hızlı yerel su kaybı gerçekleşir ve ayrıca diğer kurutma yöntemlerine göre non-enzimatik kararmayı, protein bozulmasını ve enzimatik reaksiyonları minimuma indirir. Dondurarak kurutma, gıdalar için kısmen pahalı bir kurutma yöntemidir. Bu, kuruma hızının çok düşük olması ve çok yüksek enerji gerektiren bir vakum içermesi nedeniyle oluşur. Liyofilize ürünün soğutulması ve soğukta saklanması gerekmemesi, yüksek işletme maliyetiyle denge sağlar. Hazır kahve, dondurularak kurutulan ilk gıda örneğidir ve bu inovasyon, Brezilya'nın aşırı kahve stoklarına çözüm arayışıyla

1938'de Nestlé tarafından geliştirilmiş ve üretilmiştir. Bu önemli adım, toz içecekler ve gıda ürünleri sektörünün gelişimine katkıda bulunarak ortaya çıkmıştır (Öz, 2009).

Dondurarak kurutucular, genellikle üç ana bölümden oluşur; dondurma ve kuruma odası, kondansatör, vakum pompası. Cihazın soğumasını ve ısınmasını sağlayan kompresörler ve ısıtıcılar da bulunmaktadır. Dondurarak kurutucu ile kurutma üç aşamada gerçekleşir:

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, düşük basınçta, donmuş çözücü ısıtılır ve katı halden doğrudan buhar fazına geçer, yani süblimasyonla (birincil kurutma) uzaklaştırılır. 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).

Ürünün yapısal istikrarı, dondurarak kurutma sürecinin sonunda boyut, gözenekli yapı ve şeklin değişimine bağlıdır. İyi bir dondurarak kurutma döngüsünün sonunda ürünün nem içeriği %1-2 olmalıdır. Her gıda ürününün benzersiz bir liyofilizasyon yöntemi vardır. Örneğin, süt veya meyve suyu gibi sıvı ürünler, dondurarak kurutucuya götürülmeden önce konsantre edilir. İnstant kahve, kahve çekirdeklerini doğrudan liyofilize etmemek için önceden kaynatılarak hazırlanan kahvenin liyofilize edilmesiyle elde edilir (Öz, 2016).

Dondurarak kurutma işlemi, su veya herhangi bir çözücünün vakum ortamında süblimasyon yoluyla buharlaşması anlamına gelir. Çözücü, süblimasyonla ayrıştırılarak, kurutma işleminin gerçekleştiği ortamdan kondensör aracılığıyla uzaklaştırılır. Bu yöntemdeki en önemli faktör, süblimasyonun donmuş yüzeyde

gerçekleşmesiyle sağlanan yapısal sertliktir. Yapısal sertlik, kurutma işleminden sonra kurutulmuş ürünün şeklini korumaya yardımcı olur.

Dondurarak kurutma sırasında gıda maddesinde donmamış bir miktar bağlı su bulunması kaçınılmazdır. Ancak, bu suyun bulunduğu nemli bölgenin geçiş sıcaklığının düşük olması, kurutulmuş ürünün kalitesini artırır. Kurutulacak maddenin içinde yeterli miktarda donmuş su bulunması, dondurarak kurutma işlemi için kritik bir öneme sahiptir.

Dondurarak kurutma yönteminde, gerekli kurutma hızını sağlamak için çok düşük basınç, yani yüksek vakum kullanmak gereklidir. Bu yöntem genellikle düşük basınç altında donmuş gıdalardan veya donmuş çözeltilerden, çözücünün (genellikle su) süblimasyon ve bağlı suyun (donmamış) desorpsiyonuyla gerçekleşir.

Dondurma Aşaması:

Dondurma aşaması, dondurarak kurutma işleminin kritik bir evresidir. İşleme tabi tutulacak madde sistemi, jel süspansiyon, sıvı çözeltiler veya gıda maddeleri gibi, sistemin donma sıcaklığının altına soğutularak hazırlanır. Maddeler genellikle iki farklı donma hareketi sergiler: a) Sistemdeki sıvı, belirli bir sıcaklıkta aniden katılaşır; b) Sıvı faz katılaşmaz, ancak çok viskoz bir hale gelir.

Birinci Kurutma Periyodu:

Dondurma aşamasının ardından, kurutma odasındaki basınç düşürülerek ürünün bulunduğu ortam boşaltılır. Su molekülleri süblime olarak buharlaşır ve bu süreçte sıcaklık daha da düşer. Birinci kurutma periyodu boyunca oluşan su buharı, kurutulmuş tabakadan geçerek kurutucunun odasına girer ve sürekli olarak kondansör aracılığıyla uzaklaştırılır.

İkinci Kurutma Periyodu:

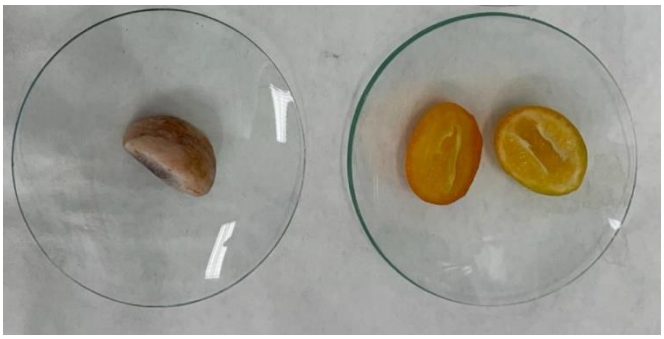
İkinci kurutma periyodu, donmamış suyun uzaklaştırılmasını içerir ve genellikle birinci kurutma periyodunun hemen ardından başlar. Bu periyotta, bağlı su vakum altında ısı verilerek uzaklaştırılır. İkinci kurutma periyodu sonunda ürünün nem içeriği, depolama sıcaklığı ve süresi, ürün kalitesi için önemli faktörlerdir (Öz, 2016).

4
DENEYSEL ÇALIŞMALAR

4.1 Hammadde Temini ve Numune Hazırlama

Kamkat meyvesi Eylül 2023' te Türkiye/İstanbul'daki bir zincir marketten, Mangosten ise yine Eylül 2023' te bir online satış platformundan temin edilmiştir. Mangosten meyvesi ülkemizde yetişmediğinden ve nadiren ithal edilen bir meyve olduğundan sadece 6 adet olarak temin edilebilmiştir. Bunların 2 adetinin kabuğu soyulduğunda bozuk olduğu tespit edilmiş ve çalışmalara sağlam olan 4 adet mangosten meyvesi ile devam edilmiştir. Kamkat meyvesi mevsimi olmaması sebebi ile 20 adet olarak temin edilebilmiş, 4 tanesinin bozuk çıkması sebebi ile 16 adet kamkat meyvesi kullanılarak numuneler hazırlanmıştır. Numuneler deneylere başlanmadan önce buzdolabında 4 ℃ 'de muhafaza edilmiştir. Deneyler gerçekleştirilmeden önce numuneler buzdolabından çıkartılmış ve oda sıcaklığına gelmeleri için 1 saat boyunca dışarıda bekletilmişlerdir.

Mangosten numuneleri, meyvenin kabuğu soyulduktan sonra dilimli yapısı nedeni ile dilimlerine ayrılarak çalışmaya hazırlanmıştır. Kamkat numuneleri ise her biri yaklaşık 5,000 ± 0,5 gr ağırlığında olacak şekilde ortadan ikiye bölünerek hazırlanmıştır.



Şekil 4.1 Çalışmaya hazırlanan mangosten ve kamkat meyveleri

4.2 Ön İşlem Uygulamaları

Kurutmadan önce gıdanın ön işlemi iki amaca hizmet eder; kuruma süresini azaltmak ve kurutulmuş malzemenin kalitesini iyileştirmek. Liyofilizasyon prosesi

en yüksek kalitede kurutulmuş ürünler elde edilmesine izin verse de çok enerji ve zaman alır. Ön işlemler sadece kurutma işlemini hızlandırmak için değil, aynı zamanda liyofilize gıdadaki fiziksel özellikleri ve biyoaktif bileşikleri korumak için de kullanılmaktadır (Dziki, 2020).

Kamkat ve mangosten numunelerine ön işlem olarak 30 saniye ve 1 dakika sürelerle %0,05 askorbik asit ve ultrases ön işlemleri uygulanmıştır. Ön işlemler esnasında çekilen fotoğraflar Şekil 4.2 ve Şekil 4.3'de verilmiştir.

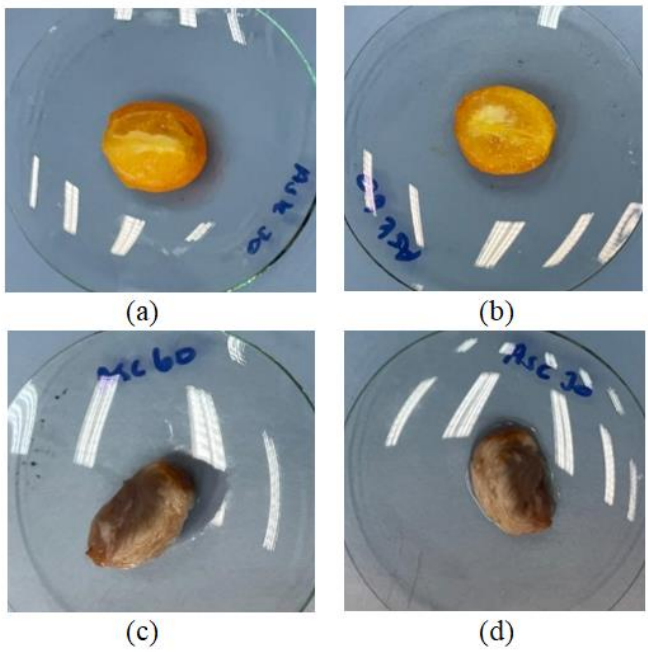


Şekil 4.2 Askorbik asit ön işlemi

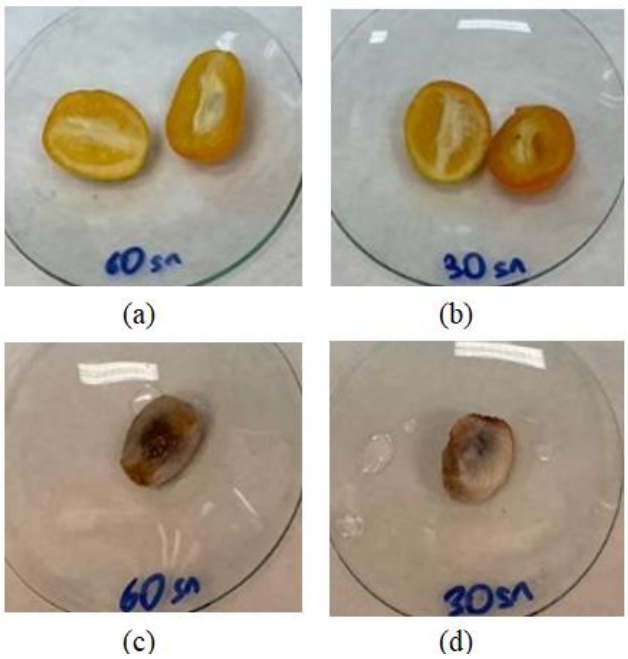


Şekil 4.3 Ultrases ön işlemi

Askorbik asit ön işlemi sonrası mangosten ve kamkat numuneleri şekil 4.4'te, ultrases ön işlemi sonrası mangosten ve kamkat numuneleri ise şekil 4.5'te gösterilmiştir.



Şekil 4.4 Askorbik asit ön işlemi sonrası kamkat (a,b) ve mangosten (c,d) numuneleri



Şekil 4.5 Ultrases ön işlemi sonrası kamkat (a,b) ve mangosten (c,d) numuneleri

4.3 Nem Tayini

Kurutma işlemlerine başlamadan önce her iki egzotik meyvenin ön işlemli ve ön işlemsiz numunelerinin içerisinde bulunan nem miktarını ölçmek amacıyla üçer adet numune 0,001 g hassasiyete sahip Radwag AS 220.R2 dijital terazide (Radwag, Radom, Polonya) (Şekil 4.6) ilk tartımları alınıp ardından etüvde yaklaşık 3 saat kurutulmuş, ardından etüvden çıkarılan numuneler oda sıcaklığına gelene dek desikatör içerisinde bekletilmiştir. Radwag AS 220.R2 dijital terazide yapılan ölçüm işlemine ait görsel Şekil 4.6'da verilmiştir.



Şekil 4.6 Radwag AS 220.R2 dijital terazi (Radwag, Radom, Polonya)

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

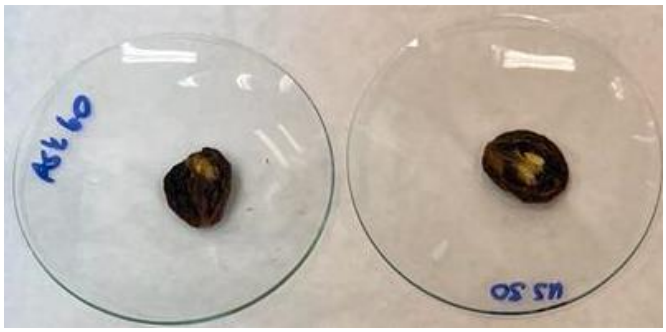
$$\text{Nem Miktarı} = \frac{\text{İlk ağırlık-Son ağırlık}}{\text{Son ağırlık}} \text{ x } 100 \qquad (4.1)$$

Hesaplanan nem yüzdeleri Tablo 4.1'de verilmiştir:

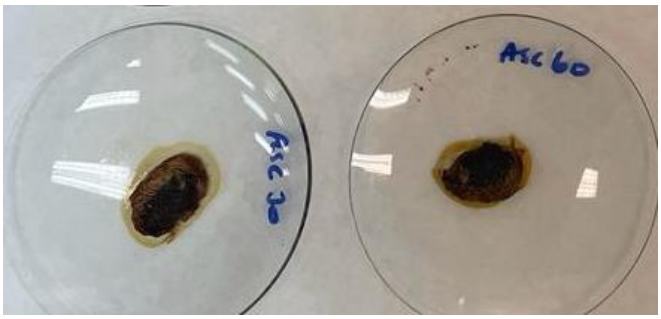
Tablo 4.1 Ölçülen nem değerleri

Numune	Ön İşlem	Başlangıç Ağırlığı	Başlangıç Nem Yüzdesi (%)
Mangosten	Ön İşlem Yok	8,31	79,65
Mangosten	Ultrases – 30 sn	5,36	83,53
Mangosten	Ultrases – 60 sn	5,68	82,78
Mangosten	% 0,05 Askorbik Asit – 30 sn	6,26	80,53
Mangosten	% 0,05 Askorbik Asit – 60 sn	3,57	82,08
Kamkat	Ön İşlem Yok	5,08	80,10
Kamkat	Ultrases – 30 sn	5,04	83,49
Kamkat	Ultrases – 60 sn	5,07	81,65
Kamkat	% 0,05 Askorbik Asit – 30 sn	5,09	80,00
Kamkat	% 0,05 Askorbik Asit – 60 sn	5,09	83,61

Etüvden çıkarılan kamkat numuneleri Şekil 4.7'de, etüvden çıkarılan mangosten numuneleri Şekil 4.8'de görülebilir.



Şekil 4.7 Etüv sonrası kamkat numuneleri



Şekil 4.8 Etüv sonrası mangosten numuneleri

4.4 Dondurarak Kurutma

Ön işlemli ve ön işlemsiz numuneler dondurarak kurutma öncesi 6 saat buzlukta bekletilmiştir. Buzluktan çıkarılan numuneler yağlı kağıtların üzerine yerleştirilerek dondurarak kurutma işlemine hazırlanmıştır. Dondurarak kurutma işlemi öncesi hazırlanan numuneler Şekil 4.9'da gösterilmiştir.



Şekil 4.9 Dondurarak kurutma öncesi dondurucudan çıkarılan numuneler

Dondurarak kurutma modellemelerinde kullanılacak numuneler seçilmiş ve Labart LFD-10N (ART Laborteknik, İstanbul, Türkiye) model dondurarak kurutma cihazında saatte bir tartım alınarak kurutulmuştur. Burada numuneler seçilirken, kurutma grafiklerinde yorumlanabilir verilere ulaşabilmek için ağırlık olarak yakın numunelerin seçilmesine özen gösterilmiştir. Dondurarak kurutma işlemi esnasında saatte bir tartım alınmış ve bu tartımlar sonucunda elde edilen veriler ile kurutma eğrileri oluşturulmuş ve bu veriler matematiksel modelleme çalışmalarında kullanılmıştır. Şekil 4.10'da dondurarak kurutma işlemi esnasında dondurarak kurutma cihazının görseli verilmiştir.



Şekil 4.10 Dondurarak kurutucudaki numuneler

İkinci bir deney setinde, numuneler aralıksız 13 saat boyunca dondurarak kurutucuda kurutulmuştur. Dondurarak kurutucudan çıkartılan numuneler Şekil 4.11'de görülebilir.



Şekil 4.11 Dondurarak kurutma işlemi ardından numuneler

Dondurarak kurutulan numuneler ambalajlanarak desikatörde saklanmak üzere kaldırılmıştır. Ambalajlanan numuneler Şekil 4.12'de verilmiştir.



Şekil 4.12 Dondurarak kurutma işlemi ardından vakum ile paketlenmiş numuneler

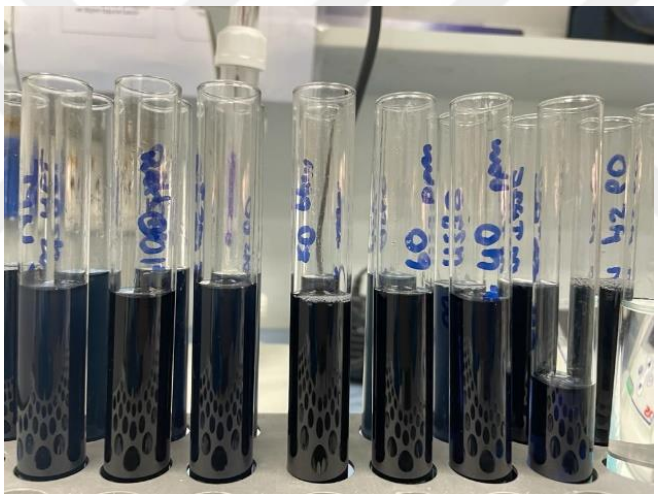
4.5 Fenolik Analiz

Bu çalışmada toplam fenolik içeriği belirlemek için Folin-Ciocalteu kolorimetrik yöntemi kullanılmıştır. Toplam fenolik içerik analizlerinde Folin-Ciocalteu kolorimetrik yöntemi yaygın olarak kullanılmaktadır (Akın ve ark.,2010). Bu yöntemde taze ve kurutulmuş materyaller metanol çözeltisinde çözülerek ekstraktlar hazırlanır. Ardından Folin-Ciocalteu reaktifi kullanılarak hazırlanan numunelerin absorbansı UV-spektrofotometrede ölçülür (Eruçar, 2006; Gümüşay vd., 2013). Örneklerin fenolik içerik miktarları gallik asidin standart eğrisinin doğrusal denklemi kullanılarak hesaplanır. Gallik asidin standart eğrisi, farklı konsantrasyonlardaki standart gallik asit çözeltisi kullanılarak çizilir. UV spektrofotometresinden elde edilen çıktılar, yüz gram kuru madde başına miligram gallik asit eşdeğerleri olarak hesaplanır (Akın ve ark.,2010).

Bu çalışmada taze meyve numuneleri hem kamkat hem de mangosten için 1 gram olacak şekilde tartıldı ve ekstraksiyona yardımcı olmak için daha küçük parçacıklar haline getirildi. Tartılan örnekler, tüplerde 10 ml %75 metanol çözeltisi ile karıştırıldı. Kurutulmuş meyve numuneleri hem kamkat hem de mangosten için 0,2 gram olarak tartıldı ve ektraksiyona yardımcı olmak için daha küçük parçalara ayrıldı. Tartılan örnekler, tüplerde %75 metanol çözeltisi ile karıştırıldı. Her biri

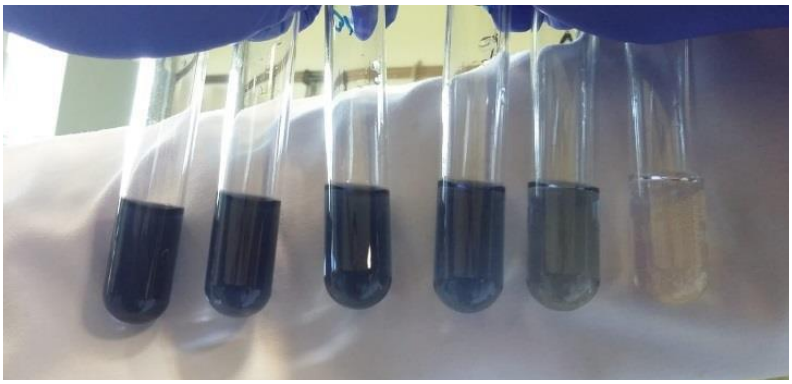
numune için üç ekstrat hazırlandı. Ardından tüpler alüminyum folyo ile kapatıldı ve Isolab Water Bath (Isolab, Almanya) model 1°C hassasiyet ve 120 W ultrases güce sahip ultrasonik ses dalgası cihazında 30 dakika bekletildi. Bu adımdan sonra, karanlık ve soğuk bir ortam için bir buzdolabına yerleştirilerek burada 2 saat bekletildi. 2 saat sonrasında tüpler, santrifüj cihazına alındı ve içinde 20 dakika bekletildi. Sonrasında, ekstartlar 0,45 nm filtreli enjektörlerle küçük tüplere alındı. 50 ppm gallik asit standart çözeltisi hazırlandı. Farklı konsantrasyonlardaki 2,5 mililitrelik gallik asit çözeltilerine ve esktrat çözeltilere 0,2 ml Folin eklendi ve 3 dakika bekletildi.

Ardından hem ekstratlara hem de gallik asit çözeltilerine 1 ml ağırlıkça %20'lik Na_2CO_3 çözeltisi ve 2 ml distile su eklendi ve tüpler bir saat boyunca karanlık bir ortamda bırakıldı. Hazırlanan ekstratlar Şekil 4.13'te verilmiştir.

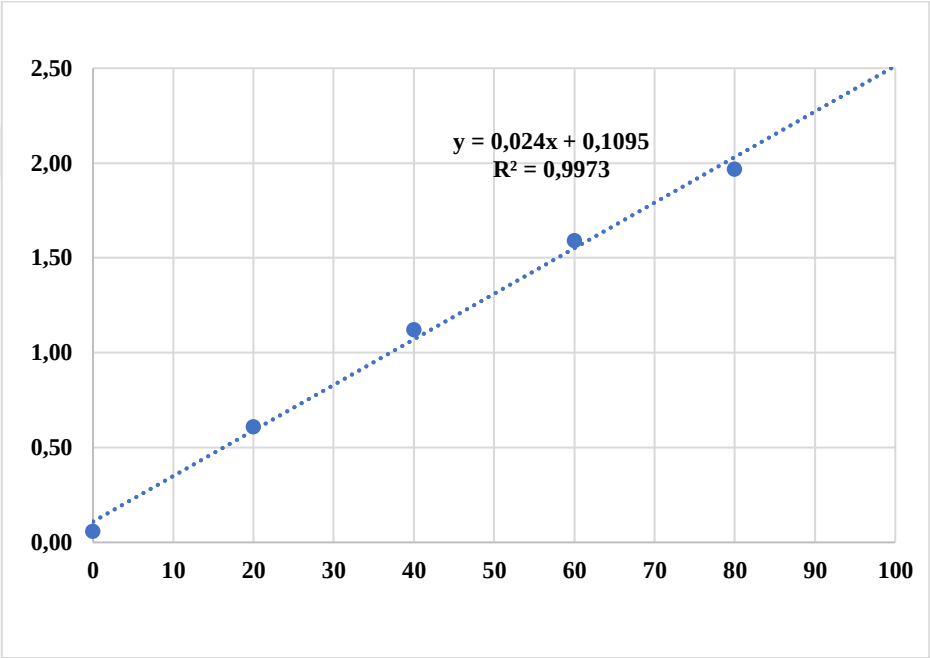


Şekil 4.13 Fenolik analiz için hazırlanan ekstratlar

Absorbans değerleri DLAB 752N Plus Uv-Vis Spektrofotometre (DLAB, Çin) cihazı ile 765 nm'de 3 tekrar olacak şekilde ölçüldü. Gallik asit çözeltileri için yapılan ölçümler ile kalibrasyon eğrisi çizildi ve ekstartlar için elde edilen değerler yüz gram kuru madde başına miligram olarak gallik asit eşdeğerleri olarak hesaplandı. Farklı konsantrasyonlardaki gallik asit çözeltileri Şekil 4.14'te ve gallik asit standart eğrisi Şekil 4.15'te verilmiştir.



Şekil 4.14 Farklı konsantrasyonlarda gallik asit çözeltileri



Şekil 4.15 Gallik asit standart eğrisi

4.6 Renk Ölçümleri

Renk, gıda endüstrisinde önemli bir kalite özelliğidir. Renk özellikleri tüketicinin seçim ve tercih konusundaki görüşlerini etkiler. Gıdanın rengi, yetiştirme, hasat sonrası işlemler ve işleme sırasında meydana gelen kimyasal, biyolojik ve fiziksel etkileşimlere göre değişmektedir. Gıda ürünlerinin renk ölçümü, diğer kalite parametrelerinin dolaylı bir değerlendirmesidir. Basittir, hızlıdır ve diğer parametrelerle iyi korelasyon gösterir. Renk ölçümleri gıda endüstrisinde ve araştırmalarda yaygın olarak kullanılmaktadır. Öte yandan gıdaların renk ölçümleri

konusunda ortak bir standardizasyon bulunmadığından sonuçların karşılaştırılması bazı durumlarda zor olabilmektedir.

Görünüm, taze veya işlenmiş gıda ürünleri için en önemli alıcı kalite parametrelerinden biridir. Boyut, şekil, doku gibi bazı parametreler rengin yanı sıra görünümün de bir parçasıdır.

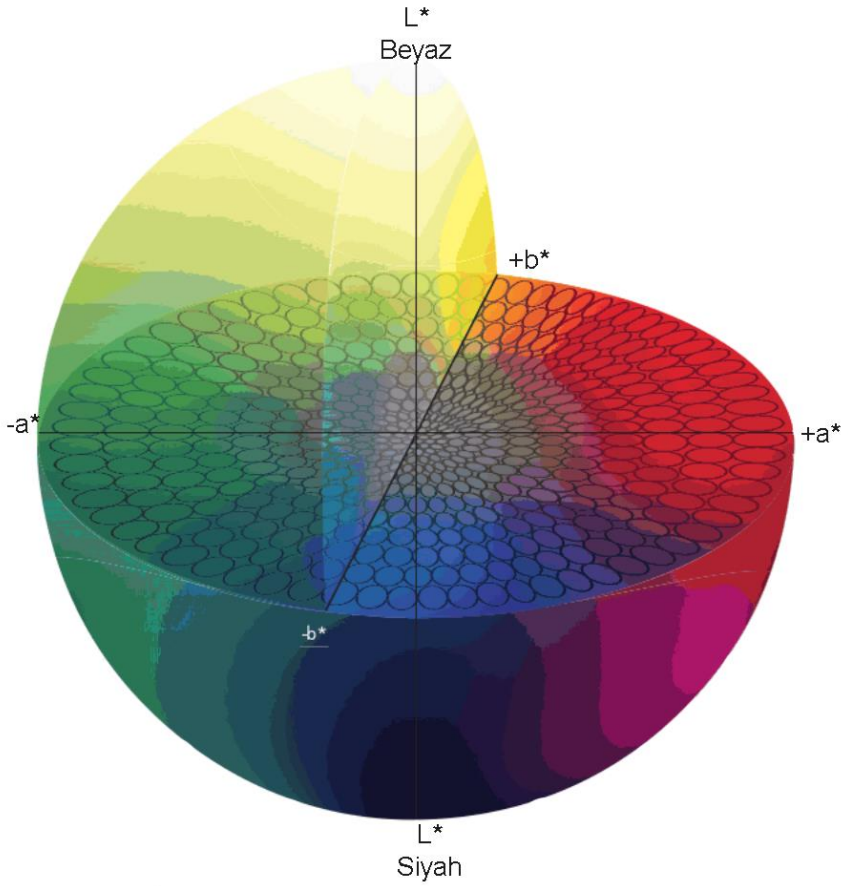
Gıdanın rengi tüketiciler tarafından gözlemlenen önemli bir kalite parametresidir ve ürünün bulunabilirliği açısından önem taşımaktadır. Görsel kalite genellikle yüzey rengine göre değerlendirilir ve gıdanın kabulünü veya reddini etkiler.

Renk kalitesi özellikleri bazı pigmentler tarafından tanımlanır. Bu özellikleri sağlayan başlıca pigmentler klorofiller, karotenoidler, antosiyaninler, flavonoidler ve betalainlerdir. Bu kalite özellikleri gıdalardaki deformasyonun doğrulanması için kullanılabilir. Yiyecekler taze görünmeli, çeşidine göre düzenli olmalı, çürüme, kararma veya bozulmadan uzak olmalıdır.

Renk koordinat sistemlerinde renk tespiti çeşitli yollarla yapılabilmektedir. Kırmızı-Yeşil-Mavi monitörizasyon en önemli yollardan biridir. Hunter L a b, Commission Internationale de l'Eclairage's (CIE) L*a*b*, CIE XYZ, CIE L*u*v*, CIE Yxy ve CIE LCH gibi farklı ölçüm ölçeklerinde çalışır.

Noktaları bulmak için renk uzayının simetrisindeki ayrım kullanılır. CIE ölçeği, insan gözünün üç renk reseptörü içerdiğini belirtir. Bunlar kırmızı, yeşil ve mavi ve bunların tüm birleşimidir.

Hunter Lab L, a, b ve CIE LAB renk skalaları gıda endüstrisinde yaygın olarak kullanılmaktadır. CIE LAB düzgün uzayında a ve b renk koordinatları ve L açıklık indeksi ölçülür. Bu ölçekte a parametresi kırmızımsı renkler için pozitif sayılar, yeşilimsi renkler için ise negatif sayılar verir. Parametre b sarımsı renkler için pozitif sayılar, mavimsi renk için negatif sayılar verir. L parametresi siyah ile beyaz arasındaki açıklığın yaklaşık büyüklüğüdür. (Pathare ve Opara, 2013)



Şekil 4.16 Üç boyutlu renk dağılım grafiği (Başak, 2018)

Toplam renk değişiklikleri (ΔE) denklem 4.2 ile hesaplanır:

$$\Delta E = \sqrt{((L_0 - L)^2 + (a_0 - a)^2 + (b_0 - b)^2)} \quad (4.2)$$

Çalışmanın bu kısmında taze ve kurutulmuş örneklerin renk özellikleri PCECSM kolorimetre (PCE Instruments UK Ltd., Southampton Hampshire, Birleşik Krallık) cihazı ile Hunter Lab L*, a*, b* renk skalasına göre belirlendi. Şekil 4.17'de ölçüm anından bir görsel verilmiştir. Cihaz ölçümleri CIE standartlarına göre gerçekleştirdi. İlk olarak taze numuneler test edildi. Taze meyvelerin belirlenen 5 noktasından kolorimetre ölçüm aparatı ile L*, a*, b* değerleri 3 tekrarlı şekilde ölçüldü. L*, a*, b* değerlerinin tüm sonuçları kaydedildi. Ardından renk ölçümleri ön işlemlerden hemen sonra tüm numunelere uygulandı. Dondurarak kurutma işleminden sonra, renk ölçümleri kurutulmuş numuneler için de gerçekleştirildi.



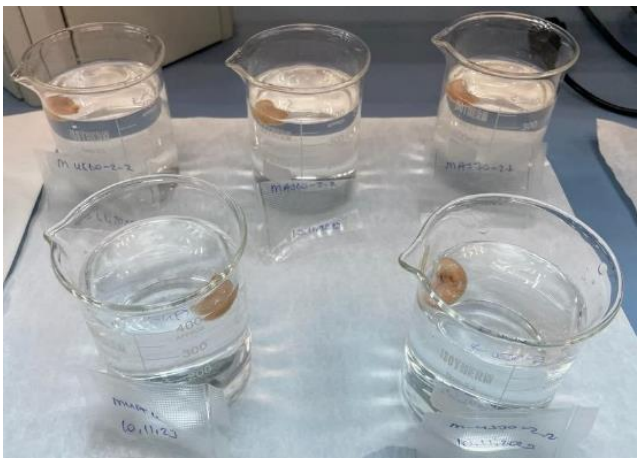
Şekil 4.17 Kolorimetre ile renk ölçüm işlemi

4.7 Rehidrasyon Kapasitesi Ölçümü

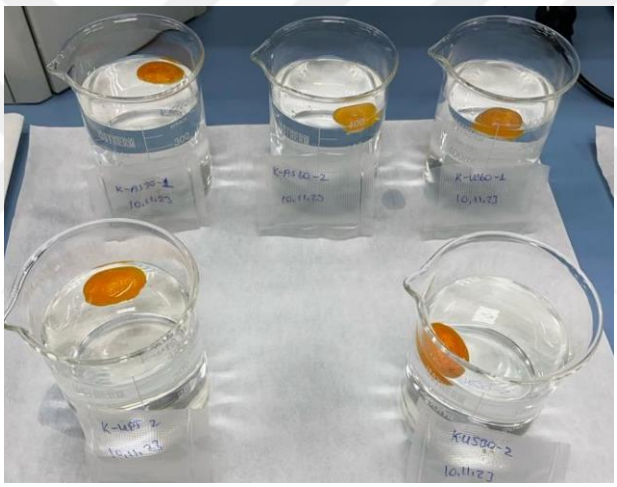
Rehidrasyon, kurutulmuş ürünlerin yeniden su alması işlemidir. Rehidrasyon ile dokuya su emilimi ve buna bağlı olarak üründe kütle artışı meydana gelir. Ancak üründen rehidrasyon için kullanılan suya da kütle transferi vardır. Kurutulmuş meyve ve sebzelerin rehidrasyonu sırasında ürün, rehidrasyon ortamından su alırken bir yandan da şeker, asit, vitamin ve mineral maddeler gibi bileşenlerin rehidrasyon ortamına geçişi gerçekleşebilmektedir. Rehidrasyon işleminin başlangıcında, kurutulan üründe suyun geri alımı hızla sağlanmakta ve ürünün nem içeriği denge nem içeriğine yaklaştıkça rehidrasyon hızı azalmaktadır. (Demiray ve Tülek, 2016)

Kurutulmuş Kamkat ve Mangosten numuneleri için ayrı ayrı rehidrasyon testleri yapılmış, 500 ml behere 400 ml ve 25˚C saf su eklenerek içerisine numuneler yerleştirilmiştir. Rehidrasyon işlemleri sırasında beherden ilk 5 dakikaya kadar her 1 dakikada bir, 10. dakikaya kadar her 5 dakikada bir ve 10. dakikadan sonra her 10 dakikada bir numuneler alınarak ağırlık artışları hassas dijital terazi ile ölçüldü. Tartımlardan önce numunelerin yüzeyindeki fazla su filtre kağıdı ile kurutuldu.

İşleme numuneler daha fazla su çekmeyinceye kadar devam edildi. Şekil 4.18 ve Şekil 4.19'da deneylerden görseller verilmiştir.



Şekil 4.18 Rehidrasyon kapasitesi ölçümü esnasında mangosten numuneleri



Şekil 4.19 Rehidrasyon kapasitesi ölçümü esnasında kamkat numuneleri

Rehidrasyon oranı (RR) eşitlik (4.3) kullanılarak hesaplanır:

$$RR = \frac{m_r - m_i}{m_i} \qquad (4.3)$$

m_i (kg) ve m_r (kg) sırası ile başlangıç kuru numune ağırlığını ve işlem sonrası numune ağırlığını ifade eder.

4.8 Kurutma Kinetiği Hesaplamaları

Difüzyona dayalı ince tabaka kurutma Fick'in ikinci difüzyon yasası ile temsil edilir. Kurutma işlemi devam ederken numunenin nem içeriğinin azaldığı

görülmektedir. Bu prosesin nem içeriğini araştırmak için aşağıdaki denklemler (4.4), (4.5) ve (4.6) kullanılarak nem oranı hesaplamaları yapılır.

$$N = {}^{m_{su}}/_{m_{km}} \tag{4.4}$$

$$KH = \frac{N_{t+dt} - N_t}{dt} \tag{4.5}$$

$$NO = \frac{N_t - N_e}{N_i - N_e} \tag{4.6}$$

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_i ve N_e ise sırasıyla herhangi bir kurutma anındaki nem miktarı, başlangıç nem miktarı ve dengedeki nem miktarıdır (kg su/kg kuru madde) (Doymaz, 2015).

4.9 Matematiksel Modelleme ve İstatiksel Veri Analizi

Egzotik meyvelerin kurutulması ile elde edilen verilerin, Statistica 8.0 programı kullanılarak regresyon analizi yapılmıştır. Kullanılacak modellerin uygunluğunun belirlemek için birincil olarak regresyon katsayısının (R^2) değeri göz önünde bulundurulur. Bu değer 1'e ne kadar yakınsa bu modelin o kadar uygun olduğunu göstermektedir. R^2 değeri denklem (4.7) kullanılarak hesaplanır.

$$R^2 = 1 - \frac{\sum_{i=1}^{N}(NO_{deneysel,i} - NO_{hesaplanan,i})^2}{\sum_{i=1}^{N}(NO_{deneysel,i} - \left(\frac{1}{n}\right)\sum_{i=1}^{N} NO_{hesaplanan,i})} \tag{4.7}$$

Ayrıca uygun modelin belirlenmesi amacıyla her bir model için Ki-kare (χ^2) ve hata kareleri ortalaması karekökü (HKOK) değerleri hesaplanır. Ki-kare değeri, deneyler sonucu elde edilen veriler ile tahmin edilen verilerin ortalama karesini temsil etmektedir. Uygun bir model için bu değerin mümkün olduğunca küçük olması gereklidir. χ^2 değeri denklem (4.8) kullanılarak hesaplanır.

$$\chi^2 = \frac{\sum_{i=1}^{N}(NO_{deneysel,i} - NO_{hesaplanan,i})^2}{N - z} \tag{4.8}$$

HKOK değerinin uygun bir model için mümkün olduğunca küçük olması gereklidir. HKOK değerini hesaplamak için denklem (4.9) kullanılır.

$$HKOK = \left(\frac{1}{N}\sum_{i=1}^{N}(NO_{hesaplanan,i} - NO_{deneysel,i})^2\right)^{1/2} \quad (4.9)$$

$NO_{deneysel}$ ve $NO_{hesaplanan}$ ifadeleri sırasıyla deneysel ve model denklemi sayesinde hesaplanan nem oranı değerlerini, N değeri toplam deney sayısını, z değeri ise modellerdeki sabit sayıları temsil etmektedir (Doymaz vd., 2015; Acar vd., 2013). Literatürde sıkça kullanılan kurutma modelleri Tablo 4.2'de verilmiştir.

Tablo 4.2 Literatürde sıkça kullanılan kurutma modelleri

MODEL	DENKLEM	KAYNAK
Weibull, 2006	$NO = e^{(-(t/b)^a)}$	İsmail vd. (2017)
Lewis, 2010	$NO = e^{(-kt)}$	İsmail vd. (2017)
Henderson ve Pabis, 1961	$NO = ae^{(-kt)}$	Kipçak (2017)
Parabolik, 2004	$NO = a + bt + ct^2$	Kipçak (2017)
Aghbashlo vd., 2004	$NO = e^{\left(\frac{-k_1 t}{1+k_2 t}\right)}$	Aghbashlo vd. (2009)
Logaritmik, 1999	$NO = ae^{(-kt^n)} + b$	Darvishi vd. (2013)
Alibas, 2012	$NO = ae^{(-kt^n)} + bt + g$	Alibas (2012)
Jena ve Das, 2007	$NO = ae^{(-kt+bt^{0.5})} + c$	Jena ve Das (2007)
Midilli vd., 2002	$NO = ae^{(-kt^n)} + bt$	Midilli vd. (2002)
Page, 1949	$NO = e^{(-kt^n)}$	Guan vd. (2013)
Verma, 1985	$NO = ae^{(-kt)} + (1-a)e^{(-gt)}$	Alibas (2014)
Wang ve Singh, 1978	$NO = 1 + at + bt^2$	Alibas (2014)
İki Terimli, 1998	$NO = ae^{(-bt)} + ce^{(-dt)}$	Kipçak vd. (2021)
İki Terimli Üstel, 1974	$NO = ae^{(-kt)} + (1-a)e^{(-kat)}$	Kipçak vd. (2021)

4.10 Efektif Nem Difüzyon Katsayısı Hesaplamaları

Efektif nem difüzyonu, buharlaşma-yoğunlaşma, nem difüzyonu ve diğer olası kütle transferi mekanizmaları dâhil olmak üzere bir kütle taşınım mekanizması özelliği göstermektedir. Efektif nem difüzyon katsayısının hesaplanmasında genel olarak Fick'in ikinci difüzyon denklemi kullanılmaktadır (Akın vd.,2010). Fick'in ikinci difüzyon denklemi denklem (4.10)'da verilmiştir. Nem miktarı, kurutma sıcaklığı gibi faktörler efektif difüzyon katsayısını etkilemektedir (Rojas vd., 2020).

$$\frac{\partial M}{\partial t} = \nabla\left[D_{eff}(\nabla M)\right] \tag{4.10}$$

Gıda maddelerinde kuruma ince tabaka şeklinde gerçekleşir. Buradan yola çıkılarak Fick'in ikinci yasasında bazı düzenlemeler yapılmış denklem 4.11 elde edilmiştir. Bu denklem düzenlenirken kütle transferinin sadece difüzyon ile gerçekleştiği, difüzyon katsayısının sabit olduğu ve kurutma esnasında sıcaklığın değişmediği varsayılır.

$$\mathrm{NO} = \frac{8}{\pi}\exp\left(-\pi^2 \times \frac{\mathrm{D_{eff}} \times \mathrm{t}}{4 \times \mathrm{L^2}}\right) \tag{4.11}$$

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

Denklem 4.12' de her iki tarafın da logaritması (ln) alınırsa, denklem 4.12 elde edilir.

$$\ln(\mathrm{NO}) = \ln\left(\frac{8}{\pi}\right) - \left(\frac{\pi^2 \times \mathrm{D_{eff}} \times \mathrm{t}}{4\mathrm{L^2}}\right) \tag{4.12}$$

Hesaplanmak istenen D_{eff} değeri için çizilen ln(NO)'ya karşı zaman grafiğinin eğimi, efektif nem difüzyonu katsayısı olan D_{eff}'i verir. Bu formül denklem 4.13 ve 4.14'te verilmiştir (Acar vd., 2013).

$$\mathrm{Eğim} = \left(\frac{\pi^2 \times \mathrm{D_{eff}}}{4\mathrm{L^2}}\right) \tag{4.13}$$

$$\mathrm{D_{eff}} = \left(\frac{\mathrm{Eğim} \times 4\mathrm{L^2}}{\pi^2}\right) \tag{4.14}$$

5
DENEYSEL SONUÇLAR VE TARTIŞMA

5.1 Fenolik Analiz Sonuçları

Mangosten ve Kamkat için Folin Ciacaltue metodu ile ölçülen fenolik içerik miktarları sırası ile tablo 5.1 ve 5.2'de verilmiştir. Fenolik içerik miktarları mg Gallik Asit Eşdeğeri (GAE) / 100 g kuru madde cinsinden ifade edilmiştir. Hem kamkat hem de mangosten numuneleri için en yüksek değerler beklenildiği üzere taze numunelerden elde edilmiştir.

Mangosten numunelerinde askorbik asit ön işlemli numunelerdeki fenolik içerik korunumunun ultrases ön işlemli numunelerden daha yüksek olduğu görülmüştür. 60 saniye süreyle ultrases ön işlemi uygulanan numuneler için fenolik analiz korunumu 30 saniye süre ile ultrases ön işlemi uygulanan numunelerden daha yüksek olmuştur. 60 saniye süreyle askorbik ön işlemi uygulanan numuneler için fenolik analiz korunumu ise 30 saniye süre ile askorbik asit ön işlemi uygulanan numunelerden daha düşük olmuştur.

Tablo 5.1 GAE/100 g kuru madde cinsinden fenolik analiz sonuçları

Numune	Ön İşlem	Durum	mg GAE/100 g Kuru Madde
Mangosten	Ön İşlem Yok	Taze	15,11 ± 0,001
Mangosten	Ön İşlem Yok	Kurutulmuş	14,74 ± 0,018
Mangosten	Ultrases – 30 sn	Kurutulmuş	9,40 ± 0,014
Mangosten	Ultrases – 60 sn	Kurutulmuş	11,12 ± 0,007
Mangosten	% 0,05 ASK – 30 sn	Kurutulmuş	13,77 ± 0,004
Mangosten	% 0,05 ASK – 60 sn	Kurutulmuş	13,42 ± 0,001

Kamkat numunelerinde ise mangosten numunelerinin aksine ultrases ön işlemli numunelerdeki fenolik içerik korunumunun askorbik asit ön işlemli numunelerden daha yüksek olduğu görülmüştür. 60 saniye süreyle ultrases ön işlemi uygulanan numuneler için fenolik analiz korunumu 30 saniye süre ile ultrases ön işlemi

uygulanan numunelerden daha yüksek olmuştur. 60 saniye süreyle askorbik ön işlemi uygulanan numuneler için fenolik analiz korunumu ise 30 saniye süre ile askorbik asit ön işlemi uygulanan numunelerden daha düşük olmuştur.

Tablo 5.2 GAE/100 g kuru madde cinsinden fenolik analiz sonuçları

Numune	**Ön İşlem**	**Durum**	**mg GAE/100 g Kuru Madde**
Kamkat	Ön İşlem Yok	Taze	14,85 ± 0,010
Kamkat	Ön İşlem Yok	Kurutulmuş	13,99 ± 0,004
Kamkat	Ultrases – 30 sn	Kurutulmuş	11,02 ± 0,003
Kamkat	Ultrases – 60 sn	Kurutulmuş	12,91 ± 0,004
Kamkat	% 0,05 ASK – 30 sn	Kurutulmuş	11,26 ± 0,007
Kamkat	% 0,05 ASK – 60 sn	Kurutulmuş	10,50 ± 0,009

5.2 Renk Ölçüm Sonuçları

Taze ve dondurarak kurutucuda kurutulmuş kamkat ve mangostenin L*,a* ve b* değerleri kolorimetre kullanılarak ölçülmüştür. Elde edilen veriler Tablo 5.3 ve Tablo 5.5'te verilmiştir.

Tablo 5.3 Kamkat numuneleri için renk ölçümü değerleri

Ön İşlem	**Durum**	**L***	**a***	**b***
Ön İşlem Yok	Taze	52,7 ± 0,42	3,52 ± 0,30	33,12 ± 0,58
Ön İşlem Yok	Kurutulmuş	63,99 ± 0,65	11,44 ± 0,42	43,36 ± 0,25
% 0,05 ASK – 30 sn	Taze	37,17 ± 0,47	11,32 ± 0,14	24,54 ± 0,66
% 0,05 ASK – 30 sn	Kurutulmuş	63,07 ± 0,31	12,09 ± 0,28	45,05 ± 0,10
% 0,05 ASK – 60 sn	Taze	49,26 ± 0,88	3,61 ± 0,34	27,65 ± 0,53
% 0,05 ASK – 60 sn	Kurutulmuş	65,94 ± 0,08	9,42 ± 0,03	35,92 ± 0,34
Ultrases – 30 sn	Taze	58,68 ± 0,42	2,40 ± 0,23	24,40 ± 0,29
Ultrases – 30 sn	Kurutulmuş	66,72 ± 0,37	7,48 ± 0,39	33,35 ± 0,22
Ultrases – 60 sn	Taze	57,16 ± 0,17	5,70 ± 0,12	23,73 ± 0,15
Ultrases – 60 sn	Kurutulmuş	69,27 ± 0,51	6,64 ± 0,07	31,49 ± 0,14

Kamkat numuneleri için elde edilen verileri incelendiğinde L* değerlerinin dondurarak kurutma sonrası tüm numuneler için taze numunelere göre belirgin bir atış gösterdiği gözlemlenmiştir. Bu da rengin açıklık değerinde bir artış olduğu anlamına gelir. a* değerleri için de dondurarak kurutma sonrası tüm numuneler için taze numunelere göre artış olduğu belirlenmiştir. Bu değer ise rengin yeşil özelliğinde bir artış, kırmızı da azalış olduğu anlamına gelir. b* değerleri incelendiğinde yine kurutulmuş numunelerin tazelerden daha yüksek değerlere sahip olduğu görüşmüştür. Bu renkte sarının daha baskın hale geldiği anlamına gelir.

Toplam renk değişimleri denklem (4.2) kullanılarak hesaplanmıştır. Hesaplanan veriler Tablo 5.4'te verilmiştir. Dondurarak kurutmanın kamkat meyvesinin renk özelliklerindeki değişime etkileri incelendiğinde ise en çok değişikliğin askorbik asit ön işlemli numunelerde, en az değişikliğin ise ultrases ön işlemli numunelerde meydana geldiği belirlenmiştir. Ultrases ön işlemli numunelerin renk değişimleri, ön işlemsiz numunelerin değişikliğinden daha düşük iken, askorbik asit ön işlemli numunelerin değişiklikleri ön işlemsiz numunelerden daha fazladır. 30 saniye ultrases ön işlemi uygulanmış numunelerde 60 saniye ultrases ön işlemi uygulanmış numunelere göre daha az değişiklik gözlemlenmiştir. 30 saniye askorbik asit ön işlemi uygulanmış numunelerde ise 60 saniye askorbik asit ön işlemi uyulanmış numunelere göre daha fazla değişiklik gözlemlenmiştir.

Tablo 5.4 Taze numuneler ile dondurarak kurutulmuş numuneler arasında gerçekleşen toplam renk değişimleri

Numune	**Ön İşlem**	**Taze - FD Sonrası Renk Değişimi**
Kamkat	Ön İşlem Yok	17,17
Kamkat	Ultrases – 30 sn	13,06
Kamkat	Ultrases – 60 sn	14,42
Kamkat	% 0,05 ASK – 30 sn	33,04
Kamkat	% 0,05 ASK – 60 sn	19,51

Mangosten numuneleri için elde edilen verileri incelendiğinde L* değerlerinin dondurarak kurutma sonrası tüm numuneler için taze numunelere göre belirgin bir artış gösterdiği gözlemlenmiştir. Bu da rengin açıklık değerinde bir artış olduğu anlamına gelir. a* değerleri için ise dondurarak kurutma sonrası tüm numuneler için taze numunelere göre bir azalma olduğu belirlenmiştir. Bu değer ise numunelerin renk özelliklerinin yeşilden kırmızıya doğru kaydığı anlamına gelir. b* değerleri incelendiğinde kurutulmuş numunelerin tazelerden daha yüksek değerlere sahip olduğu görüşmüştür. Bu renkte sarının daha baskın hale geldiği anlamına gelir.

Tablo 5.5 Mangosten numuneleri için renk ölçümü değerleri

Ön İşlem	Durum	L*	a*	b*
Ön İşlem Yok	Taze	54,28 ± 0,20	6,50 ± 0,18	12,84 ± 0,50
Ön İşlem Yok	Kurutulmuş	78,84 ± 0,43	4,04 ± 0,20	13,23 ± 0,27
ASK – 30 sn	Taze	57,51 ± 0,23	4,40 ± 0,18	9,00 ± 0,58
ASK – 30 sn	Kurutulmuş	73,35 ± 0,30	6,59 ± 0,12	11,83 ± 0,17
ASK – 60 sn	Taze	54,65 ± 0,21	5,60 ± 0,08	7,26 ± 0,43
ASK – 60 sn	Kurutulmuş	74,56 ± 0,65	6,21 ± 0,34	11,7 ± 0,48
Ultrases – 30 sn	Taze	57,78 ± 0,07	6,48 ± 0,32	8,53 ± 0,33
Ultrases – 30 sn	Kurutulmuş	73,75 ± 0,32	5,49 ± 0,28	11,03 ± 0,44
Ultrases – 60 sn	Taze	53,19 ± 0,14	9,00 ± 0,06	12,85 ± 0,78
Ultrases – 60 sn	Kurutulmuş	73,53 ± 0,61	7,38 ± 0,36	13,75 ± 0,42

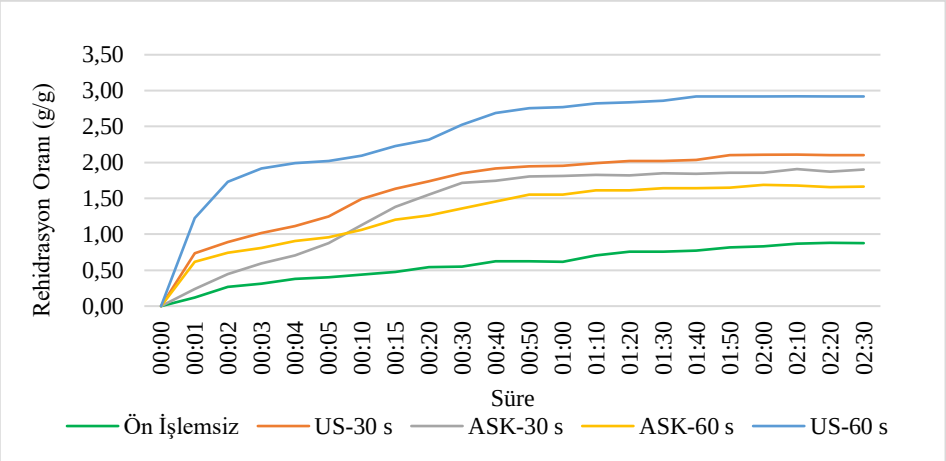
Toplam renk değişimleri denklem (4.2) kullanılarak hesaplanmıştır. Hesaplanan veriler Tablo 5.6'da verilmiştir. Dondurarak kurutmanın mangosten meyvesinin renk özelliklerindeki değişime etkileri incelendiğinde ise en çok değişikliğin ön işlemsiz numunelerde meydana geldiği belirlenmiştir. 30 saniye ultrases ön işlemi uygulanmış numunelerde 60 saniye ultrases ön işlemi uyulanmış numunelere göre daha az değişiklik gözlemlenmiştir. 30 saniye askorbik asit ön işlemi uygulanmış numunelerde ise 60 saniye askorbik asit ön işlemi uyulanmış numunelere göre yine daha az değişiklik gözlemlenmiştir. Ultrases ve askorbik asit ön işlemlerinin sebep olduğu değişiklikler oldukça benzerdir.

Tablo 5.6 Mangosten numuneleri için toplam renk değişimi değerleri

Numune	Ön İşlem	Tazeden FD Sonrasına Renk Değişimi
Mangosten	Ön İşlem Yok	24,94
Mangosten	Ultrases – 30 sn	16,20
Mangosten	Ultrases – 60 sn	20,42
Mangosten	% 0,05 ASK – 30 sn	16,25
Mangosten	% 0,05 ASK – 60 sn	20,41

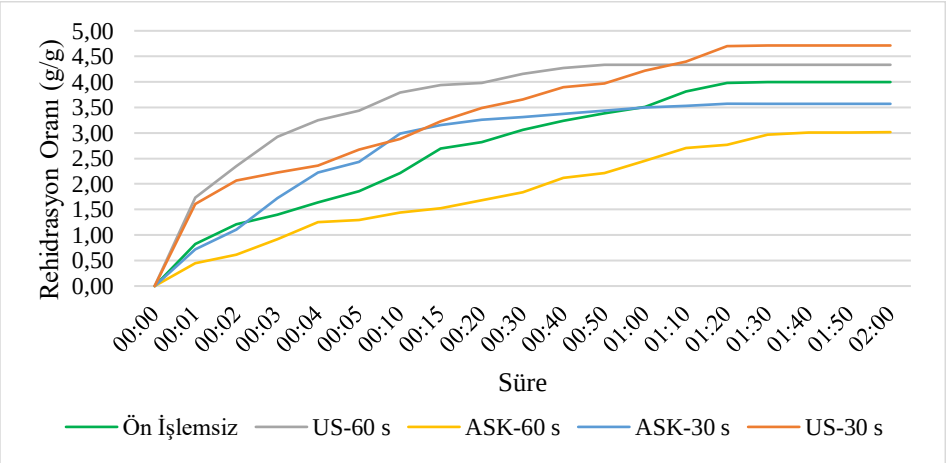
5.3 Rehidrasyon Kapasitesi Sonuçları

Kamkat meyvesi için gerçekleştirilen rehidrasyon kapasitesi deneyleri sonucunda elde edilen veriler grafik olarak Şekil 5.1'de verilmiştir. 60 saniye ultrases ön işlemi uygulanmış kamkat numunesinin en fazla rehidrasyon oranına sahip olduğu, ikinci en yüksek rehidrasyon oranına ise 30 saniye ultrases ön işlemli kamkatın sahip olduğu belirlenmiştir. 30 ve 60 saniye askorbik asit ön işlemli numuneler çok yakın sonuçlar vermişlerdir. En düşük rehidrasyon oranı ise ön işlemsiz numune için ölçülmüştür. Deneyler 150. dakikaya kadar devam ettirilmiştir ancak numunelerde 130. dakika itibari ile herhangi bir artış gözlemlenmemiştir. Ultrases ön işlemli numuneler için rehidrasyon süreci daha hızlı tamamlanmıştır. En yavaş ise ön işlemsiz numune için tamamlandığı söylenebilir.



Şekil 5.1 Kamkat numuneleri için rehidrasyon eğrileri

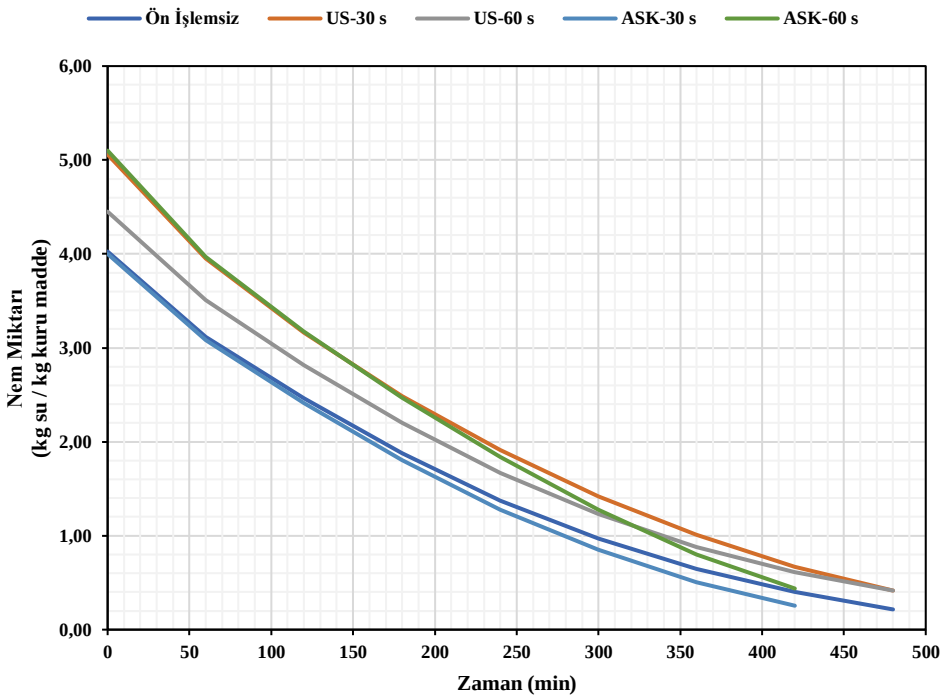
Mangosten meyvesi için gerçekleştirilen rehidrasyon kapasitesi deneylerinde elde edilen verilerle oluşturulan grafik Şekil 5.2'de verilmiştir. Ultrases ön işlemli ve ön işlemsiz numunelerin, askorbik asit ön işlemli numunelere göre çok daha yüksek rehidrasyon oranına sahip olduğu gözlemlenmiştir. Rehidrasyon oranı sıralaması yüksekten düşüğe sırası ile 60 saniye ultrases ön işlemli, ön işlemsiz, 30 saniye ultrases ön işlemli, 60 saniye askorbik asit ön işlemli, 30 saniye askorbik asit ön işlemli numuneler için gözlemlenmiştir. Askorbik asit ön işlemli numunelerin başlangıç ağırlıklarının diğer numunelere oranla daha düşük olması da bu sonuçların üzerinde etkisi olduğu düşünülmektedir. Mangostenin dilimli yapısı ve elde edilmesi oldukça zor bir meyve olması sebebi ile ağırlıkları tamamen aynı numuneler ile çalışılamamıştır. Ayrıca başlangıç nem verilerine bakıldığında 60 sn askorbik asit ön işlemli numunenin başlangıç neminin 30 saniyeden daha düşük olduğu, ön işlemin ardından ölçülen nem değerinde daha fazla düşüş meydana geldiği saptanmıştır. Askorbik asit ön işleminin gözeneklerde deformasyonlara sebep olmuş olabileceği ve başlangıç için nemi içeride tutma, kurutma sonrasında ise buna paralel olarak su alma özelliklerini olumsuz etkileyebileceği düşünülmüştür. Deneye toplam 120 dakika devam edilmiştir. Askorbik asit ön işlemli numuneler için 70. dakika itibari ile su alımının durduğu gözlemlenmiştir. Ön işlemsiz ve 30 saniye ultrases ön işlemli numuneler için ise su alımı 80. dakika itibari ile durmuştur. En yüksek rehidrasyon oranına sahip olan 60 saniye ultrases ön işlemli mangosten için ise su alımı 90. dakikaya kadar devam etmiş ve ardından ağırlıkta herhangi bir artış gözlemlenmemiştir.



Şekil 5.2 Mangosten numuneleri için rehidrasyon eğrileri

5.4 Dondurarak Kurutucuda Kurutulan Kamkat Meyvesi İçin Kurutma Eğrileri

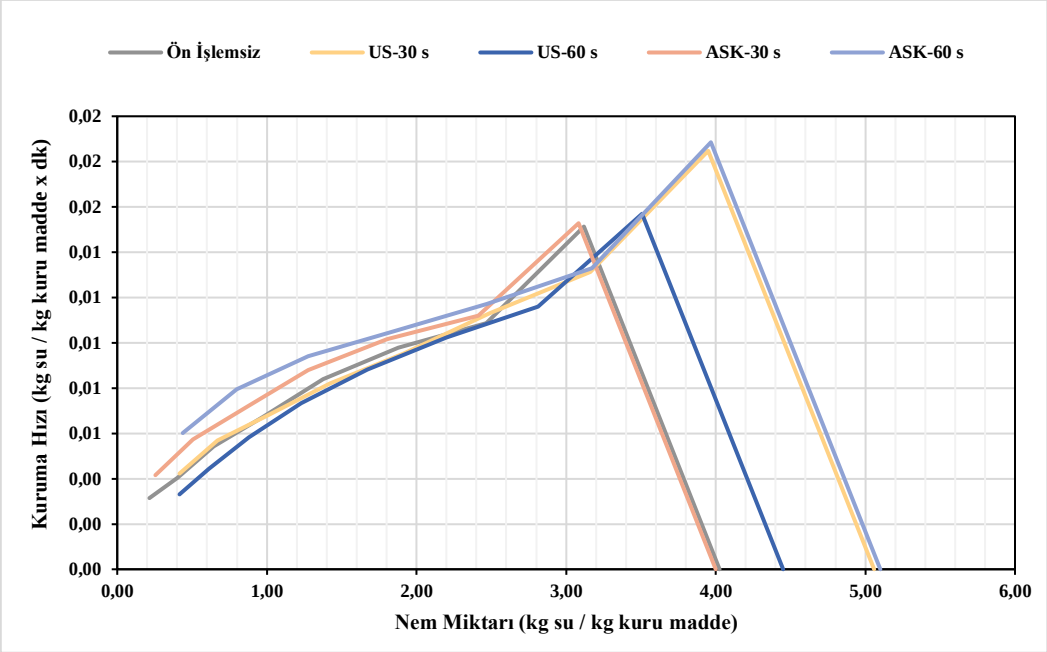
Kamkat numuneleri dondurarak kurutucuda toplamda 9 saat kurutulmuştur. Saat başı alınan tartımlar ile oluşturulan kurutma eğrileri Şekil 5.3'teki grafik ile gösterilmiştir. 30 saniye ve 60 saniye askorbik asit ön işlemi uygulanmış kamkat numuneleri için kurutma işlemi 420. dakikada tamamlanmıştır. Ön işlemsiz ve ultrases ön işlemli numuneler için ise kurutma işlemi 480. dakika itibari ile tamamlanmıştır. Kurutma sonrası 30 saniye ultrases ön işlemli ve 60 saniye ultrases ön işlemli numuneler için nem miktarları 0,4159 ve 0,4160 olarak ölçülmüştür. 30 saniye askorbik asit ön işlemli ve 60 saniye askorbik asit ön işlemli numuneler için ise nem miktarları 0,2548 ve 0,1707 olarak ölçülmüştür. Ön işlemsiz numuneler için ise 0,2148 olarak ölçülmüştür. Grafikler incelendiğinde askorbik asit ön işlemli numunelerin ultrases ön işlemli ve ön işlemsiz numunelere göre daha hızlı kuruduğu gözlemlenmiştir.



Şekil 5.3 Kamkat numuneleri için zamana bağlı nem miktarı grafiği

Şekil 5.4'te kamkat için kuruma hızı grafikleri verilmiştir. Kurutma sürecinin başında tüm numuneler için hızla artan kurutma hızları gözlemlenmiştir. Bu artış

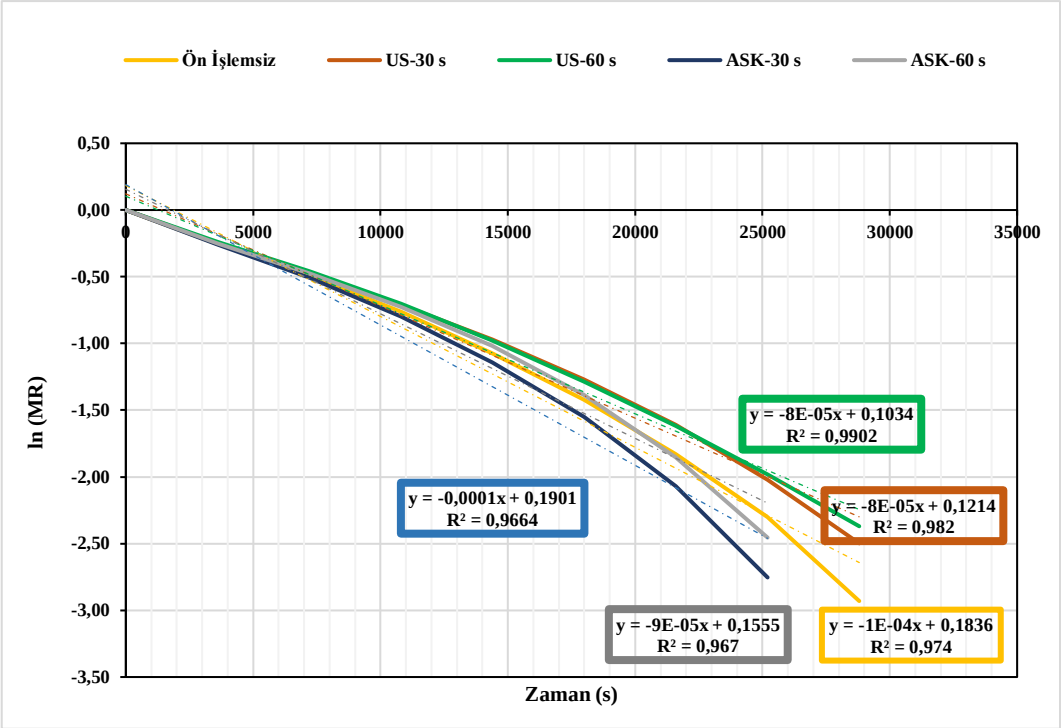
periyodunun sonunda kurutma hızları ön işlemsiz kamkat için en yüksek 0,0151 kg su/ kg kuru madde, 30 saniye ultrases ön işlemli kamkat için en yüksek 0,0185 kg su/ kg kuru madde, 60 saniye ultrases ön işlemli kamkat için en yüksek 0,0157 kg su/ kg kuru madde, 30 saniye askorbik asit ön işlemli kamkat için en yüksek 0,0153 kg su/ kg kuru madde, 60 saniye askorbik asit ön işlemli kamkat için en yüksek 0,0189 kg su/ kg kuru madde, olacak şekilde gözlemlenmiştir. Bu kurutma hızları sırasıyla 0,0031 kg su/ kg kuru madde, 0,0042 kg su/ kg kuru madde, 0,0033 kg su/ kg kuru madde, 0,0042 kg su/ kg kuru madde, 0,0045 kg su/ kg kuru madde değerlerine kadar düşmüştür.



Şekil 5.4 Kamkat numuneleri için nem miktarı – kuruma hızı grafiği

5.5 Dondurarak Kurutucuda Kurutulan Kamkat Meyvesi İçin Efektif Difüzyon Katsayıları

Efektif nem difüzyon katsayısı hesaplanırken Fick'in ikinci difüzyon yasası kullanılmıştır. Bunun için öncelikle kurutma sürelerine karşı nem miktarlarının logaritmaları alınarak elde edilen değerler ile Şekil 5.5'teki grafik elde edilmiştir. Çizilen grafiklerdeki eğriler için ölçülen eğimler denklem (4.14)'te yerine koyularak efektif nem difüzyon kat sayıları hesaplanmıştır. Hesaplanan efektif nem difüzyon katsayıları Tablo 5.7'de verilmiştir.

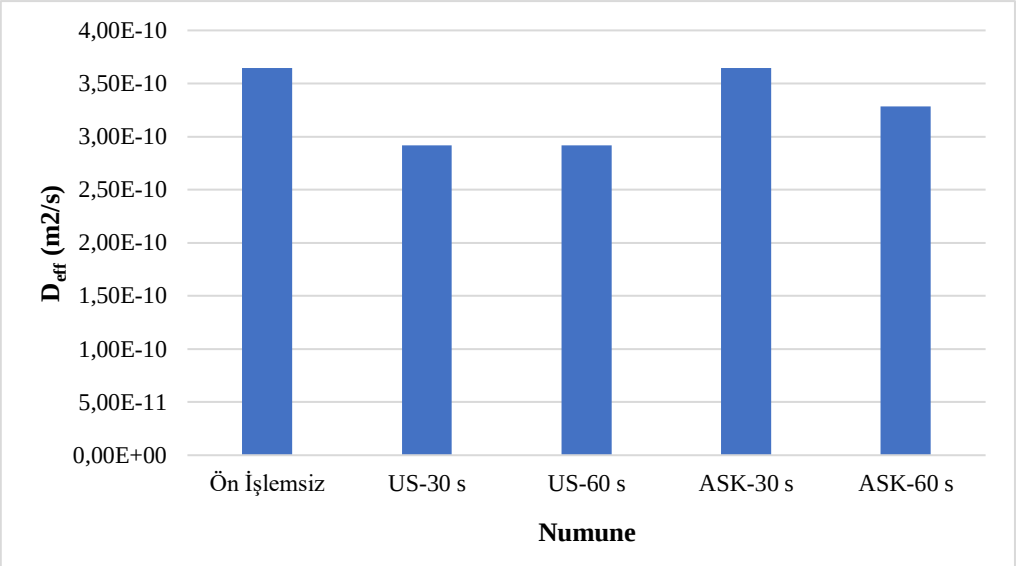


Şekil 5.5 Kamkat numunelerine ait efektif nem difüzyon eğrileri

Tablo 5.7 Kamkat numuneleri için D_{eff} değerleri

Numune	**Ön İşlem**	**D_{eff}**
Kamkat	Ön İşlem Yok	$3{,}65 \times 10^{-10}$
Kamkat	Ultrases – 30 sn	$2{,}92 \times 10^{-10}$
Kamkat	Ultrases – 60 sn	$2{,}92 \times 10^{-10}$
Kamkat	% 0,05 ASK – 30 sn	$3{,}65 \times 10^{-10}$
Kamkat	% 0,05 ASK – 60 sn	$3{,}28 \times 10^{-10}$

Şekil 5.6'da rahatlıkla görülebileceği gibi ön işlemsiz ve 30 saniye askorbik asit ön işlemli numuneler en yüksek efektif nem difüzyon katsayılarına sahip iken, ultrases ön işlemli numuneler ise hesaplanan en düşük efektif nem difüzyon katsayılarına sahiptir.



Şekil 5.6 Kamkat numuneleri için D_{eff} değerleri

5.6 Dondurarak Kurutucuda Kurutulan Kamkat Meyvesi İçin Matematiksel Modelleme Sonuçları

Dondurarak kurutucuda ön işlemsiz, 30 saniye ve 60 saniye ultrases ön işlemli, 30 saniye ve 60 saniye askorbik asit ön işlemli kamkat numuneleri 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 modelleri en yüksek R^2 değerleri ve en düşük χ^2 ile HKOK değerlerine sahip olarak en yakın sonuçları yakalamışlardır. R^2 değerleri ön işlemsiz, 30 saniye ve 60 saniye ultrases ön işlemli, 30 saniye ve 60 saniye askorbik asit ön işlemli kamkat numuneleri sırasıyla Alibas için; 0,999953, 0,999978, 0,999949, 0,999918 ve 0,999861, Midilli için; 0,999842, 0,999928, 0,999856, 0,999849 ve 0,999755, İki Terimli için; 0,999888, 0,99988, 0,999894, 0,999883 ve 0,999756 olarak, χ^2 değerleri ise sırası ile Alibas için; 0,00002, 0,000008, 0,00002, 0,000041 ve 0,000061, Midilli için; 0,000053, 0,000022, 0,000045, 0,000057 ve 0,000086, İki Terimli için; 0,000038, 0,000037, 0,000033, 0,000044 ve 0,000085 olarak hesaplanmıştır. HKOK değerleri ise sırası ile Alibas için; 0,002972, 0,001933, 0,002962, 0,00394 ve 0,0052, Midilli için; 0 0,005436, 0,003513, 0,004982, 0,005342 ve 0,006897, İki Terimli için; 0,004578, 0,00454, 0,004272, 0,004708 ve 0,006874 olarak hesaplanmıştır. Matematiksel

modelleme parametrelerinin tümü Tablo 5.8, Tablo 5.9, Tablo 5.10 ve Tablo 5.11'de sunulmuştur.

Tablo 5.8 Kamkat numuneleri için elde edilen matematiksel model sabitleri ve istatistiksel parametreler

Model	**Parametre**	**Ön İşlemsiz**	**US-30 s**	**US-60 s**	**ASK-30 s**	**ASK-60 s**
Aghbashlo vd.	k_1	0,0037	0,0036	0,0036	0,0037	0,0034
	k_2	-0,0008	-0,0006	-0,0006	-0,0010	-0,0010
	R^2	0,9997	0,9995	0,9999	0,9997	0,9992
	χ^2	0,0001	0,0001	0,0000	0,0001	0,0002
	HKOK	0,0070	0,0090	0,0049	0,0079	0,0127
Alibas	a	7,7847	4,4144	4,0097	3,3194	5,0956
	k	0,0011	0,0017	0,0016	0,0019	0,0014
	n	0,9627	0,9211	0,9677	0,9703	0,9454
	b	0,0037	0,0018	0,0020	0,0016	0,0021
	g	-6,7860	-3,4151	-3,0110	-2,3208	-4,0978
	R^2	1,0000	1,0000	0,9999	0,9999	0,9999
	χ^2	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0001
	HKOK	0,0030	0,0019	0,0030	0,0039	0,0052
Midilli vd.	a	0,9977	0,9988	0,9979	0,9983	0,9976
	k	0,0034	0,0045	0,0032	0,0035	0,0038
	n	1,0252	0,9499	1,0245	1,0146	0,9752
	b	-0,0002	-0,0003	-0,0002	-0,0003	-0,0004
	R^2	0,9998	0,9999	0,9999	0,9998	0,9998
	χ^2	0,0001	0,0000	0,0000	0,0001	0,0001
	HKOK	0,0054	0,0035	0,0050	0,0053	0,0069

Tablo 5.9 Kamkat numuneleri için elde edilen matematiksel model sabitleri ve istatistiksel parametreler (devamı)

Model	Parametre	Ön İşlemsiz	US-30 s	US-60 s	ASK-30 s	ASK-60 s
İki Teirmli	a	2,3999	1,0342	2,3947	2,1469	1,3494
	b	0,0026	0,0036	0,0025	0,0025	0,0027
	k_0	-1,4027	-0,0387	-1,3968	-1,1496	-0,3556
	k_1	0,0016	-0,0021	0,0017	0,0012	0,0001
	R^2	0,9999	0,9999	0,9999	0,9999	0,9998
	χ^2	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0001
	HKOK	0,0046	0,0045	0,0043	0,0047	0,0069
Henderson	a	1,0264	1,0178	1,0208	1,0297	1,0322
	k	0,0048	0,0044	0,0043	0,0050	0,0047
	R^2	0,9955	0,9968	0,9973	0,9937	0,9916
	χ^2	0,0011	0,0007	0,0006	0,0016	0,0021
	HKOK	0,0291	0,0234	0,0215	0,0346	0,0402
Jena ve Das	a	15,9664	1,6163	3,1668	0,7857	1,7531
	k	0,0059	0,0050	0,0051	0,0064	0,0060
	b	0,0181	0,0120	0,0132	0,0220	0,0221
	c	-2,7767	-0,4859	-1,1578	0,2352	-0,5703
	R^2	0,9976	0,9979	0,9987	0,9968	0,9949
	χ^2	0,0008	0,0006	0,0004	0,0012	0,0018
	HKOK	0,0211	0,0188	0,0151	0,0247	0,0315
Lewis	k	0,0047	0,0043	0,0042	0,0049	0,0046
	R^2	0,9949	0,9965	0,9969	0,9928	0,9907
	χ^2	0,0011	0,0007	0,0006	0,0015	0,0020
	HKOK	0,0310	0,0245	0,0231	0,0368	0,0423

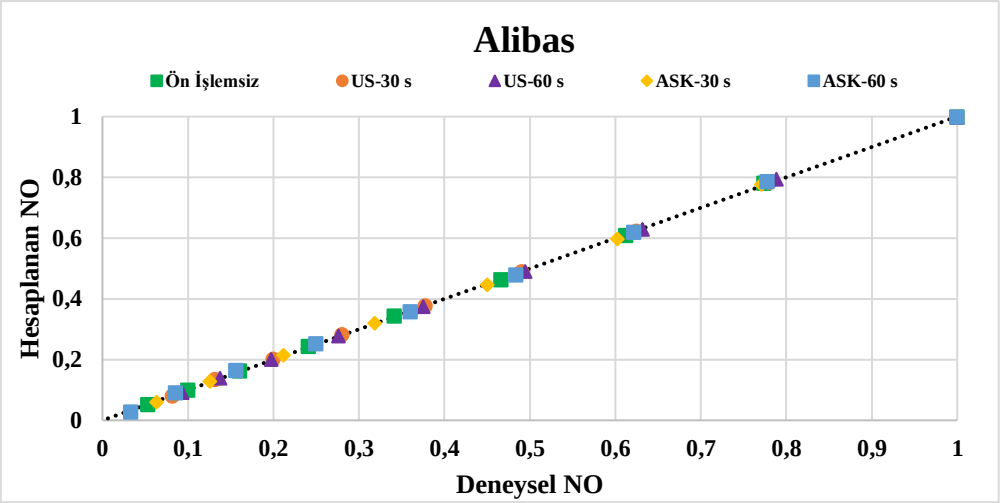
Tablo 5.10 Kamkat numuneleri için elde edilen matematiksel model sabitleri ve istatistiksel parametreler (devamı)

Model	**Parametre**	**Ön İşlemsiz**	**US-30 s**	**US-60 s**	**ASK-30 s**	**ASK-60 s**
Logaritmik	A	1,1900	1,1706	1,1563	1,2876	1,3069
	k	0,0033	0,0031	0,0032	0,0031	0,0028
	c	-0,1915	-0,1770	-0,1574	-0,2896	-0,3130
	R^2	0,9999	0,9999	0,9999	0,9999	0,9998
	χ^2	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0001
	HKOK	0,0050	0,0050	0,0046	0,0049	0,0069
Page	k	0,0017	0,0021	0,0020	0,0015	0,0012
	n	1,1818	1,1282	1,1371	1,2229	1,2381
	R^2	0,9986	0,9986	0,9993	0,9982	0,9968
	χ^2	0,0003	0,0003	0,0002	0,0005	0,0008
	HKOK	0,0161	0,0156	0,0113	0,0187	0,0251
Parabolik	a	0,9860	0,9814	0,9878	0,9903	0,9844
	b	-0,0035	-0,0032	-0,0033	-0,0036	-0,0033
	c	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000
	R^2	0,9996	0,9993	0,9997	0,9998	0,9996
	χ^2	0,0001	0,0002	0,0001	0,0001	0,0001
	HKOK	0,0082	0,0109	0,0071	0,0065	0,0092
Verma	a	1,0891	1,0552	1,0647	1,1097	1,1067
	k	0,0051	0,0045	0,0045	0,0054	0,0051
	g	1,0000	1,0000	1,0000	1,0000	1,0000
	R^2	0,9968	0,9974	0,9982	0,9958	0,9936
	χ^2	0,0009	0,0007	0,0005	0,0013	0,0019
	HKOK	0,0243	0,0210	0,0178	0,0282	0,0352

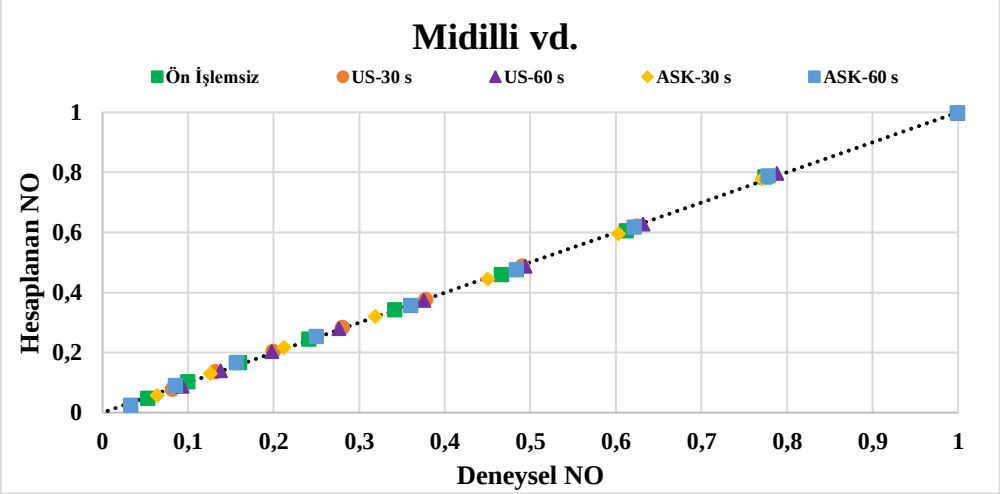
Tablo 5.11 Kamkat numuneleri için elde edilen matematiksel model sabitleri ve istatistiksel parametreler (devamı)

Model	Parametre	Ön İşlemsiz	US-30 s	US-60 s	ASK-30 s	ASK-60 s
Wang	a	-0,0036	-0,0034	-0,0034	-0,0037	-0,0034
	b	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000
	R^2	0,9995	0,9990	0,9996	0,9997	0,9994
	χ^2	0,0001	0,0002	0,0001	0,0001	0,0002
	HKOK	0,0100	0,0133	0,0087	0,0077	0,0112
Weibull	b	218,110	235,746	237,414	207,1752	221,9221
	a	1,1818	1,1282	1,1371	1,2229	1,2381
	R^2	0,9986	0,9986	0,9993	0,9982	0,9968
	χ^2	0,0003	0,0003	0,0002	0,0005	0,0008
	HKOK	0,0161	0,0156	0,0113	0,0187	0,0251
İki Terimli Üstel	a	0,0024	0,0020	0,0027	0,0019	0,0024
	k	1,9213	2,1416	1,5417	2,6131	1,9008
	R^2	0,9947	0,9964	0,9968	0,9927	0,9906
	χ^2	0,0013	0,0008	0,0007	0,0018	0,0023
	HKOK	0,0314	0,0248	0,0236	0,0370	0,0426

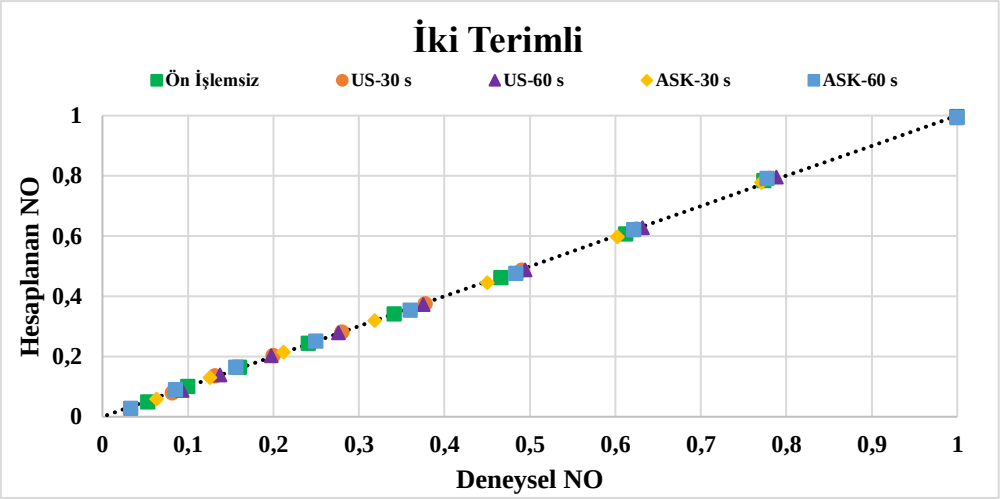
Seçilen modelleri doğrulamak için, kurutma hızı ve deneysel kurutma hızı grafikleri, tüm ön işlemler için Şekil 5.7, 5.8 ve 5.9'da en uygun modeller kullanılarak gösterilmektedir. Aşağıda 0,999 ve daha yüksek R^2 değerlerine sahip modellere yer verilmiştir. Elde edilen deneysel veriler grafikte kesiştirilmiş ve bir doğru üzerinde toplanmıştır. Şekil 5.7, 5.8 ve 5.9'da görülebildiği üzere sırası ile Alibas, Midilli ve İki Terimli vd. modellerinde deneysel ve hesaplanan veriler grafikte bir uyum içerisindedir.



Şekil 5.7 Dondurarak kurutucuda kurutulmuş kamkat numuneleri için deneysel ve Alibas modeli ile hesaplanan kurutma hızları



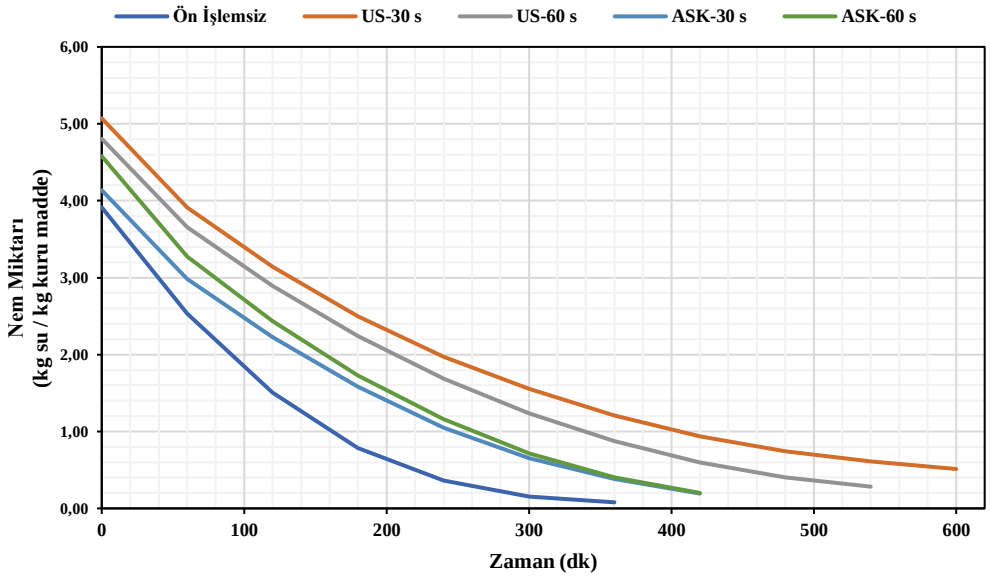
Şekil 5.8 Dondurarak kurutucuda kurutulmuş kamkat numuneleri için deneysel ve Midilli vd. modeli ile hesaplanan kurutma hızları



Şekil 5.9 Dondurarak kurutucuda kurutulmuş kamkat numuneleri için deneysel ve İki Terimli model ile hesaplanan kurutma hızları

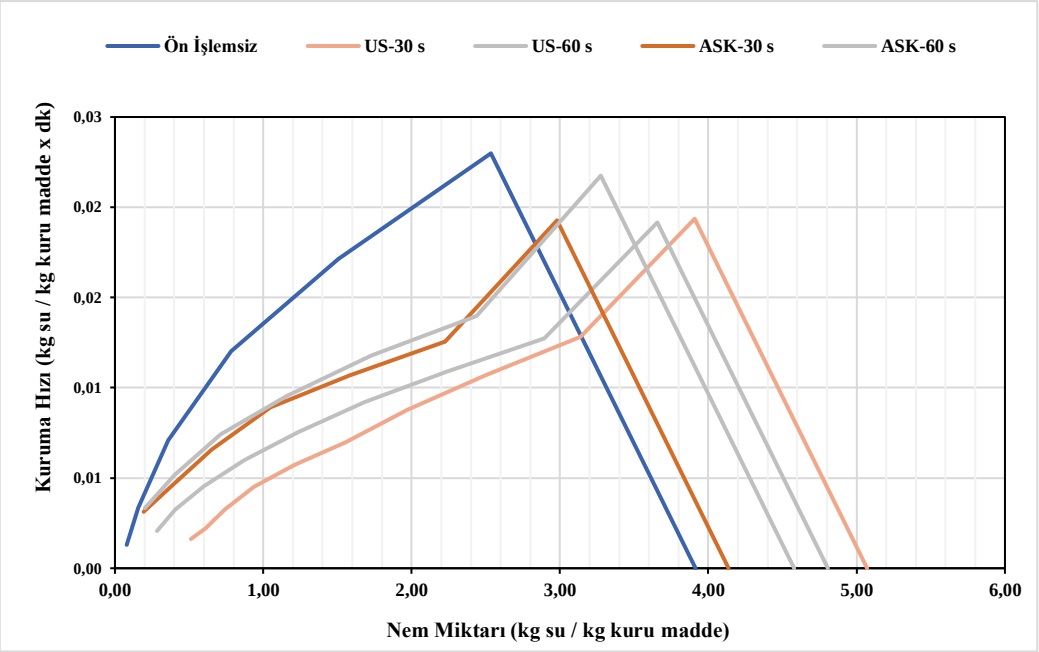
5.7 Dondurarak Kurutucuda Kurutulan Mangosten Meyvesi İçin Kurutma Eğrileri

Mangosten numuneleri dondurarak kurutucuda toplamda 11 saat kurutulmuştur. Saat başı alınan tartımlar ile oluşturulan kurutma eğrileri Şekil 5.10'daki grafik ile gösterilmiştir. Kurutma işlemi farklı numuneler için farklı zamanlarda tamamlanmıştır. Kurutma işlemi 30 saniye ultrases ön işlemli ve 60 saniye ultrases ön işlemli numuneler için sırasıyla 600 dakika ve 540 dakikada, 30 saniye askorbik asit ön işlemli ve 60 saniye askorbik asit ön işlemli numuneler için 420 dakikada, ön işlemsiz numuneler için ise 360 dakikada tamamlanmıştır. Kurutma sonrası 30 saniye ultrases ön işlemli ve 60 saniye ultrases ön işlemli numuneler için nem miktarları 0,5123 ve 0,2832 olarak ölçülmüştür. 30 saniye askorbik asit ön işlemli ve 60 saniye askorbik asit ön işlemli numuneler için ise nem miktarları 0,1934 ve 0,2019 olarak ölçülmüştür. Ön işlemsiz numuneler için ise 0,0792 olarak ölçülmüştür. Mangostenin dilimli yapısı sebebi ile eşit ağırlıklarda ve ölçülerde numuneler ile çalışılamadığından başlangıç nem miktarlarında da farklılıklar oluşmuştur. Başlangıç nem miktarı daha düşük olan numunelerin daha hızlı kuruduğu gözlemlenmiştir.



Şekil 5.10 Mangosten numuneleri için zamana bağlı nem miktarı grafiği

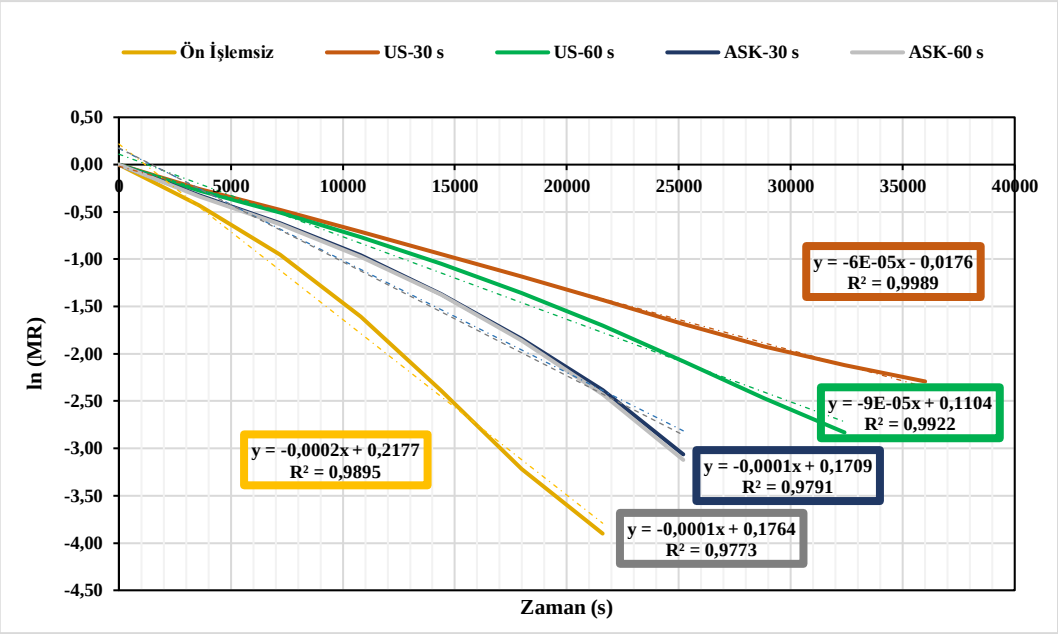
Şekil 5.11'de mangosten için kuruma hızı grafikleri verilmiştir. Kurutma sürecinin başında tüm numuneler için hızla artan kurutma hızları gözlemlenmiştir. Bu artış periyodunun sonunda kurutma hızları ön işlemsiz mangosten için en yüksek 0,0230 kg su/ kg kuru madde, 30 saniye ultrases ön işlemli mangosten için en yüksek 0,0194 kg su/ kg kuru madde, 60 saniye ultrases ön işlemli mangosten için en yüksek 0,0192 kg su/ kg kuru madde, 30 saniye askorbik asit ön işlemli mangosten için en yüksek 0,0193 kg su/ kg kuru madde, 60 saniye askorbik asit ön işlemli mangosten için en yüksek 0,0218 kg su/ kg kuru madde, olacak şekilde gözlemlenmiştir. Bu kurutma hızları sırasıyla 0,0013 kg su/ kg kuru madde, 0,0016 kg su/ kg kuru madde, 0,0021 kg su/ kg kuru madde, 0,0031 kg su/ kg kuru madde, 0,0033 kg su/ kg kuru madde değerlerine kadar düşmüştür.



Şekil 5.11 Mangosten numuneleri için nem miktarı – kuruma hızı grafiği

5.8 Dondurarak Kurutucuda Kurutulan Mangosten Meyvesi İçin Efektif Difüzyon Katsayıları

Efektif nem difüzyon katsayısı hesaplanırken Fick'in ikinci difüzyon yasası kullanılmıştır. Bunun için öncelikle kurutma sürelerine karşı nem miktarlarının logaritmaları alınarak elde edilen değerler ile Şekil 5.12'deki grafik elde edilmiştir. Çizilen grafiklerdeki eğriler için ölçülen eğimler denklem (4.14)'te yerine koyularak efektif nem difüzyon kat sayıları hesaplanmıştır. Hesaplanan efektif nem difüzyon katsayıları Tablo 5.12'de verilmiştir.

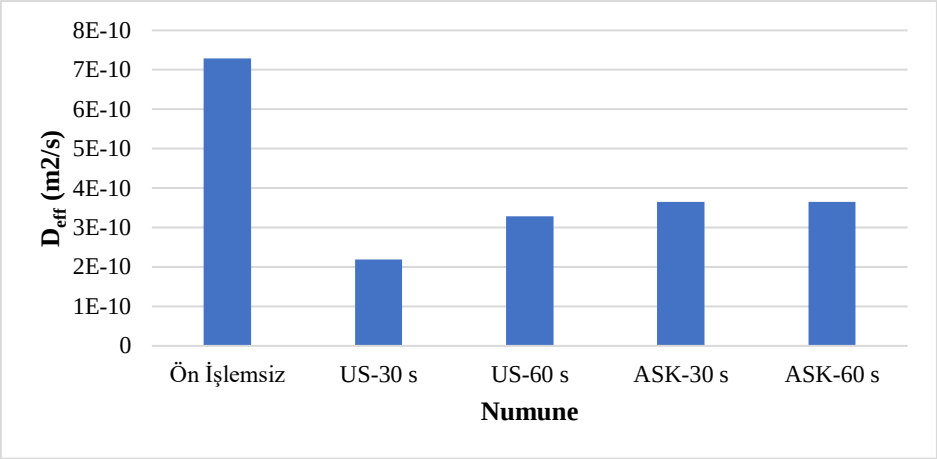


Şekil 5.12 Mangosten numunelerine ait efektif nem difüzyon eğrileri

Tablo 5.12 Mangosten numuneleri için D_{eff} değerleri

Numune	**Ön İşlem**	**D_{eff}**
Mangosten	Ön İşlem Yok	$7{,}30 \times 10^{-10}$
Mangosten	Ultrases – 30 sn	$2{,}19 \times 10^{-10}$
Mangosten	Ultrases – 60 sn	$3{,}28 \times 10^{-10}$
Mangosten	% 0,05 ASK – 30 sn	$3{,}65 \times 10^{-10}$
Mangosten	% 0,05 ASK – 60 sn	$3{,}65 \times 10^{-10}$

Şekil 5.13'te görülebileceği gibi ön işlemsiz numuneler en yüksek efektif nem difüzyon katsayılarına sahiptir. 30 saniye ve 60 saniye askorbik asit ön işlemli numuneler için çok yakın değerler elde edilmiştir. Ultrases ön işlemli numuneler ise hesaplanan en düşük efektif nem difüzyon katsayılarına sahiptir. 60 saniye ultrases ön işlemli numuneler için hesaplanan efektif nem difüzyon katsayısı, 30 saniye ultrases ön işlemli numuneler için hesaplanan efektif nem difüzyon katsayısından daha yüksektir. Ön işlemsiz numuneler ise en yüksek efektif nem difüzyon katsayısına sahiptir.



Şekil 5.13 Mangosten numuneleri için D_{eff} değerleri

5.9 Dondurarak Kurutucuda Kurutulan Mangosten Meyvesi İçin Matematiksel Modelleme Sonuçları

Dondurarak kurutucuda ön işlemsiz, 30 saniye ve 60 saniye ultrases ön işlemli, 30 saniye ve 60 saniye askorbik asit ön işlemli mangosten numuneleri 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 vd. ve Aghbashlo vd. modelleri en yüksek R^2 değerleri ve en düşük χ^2 ile HKOK değerlerine sahip olarak en yakın sonuçları yakalamışlardır. R^2 değerleri ön işlemsiz, 30 saniye ve 60 saniye ultrases ön işlemli, 30 saniye ve 60 saniye askorbik asit ön işlemli mangosten numuneleri için sırasıyla Alibas için; 0,999791, 0,999979, 0,999939, 0,999894 ve 0,999909, Midilli vd. için; 0,999849, 0,999837, 0,999738, 0,999737 ve 0,999763, Aghbashlo vd. için; 0,999906, 0,999795, 0,999661, 0,999557 ve 0,999455 olarak, χ^2 değerleri ise sırası ile Alibas için; 0,000168, 0,000006, 0,000022, 0,000055 ve 0,000048, Midilli vd. için; 0,000081, 0,00004, 0,000067, 0,000103 ve 0,000093, Aghbashlo vd. için; 0,00003, 0,00004, 0,000076, 0,000115 ve 0,000142 olarak hesaplanmıştır. HKOK değerleri ise sırası ile Alibas için; 0,006937, 0,0018, 0,0033, 0,004561 ve 0,004228, Midilli vd. için; 0,005898, 0,00507, 0,006857, 0,007163 ve 0,006812, Aghbashlo vd. için; 0,004659, 0,005688, 0,007794, 0,009307 ve 0,010325 olarak hesaplanmıştır. Matematiksel modelleme parametrelerinin tümü Tablo 5.13, Tablo 5.14, Tablo 5.15 ve Tablo 5.16'da sunulmuştur.

Tablo 5.13 Mangosten numuneleri için elde edilen matematiksel model sabitleri ve istatistiksel parametreler

Model	Parametre	Ön İşlemsiz	US-30 s	US-60 s	ASK-30 s	ASK-60 s
Aghbashlo vd.	k_1	0,0068	0,0040	0,0040	0,0047	0,0048
	k_2	-0,0013	0,0001	-0,0004	-0,0008	-0,0007
	R^2	0,9999	0,9998	0,9997	0,9996	0,9995
	χ^2	0,0000	0,0000	0,0001	0,0001	0,0001
	HKOK	0,0047	0,0057	0,0078	0,0093	0,0103
Alibas	a	8,9933	3,1445	5,3740	4,2842	4,1625
	k	-0,0001	0,0026	0,0017	0,0023	0,0025
	n	1,3558	0,9038	0,9288	0,9331	0,9191
	b	-0,0090	0,0015	0,0026	0,0026	0,0024
	g	-7,9930	-2,1454	-4,3757	-3,2856	-3,1638
	R^2	0,9998	1,0000	0,9999	0,9999	0,9999
	χ^2	0,0002	0,0001	0,0001	0,0001	0,0000
	HKOK	0,0069	0,0018	0,0033	0,0046	0,0042
Midilli vd.	a	0,9988	0,9975	0,9970	0,9981	0,9983
	k	0,0031	0,0045	0,0042	0,0050	0,0056
	n	1,2023	0,9741	0,9962	0,9946	0,9753
	b	0,0000	0,0000	-0,0001	-0,0002	-0,0002
	R^2	0,9998	0,9998	0,9997	0,9997	0,9998
	χ^2	0,0001	0,0000	0,0001	0,0001	0,0001
	HKOK	0,0059	0,0051	0,0069	0,0072	0,0068
İki Terimli	a	4,6490	-8,6980	-0,6589	1,3407	1,1114
	b	-3,6404	0,0039	0,0019	0,0040	0,0045
	k_0	0,0052	9,6909	1,6529	-0,3451	-0,1161
	k_1	0,0045	0,0039	0,0032	0,0012	-0,0002
	R^2	0,9993	0,9998	0,9998	0,9998	0,9998
	χ^2	0,0002	0,0000	0,0001	0,0001	0,0001
	HKOK	0,0130	0,0056	0,0064	0,0068	0,0069

Tablo 5.14 Mangosten numuneleri için elde edilen matematiksel model sabitleri ve istatistiksel parametreler (devamı)

Model	Parametre	Ön İşlemsiz	US-30 s	US-60 s	ASK-30 s	ASK-60 s
Henderson	a	1,0236	0,9928	1,0128	1,0176	1,0161
	k	0,0087	0,0039	0,0046	0,0058	0,0059
	R^2	0,9963	0,9998	0,9982	0,9966	0,9967
	χ^2	0,0012	0,0000	0,0004	0,0009	0,0009
	HKOK	0,0293	0,0056	0,0182	0,0256	0,0253
Jena ve Das	a	1,0187	0,6466	2,3391	23,9806	2,1721
	k	0,0119	0,0038	0,0052	0,0069	0,0069
	b	0,0387	-0,0025	0,0094	0,0163	0,0153
	c	-0,0197	0,4346	-0,855	-3,1815	-0,7799
	R^2	0,9994	0,9999	0,9987	0,9980	0,9979
	χ^2	0,0003	0,0000	0,0004	0,0008	0,0008
	HKOK	0,0118	0,0048	0,0150	0,0199	0,0203
Lewis	k	0,0086	0,0040	0,0046	0,0057	0,0058
	R^2	0,9958	0,9998	0,9980	0,9964	0,9965
	χ^2	0,0011	0,0000	0,0004	0,0008	0,0008
	HKOK	0,0309	0,0062	0,0188	0,0266	0,0261
Logaritmik	a	1,0923	0,9879	1,0818	1,1311	1,1253
	k	0,0072	0,0040	0,0038	0,0044	0,0045
	c	-0,0823	0,0066	-0,086	-0,1347	-0,1302
	R^2	0,9990	0,9998	0,9998	0,9998	0,9998
	χ^2	0,0004	0,0000	0,0001	0,0001	0,0001
	HKOK	0,0155	0,0054	0,0065	0,0069	0,0069
Page	k	0,0027	0,0045	0,0027	0,0027	0,0028
	n	1,2316	0,9786	1,0929	1,1433	1,1343
	R^2	0,9998	0,9998	0,9991	0,9986	0,9985
	χ^2	0,0001	0,0000	0,0002	0,0004	0,0004
	HKOK	0,0071	0,0052	0,0126	0,0164	0,0171

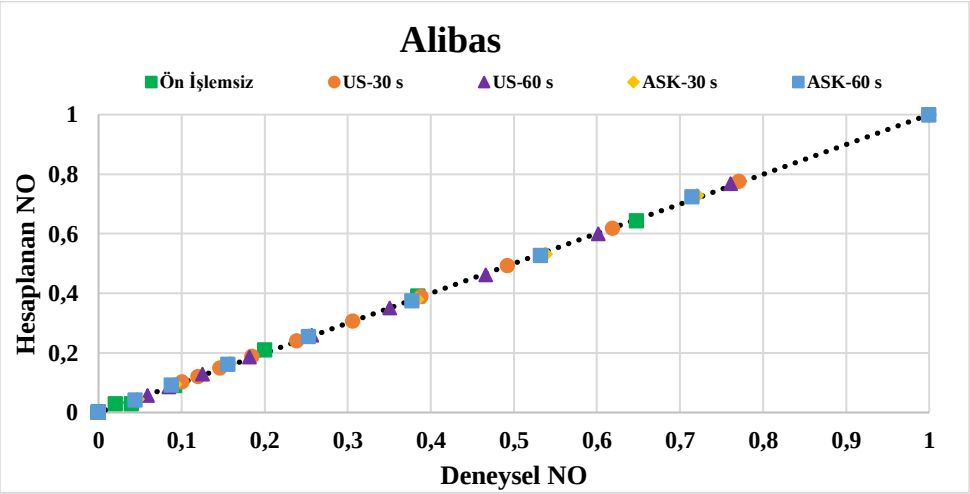
Tablo 5.15 Mangosten numuneleri için elde edilen matematiksel model sabitleri ve istatistiksel parametreler (devamı)

Model	Parametre	Ön İşlemsiz	US-30 s	US-60 s	ASK-30 s	ASK-60 s
Parabolik	a	0,9880	0,9645	0,9734	0,9803	0,9780
	b	-0,0061	-0,0030	-0,0033	-0,0042	-0,0042
	c	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000
	R^2	0,9993	0,9980	0,9989	0,9991	0,9989
	χ^2	0,0003	0,0004	0,0003	0,0003	0,0003
	HKOK	0,0124	0,0177	0,0138	0,0130	0,0144
Verma	a	0,0065	0,9803	-0,1784	1,0760	1,0699
	k	0,0086	0,0039	0,0009	0,0062	0,0062
	g	0,0086	1,0000	0,0037	1,0000	1,0000
	R^2	0,9958	0,9999	0,9997	0,9975	0,9974
	χ^2	0,0309	0,0000	0,0001	0,0008	0,0008
	HKOK	0,0017	0,0043	0,0067	0,0221	0,0224
Wang	a	-0,0062	-0,0032	-0,0035	-0,0044	-0,0044
	b	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000
	R^2	0,9992	0,9968	0,9983	0,9988	0,9985
	χ^2	0,0003	0,0006	0,0004	0,0003	0,0004
	HKOK	0,0134	0,0226	0,0175	0,0154	0,0171
Weibull	b	121,38	251,27	222,03	177,5345	175,3759
	a	1,2316	0,9786	1,0929	1,1433	1,1343
	R^2	0,9998	0,9998	0,9991	0,9986	0,9985
	χ^2	0,0001	0,0000	0,0002	0,0004	0,0004
	HKOK	0,0071	0,0052	0,0126	0,0164	0,0171

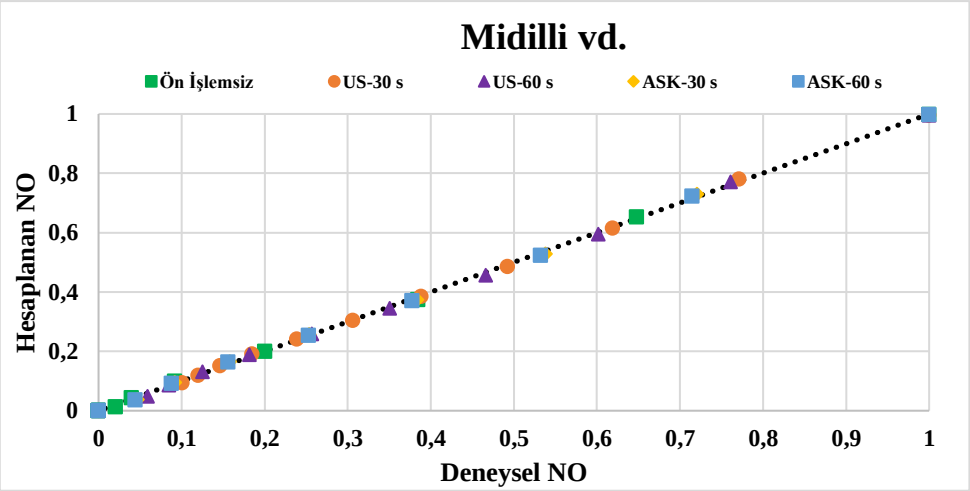
Tablo 5.16 Mangosten numuneleri için elde edilen matematiksel model sabitleri ve istatistiksel parametreler (devamı)

Model	Parametre	Ön İşlemsiz	US-30 s	US-60 s	ASK-30 s	ASK-60 s
ki Terimli Üstel	a	1,7750	0,0197	0,0037	0,0030	0,0025
	k	0,0117	0,1975	1,2391	1,9228	2,3039
	R^2	0,9997	0,9999	0,9979	0,9963	0,9964
	χ^2	0,0002	0,0000	0,0005	0,0010	0,0009
	HKOK	0,0087	0,0043	0,0192	0,0269	0,0264

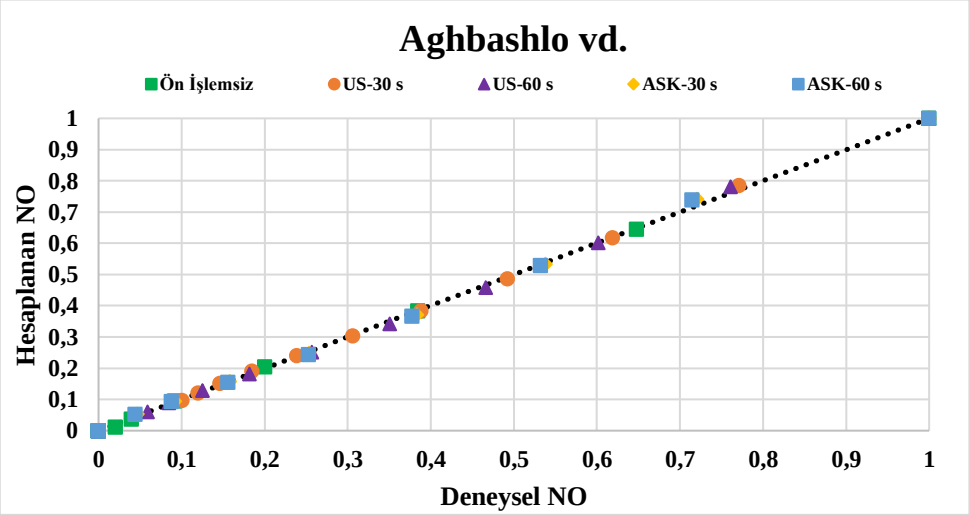
Seçilen modelleri doğrulamak için, kurutma hızı ve deneysel kurutma hızı grafikleri, tüm ön işlemler için Şekil 5.14, 5.15 ve 5.16'de en uygun modeller kullanılarak gösterilmektedir. 0,999 ve daha yüksek R^2 değerlerine sahip modellere yer verilmiştir. Elde edilen deneysel veriler grafikte kesiştirilmiş ve bir doğru üzerinde toplanmıştır. Şekil 5.14, 5.15 ve 5.16'de görülebildiği üzere sırası ile Alibas, Midilli vd. ve Aghbashlo vd. modellerinde deneysel ve hesaplanan veriler grafikte bir uyum içerisindedir.



Şekil 5.14 Dondurarak kurutucuda kurutulmuş mangosten numuneleri için deneysel ve Alibas modeli ile hesaplanan kurutma hızları



Şekil 5.15 Dondurarak kurutucuda kurutulmuş mangosten numuneleri için deneysel ve Midilli vd. modeli ile hesaplanan kurutma hızları



Şekil 5.16 Dondurarak kurutucuda kurutulmuş mangosten numuneleri için deneysel ve Aghbaslo vd. modeli ile hesaplanan kurutma hızları

6
SONUÇ

Kurutma, uzun yıllardır gıda ürünlerini muhafaza etmek için kullanılan en popüler metotlardan biridir. Liyofilizasyon veya dondurarak kurutma, kontrollü ısı sağlanarak vakum altında bulunan donmuş üründeki su moleküllerinin süblimasyonu ile gerçekleşir. Dondurarak kurutma yöntemi, diğer kurutma yöntemlerine kıyasla daha yüksek kaliteli bir ürün elde etme avantajına sahiptir ancak oldukça pahalı bir metottur. Literatürde çeşitli egzotik meyvelerin dondurarak kurutulması alanında çalışmalar mevcutken, mangosten ve kamkat için bu çalışmalar oldukça sınırlıdır.

Bu çalışmada ön işlemsiz, ultrases ve askorbik asit ön işlemleri uygulanmış kamkat ve mangosten meyveleri dondurarak kurutucuda kurutulmuş ve kurutma deneylerinden elde edilen veriler çeşitli matematiksel kurutma modellerine uygulanarak ve en uygun modeller belirlenmiştir. Ayrıca bu veriler ile numunelerin kurutma hızı davranışları gözlemlenmiştir ve ön işlemlerin kuruma hızına etkisi üzerine değerlendirmeler yapılmıştır. Ardından efektif nem difüzyon katsayıları hesaplanmış ve kalite seviyesini belirlemek için renk değişimi, rehidrasyon kapasitesi, fenolik içerik analizleri gerçekleştirilmiştir.

Kamkat meyvesi için uygulanan matematiksel modeller arasında Alibas, Midilli vd. ve İki Terimli modelleri en yüksek R^2 değerleri ve en düşük χ^2 ile HKOK değerlerine sahip olduklarından en uygun modeller olarak belirlenmişlerdir.

Mangosten meyvesi için uygulanan matematiksel modeller arasında Alibas, Midilli vd. ve Aghbashlo vd. modelleri en yüksek R^2 değerleri ve en düşük χ^2 ile HKOK değerlerine sahip olduklarından en uygun modeller olarak belirlenmişlerdir.

Numunelerin kuruma hızları incelendiğinde kamkat meyvesi için askorbik asit ön işlemli numunelerin ultrases ön işlemli ve ön işlemsiz numunelere göre daha hızlı kuruduğu gözlemlenmiştir. Mangostenin dilimli yapısı sebebi ile eşit ağırlıklarda ve ölçülerde numuneler ile çalışılamadığından başlangıç nem miktarlarında da

farklılıklar oluşmuştur. Başlangıç nem miktarı daha düşük olan numunelerin daha hızlı kuruduğu gözlemlenmiştir.

Efektif difüzyon katsayıları incelendiğinde kamkat numuneleri için ön işlemsiz ve 30 saniye askorbik asit ön işlemli numuneler en yüksek efektif nem difüzyon katsayılarına sahip iken, ultrases ön işlemli numuneler ise hesaplanan en düşük efektif nem difüzyon katsayılarına sahiptir. Mangosten için ise ön işlemsiz numuneler en yüksek efektif nem difüzyon katsayılarına sahiptir. 30 saniye ve 60 saniye askorbik asit ön işlemli numuneler için çok yakın değerler elde edilmiştir. Ultrases ön işlemli numuneler ise hesaplanan en düşük efektif nem difüzyon katsayılarına sahiptir.

Fenolik analiz sonuçlarına göre mangosten numunelerinde askorbik asit ön işlemli numunelerdeki fenolik içerik korunumunun ultrases ön işlemli numunelerden daha yüksek olduğu görülmüştür. En yüksek korunum ise ön işlemsiz numunelerde gerçekleşmiştir. Kamkat numunelerinde ise mangosten numunelerinin aksine ultrases ön işlemli numunelerdeki fenolik içerik korunumunun askorbik asit ön işlemli numunelerden daha yüksek olduğu görülmüştür. Yine en yüksek korunum ise ön işlemsiz numunelerde gerçekleşmiştir.

Renk analiz sonuçları incelendiğinde tüm numuneler için dondurarak kurutma sonrası aydınlık özellikleri temsil eden L* değerinde taze numuneler için yapılan ölçümlere göre belirgin bir artış gözlemlenmiştir. a* ve b* değerleri için de yine artış meydana geldiği belirlenmiştir. Bu da dondurarak kurutulan numunelerin yeşil ve sarı özelliklerinde artış olduğu anlamına gelmektedir. Toplam renk değişimlerine bakıldığında en az değişim ultrases ön işlemli numuneler için meydana gelmiştir. Mangosten numuneleri için ise L* ve b* değerlerinde tüm numuneler için artış gözlemlenirken, a* değerinde azalma meydana gelmiştir. Bu da rengin aydınlık özelliklerinin arttığı, rengin kırmızı ve sarıya doğru değişim gösterdiği anlamına gelmektedir. Toplam renk değişimlerine bakıldığında en fazla değişim ön işlemsiz numuneler için meydana gelmiştir.

Rehidrasyon kapasitesi sonuçları incelendiğinde hem kamkat hem de mangosten için ultrases ön işlemli numunelerin rehidrasyon sürecini daha hızlı tamamladığı

görülmüştür. Bu da ultrases ön işleminin porlu yapıda genişlemelere sebep olmuş olması ile açıklanabilir.

Çalışmada uygulanan ön işlemler bazı kalite parametreleri için olumlu değişikliklere yol açmışken bazıları için ise fark yaratan sonuçlar vermemişlerdir. Bu sebeple ön işlem seçimi, geliştirilmek istenen kalite özelliğine göre yapılmalıdır.

Kamkat meyvesi kabuğu ile tüketilen bir meyvedir ve bu da meyvenin çok yumuşak olmayan kabuğu sebebi ile tüketimi zorlaştırabilmektedir. Dondurarak kurutulmuş kamkat, daha yumuşak bir yapıda olduğundan bu kamkat tüketimini arttırabilir.

Mangosten ülkemizde bulunması oldukça zor bir meyvedir ve lojistik açıdan taşınması oldukça problemlidir. Bu çalışma için temin edilen Mangostenlerin büyük bir kısmı bozulmuş olarak teslim alınmıştır. Mangosten yetiştirilen dondurarak kurutulmuş mangosten üretiminin artması ve kurutulmuş meyve ihracatı bu gibi problemleri rahatlıkla ortadan kaldırabilir.

KAYNAKÇA

Acar, B., Sadikoglu, H., & Doymaz, I. (2013). Freeze-drying kinetics and diffusion modeling of saffron (Crocus Sativus L.). Journal of Food Processing and Preservation, 1-8.

Aghbashlo, M., Kianmehr, M. H., Khani, S., & Ghasemi, M. (2009). Mathematical modeling of carrot thin-layer drying using new model. International Agrophysics, 23, 313–317.

Akın, A., & Altındişli, A. (2010). Determination of fatty acid composition and total phenolic contents of grape seed oils of Emir, Gök Grape, and Kara Dimrit varieties. Academic Food Journal, 8(6), 19-23.

Alibas, İ. (2012). Microwave drying of grapevine (Vitis vinifera L.) leaves and determination of some quality parameters. Journal of Agricultural Sciences, 18, 43-53.

Alibas, I. (2014). Mathematical modeling of microwave dried celery leaves and determination of the effective moisture diffusivities and activation energy. Food Sci. Technol, Campinas, 34(2), 394-401.

Ansori, A.N.M., Susilo, R.J.K., Hayaza, S., Winarni, D. ve Husen, S.A. (2019). Renoprotection by Garcinia mangostana L. pericarp extract in streptozotocin-induced diabetic mice. Iraqi Journal of Veterinary Sciences, 33(1),13-19.

Azizov, S.M. ve Axmedhodjaev, H. (2015) Theoretical Analysis of Gin Cylinder for Simulating Dual Saw Cylinder Chamber Gin for Increasing Wear Proof, Energy Efficient, Saving Resources. World Journal of Engineering and Technology, 3, 91-99.

Babio, N., Bullo, N., Basora, J., Martínez-González, M.A., Fernández-Ballart, J., Márquez-Sandoval, F., Molina, C., Salas-Salvadó, J. (2019). Adherence to the Mediterranean Diet and Risk of Metabolic Syndrome and its Components. Nutrition, Metabolism, and Cardiovascular Diseases, 19(8), 563-570.

Barnwal, P. ve Tiwari, G. N., 2008. Grape drying by using hybrid photovoltaicthermal (PV/T) greenhouse dryer: An experimental study. Solar Energy, 82(12), 1131-1144.

Barreca, D., Bellocco, E., Caristi, C., Leuzzi, U., ve Gattuso, G. (2010). Kumquat (Fortunella japonica Swingle) juice: Flavonoid distribution and antioxidant properties. Food Research International, 44, 2190–2197

Başak, R. (2018, Eylül 1). Ünite Planı ve Materyal Tasarımı Renk Ve Renk Ölçümü. 3 Aralık 2023 tarihinde https://onurcinkowp.wordpress.com/renk-ve-renk-olcumu/ adresinden erişildi.

Chaovanalikit, A., Mingmuang, A., Kitbunluewit, T., Choldumrongkool, N., Sondee, J. ve Chupratum, S. (2012). Anthocyanin and total phenolics content of mangosteen and effect of processing on the quality of mangosteen products. International Food Research Journal 19,3, 1047-1053.

Chaverri, J., Rodríguez, N.C. , Ibarra, M.O. ve Rojas, J.M.P (2008), Medicinal properties of mangosteen (Garcinia mangostana), Food and Chemical Toxicology, 46, 3227–3239.

Chaverri, J., Rodríguez, N.C., Ibarra, M.O. ve Rojas, J.M.P (2008). Medicinal properties of mangosteen (Garcinia mangostana). Food and Chemical Toxicology, 46, 3227–3239.

Chong, C.H. ve Law, C.H. (2010), Drying of Exotic Fruits, Vegetables and Fruit, 2, 1-42.

Cui, J., Hu, W., Cai, Z., Liu, Y., Li, S., Tao, W. ve Xiang, H. (2010). New medicinal properties of mangostins: analgesic activity and pharmacological characterization of active ingredients from the fruit hull of Garcinia mangostana L. Pharmacology Biochemistry and Behavior, 95(2),166-72.

Çağa Okul Donanım. (2023, Ocak 5). Etüv Nedir?. 12 Aralık 2023 tarihinde http://www.cagaokuldonanim.com/etuv-nedir/ adresinden erişildi

Çakmak Makine. (2023, Mayıs 17). Tamburlu Kurutma Makinesi. 5 Ekim 2023 tarihinde https://www.cakmakmakine.com.tr/tr/bloglar/tamburlu-kurutma-makinesi adresinden erişildi

Darvishi, H., Azadbakht, M., Rezaeiasl, A., & Farhang, A. (2013). Determination of some quality parameters of grapevine (Vitis vinifera L.) leaves. Journal of the Saudi Society of Agricultural Sciences, 12, 121-129.

Doymaz, İ., Kipcak, A. S., & Piskin, S. (2015). Characteristics of thin-layer infrared drying of green bean. Czech Journal of Food Sciences, 33(1), 83–90.

Dziki D. (2020). Recent Trends in Pretreatment of Food before Freeze-Dryin. Processes 2020, 8, 1661-1679.

Eruçar, S. (2006). Examining phenolic substance profile and antioxidant activities of some herbal teas (Master's thesis). İstanbul Technical University, Institute of Science and Technology. http://www.tez.yok.gov.tr

Fabiano, A. N. F. and Rodriguesb, S. (2007). Ultrasound application as pre-treatment for drying of fruits: Dehydration of banana. Journal of Food Engineering, 82(2), 261-267.

Fu, Y., Zhou, H., Wang, M., Cen, J., ve Wei, Q., (2014). Immune regulation and anti-inflammatory effects of isogarcinol extracted from Garcinia mangostana L. against collagen-induced arthritis. Journal of Agricultural and Food Chemistry, 62(18), 4127- 4134.

Gençcelep, H. (2024, Ocak 2). Gıda Mühendisliğinde Temel İşlemler Ders Notları, 11. Hafta [PDF dosyası]. Ondokuz Mayıs Üniversitesi. 22 Ocak 2024 tarihinde https://avys.omu.edu.tr/storage/app/public/hgenccelep/135861/TEMEL%20%C4%B0%C5%9ELEMLER-%2011.%20Hafta.pdf adresinden erişildi.

Gopalakrishnan. G., Banumathi. B. ve Suresh, G. (1997). Evaluation of the antifungal activity of natural xanthones from Garcinia mangostana and their synthetic derivatives. Journal of Natural Products., 60(5), 519-524.

Guan, Z., Wang, X., Li, M., & Jiang, X. (2013). Mathematical modeling on hot air drying of thin layer fresh tilapia fillets. Polish Journal of Food and Nutrition Sciences, 63(1), 25-33.

Guignon, B., Duquenoy, A. ve Dumoulin, E. D. (2002). Fluid bed encapsulation of particles: Principles and practice. Drying Technology: An International Journal, 20(2), 419-447. https://doi.org/10.1081/DRT-120002550

Gümüşay Ö.A.,Borazan A.A., Ercal N. ve Demirkol O. (2014). Drying Effects on The Antioxidant Properties of Tomatoes and Ginger. Food Chemistry, 173, 156-162.

Handoo, S. (2023, Kasım 24). 7 Health Benefits Of Mangosteen, Nutrition, And How To Eat It. 15 Aralık 2023 tarihinde https://www.stylecraze.com/articles/amazing-health-benefits-of-mangosteen/ adresinden erişildi.

Hasegawa, H., Sakai, S., Aimi, N., Takayama, H. ve Koyano, T. (1996). Helicobacter pylori inhibitors containing xanthones from Garcinia mangostana. Japanese Kokai Tokkyo Koho, 707533.

Huang, B. (2018, Mart 19). Using a Microwave Shouldn't Be This Confusing. 5 Ekim 2023 tarihinde https://medium.com/@brianfallen97/using-a-microwave-shouldnt-be-this-confusing-5f56700119a5 adresinden erişildi

Husen, S.A., Winarni, D., Khaleyla, F., Kalqutny, S.H. ve Ansori ANM. (2017). Activity assay of mangosteen (Garcinia mangostana L.) pericarp extract for decreasing fasting blood cholesterol level and lipid peroxidation in type-2 diabetic mice. AIP Conference Proceedings, 1888(1): 020026-1 6.

Igual, M., Cebadera, L., Cámara, M.R., Agudelo, C., Navarrete, M.N. ve Cámara, M. (2019). Novel Ingredients Based on Grapefruit Freeze-Dried Formulations: Nutritional and Bioactive Value. Foods 2019, 8, 506.

İsmail, O., Kipçak, A. S., Doymaz, İ., & Pişkin, S. (2017). Thin-layer drying kinetics of nectarine slices using IR, MW and hybrid methods. Bulgarian Chemical Communications, 49, 92-100.

İzlı, G., Izlı, N., Taskin, O. ve Yildiz, G. (2018). 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, 37-42.

Jayaraman, K. S. ve Gupta, D. K. D. (2006). Drying of fruits and vegetables. In Handbook of Industrial Drying (s. 606-631). CRC Press.

Jena, S., & Das, H. (2007). Modelling for vacuum drying characteristics of coconut presscake. Journal of Food Engineering, 79(1), 92-99.

Jiang, H., Zhang, M., Mujumdar, A. S., & Lim, R. X. (2014). Comparison of drying characteristic and uniformity of banana cubes dried by pulse-spouted microwave vacuum drying, freeze drying and microwave freeze drying. Journal of Science, Food and Agriculture, 94, 1827–1834.

Kale Marketleri. (2019, Ocak 1). Kamkat. 20 Eylül 2022 tarihinde https://www.kalemarketleri.com/kamkat-kg-5731 adresinden erişildi

Kariyer Mutfak. (2023, Nisan 5). Tepsili Dijital Paslanmaz Meyve Sebse Kurutucusu. 5 Ekim 2023 tarihinde https://www.kariyermutfak.com/dalle-10-tepsili-dijital-paslanmaz-meyve-sebze-kurutucu-ss-10h adresinden erişildi

Kipçak, A. S. (2017). Microwave drying kinetics of mussels (Mytilus edulis). Research on Chemical Intermediates, 43(3), 1429-1445.

Kipçak, A. S., Derun, E. M., Tuğrul, N., & Doymaz, İ. (2021). Drying characteristics of blue mussels by traditional methods. Chem. Ind. Chem. Eng. Q., 27(3), 279−288.

Kumar, Y., Tiwari, S. ve Belorkar, S. A. (2015). Drying: An excellent method for food preservation. International Journal of Engineering Studies and Technical Approach, 1(8), 1-17

LabBurada. (2023, Ocak 1). Scientz 10N Ordinary Laboratuvar Freeze Dryer Liyofilizatör Cihazı. 2 Aralık 2023 tarihinde https://www.labburada.com/urun/scientz-10n-ordinary-laboratuvar-freeze-dryer-liyofilizator-cihazi/ adresinden erişildi

Lou, S., Lai, Y., Hsu, Y. ve Ho, C. (2015). Phenolic content, antioxidant activity and effective compounds of kumquat extracted by different solvents. Food Chemistry, 197, 1–6.

Lyu, J., Yi, J., Bi, J., Chen, Q., Zhou, L., & Liu, X. (2017). Effect of sucrose concentration of osmotic dehydration pretreatment on drying characteristics and texture of peach chips dried by infrared drying coupled with explosion puffing drying. Drying Technology, 35(15), 1887–1896. https://doi.org/10.1080/07373937.2017.1286670

Marques, L. G., Prado, M. M. ve Freire, J. T. (2011). Vitamin C content of freeze-dried tropical fruits. International Congress on Engineering and Food,2005-2006.

Midilli, A., Kucuk, H., & Yapar, Z. (2002). A new model for single-layer drying. Drying Technology, 20(7), 1503-1513.

Milani, A., Jouki, M. ve Rabbani, M. (2020). Production and characterization of freeze-dried banana slices pretreated with ascorbic acid and quince seed mucilage: Physical and functional properties. Food Science & Nutrition, 8, 3768–3776.

Minuye, M., Getachew, P., Laillou, A., Chitekwe, S. ve Baye, K. (2021). Effects of different drying methods and ascorbic acid pretreatment on carotenoids and polyphenols of papaya fruit in Ethiopia. Food Science & Nutrition, 9, 3346–3353.

Misha, S., Mat, S., Ruslan, M. H., Sopian, K., & Salleh, E. (2013). Review on the Application of a Tray Dryer System for Agricultural Products. World Applied Sciences Journal, 22(3), 424-433. https://doi.org/10.5829/idosi.wasj.2013.22.03.343

Mujumdar, A. S. (Ed.). (2015). Handbook of Industrial Drying (4th ed.). CRC Press. https://doi.org/ISBN 9781466596658

Mujumdar, A. S. ve Kudra, T. (2009). Advanced Drying Technologies. Boca Raton: Taylor & Francis.

Mujumdar, A.S., Fernandes, F.A.N., Rodrigues, S. ve Law, C.L. (2011), Drying of Exotic Tropical Fruits: A Comprehensive Review. Food and Bioprocess Technology 4, 163-185.

Orsat, V., Changrue, V. ve Raghavan, G. S. V. (2015). Microwave drying of fruits and vegetables. Stewart Postharvest Review, 6(4).

Öz, Ö. (2009). Dondurarak Kurutma Yöntemi İle Çözünebilir Çay Üretimi (Yüksek Lisans Tezi). Gebze Yüksek Teknoloji Enstitüsü, Kimya Mühendisliği Bölümü. https://akademik.yok.gov.tr

Palancar, M. C., Aragon, J. M., & Castellanos, J. A. (2001). Neural network model for fluidized bed dryers. Drying Technology, 19(6), 1023-1044.

Parlak, N. (2015). Fluidized bed drying characteristics and modeling of ginger (Zingiber officinale) slices. Heat Mass Transfer, 51, 1085–1095. https://doi.org/10.1007/s00231-014-1480-4

Pathare, P. B., & Opara, U. L. (2013). Colour measurement and analysis in fresh and processed foods: A review. Food Bioprocess Technol, 6, 36-60.

Pikal, M. J., & Tang, X. (2004). Design of freeze drying processes for pharmaceuticals: Practical advice. Pharmaceutical Research, 21, 191-200.

Platin, B. E., Erden, A., & Gülder, Ö. L. (1982). Modeling and design of rotary dryers. In J.C. Ashworth (Ed.), Proceedings of the Third International Drying Symposium (pp. 466–477). Drying Research Limited, Wolverhampton, England.

Puripattanavong, J.K.W., Khajorndetkun, W. ve Chansathirapanich, W. (2006). Improved isolation of α-mangostin from the fruit hull of Garcinia mangostana and its antioxidant and antifungal activity. Planta Medica, 72, 1078.

Riadh, M. H., Ahmad, S., Marhaban, M. H., & che Soh, A. (2014). Infrared heating in food drying: An overview. Drying Technology: An International Journal, 33(3), 322-335.

Rojas, M. L., Augusto, P. E. D., & Carcel, J. A. (2020). Ethanol pre-treatment to ultrasound-assisted convective drying of apple. Innovative Food Science & Emerging Technologies, 61(4), 102328.

Saravacos, G. D., & Maroulis, Z. B. (2001). Transport Properties of Foods. Taylor & Francis.

Senadeera, W., Bhandari, B., Young, G. S., & Wijesinghe, B. (2003). Influence of shapes of selected vegetable materials on drying kinetics of fluidized bed drying. Journal of Food Engineering, 58(3), 277-283.

Sharma, G. P., Verma, R. C., & Pathare, P. B. (2005). Thin-layer infrared radiation drying of onion slices. Journal of Food Engineering, 67, 361–366.

Shewale, S. R., Rajoriya, D., & Hebbar, H. U. (2019). Low humidity air drying of apple slices: Effect of EMR pretreatment on mass transfer parameters, energy efficiency and quality. Innovative Food Science & Emerging Technologies, 55, 1-10.

Suvarnakuta, P., Chaweerungratb, C., Devahastin, S.Ç. (2010). Effects of drying methods on assay and antioxidant activity of xanthonesin mangosteen rind. Food Chemistiry, 125, 240-247.

Şahbaz, Y. (2019, Temmuz 26). İhracatlık domatesler güneşe serildi. 1 Aralık 2023 tarihinde https://www.aa.com.tr/tr/turkiye/ihracatlik-domatesler-gunese-serildi/1541962 adresinden erişildi

Tay, J. B. J., Chua, X., Ang, C., Subramanian, G. S., Tan, S. Y., Lin, E. M. J., Wu, W-Y., Goh, K. K. T. ve Lim, K. (2021). Effects of spray-drying inlet temperature on the production of high-quality native rice starch. Processes, 9(9), 1557. https://doi.org/10.3390/pr9091557

Tetrapak. (2023, Ocak 1). Spray drying. 5 Ekim 2023 tarihinde https://www.tetrapak.com/solutions/integrated-solutions-equipment/processing-equipment/spray-drying adresinden erişildi

Tüfekçi, S. ve Özkal, S.G. (2018). Ultrases Ön İşleminin Havuç Dilimlerinin Kuruma Karakteristikleri Üzerine Etkisi. Akademik Gıda, 16(1), 11-19.

Turgut, Y.D. (2022). Dondurarak ve Sıcak Hava ile Kurutulmuş Kamkat Dilimlerinin Bazı Kalite Özellikleri. Bahçe, 51(1), 11-19.

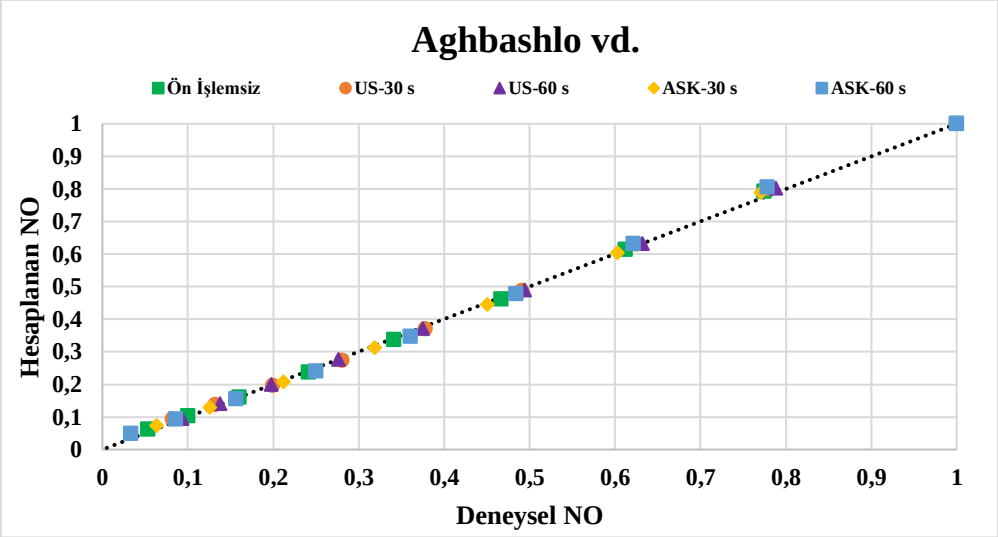
Wang, B., Tchessalov, S., Cicerone, M. T., Warne, N. W. ve Pikal, M. J. (2009). Impact of sucrose level on storage stability of proteins in freeze-dried solids: II. Correlation of aggregation rate with protein structure and molecular mobility. United Journal of Pharmaceutical Sciences, 98(9), 3145–3166.

Yalçın, M. Y. (2009). Investigation of some physical properties of salted and printed hinidi produced by using a freezing dryer. (Yüksek Lisans Tezi). Gebze Yüksek Teknoloji Enstitüsü, Kimya Mühendisliği Bölümü. https://akademik.yok.gov.tr

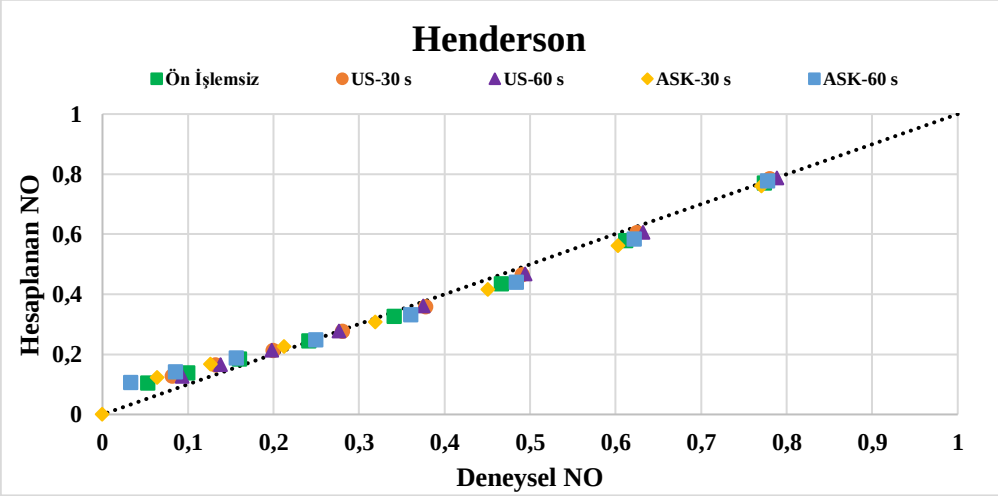
Yıldız, T.D. ve Topuz, A. (2020). Depolama Süresinin Farklı Kurutma Yöntemleri ile Kurutulmuş Kamkat Dilimlerinin Bazı Kalite Özelliklerine Etkisi. Yüzüncü Yıl Üniversitesi Tarım Bilimleri Dergisi, 1, 44-56.

Zhang, D. -X. ve Mabberley, D. J. (2008). Citrus. In Z. Y., P. H., & D. Y. (Eds.), Flora of China, 11, 51−97, St. Louis: Missouri Botanical Garden Press.

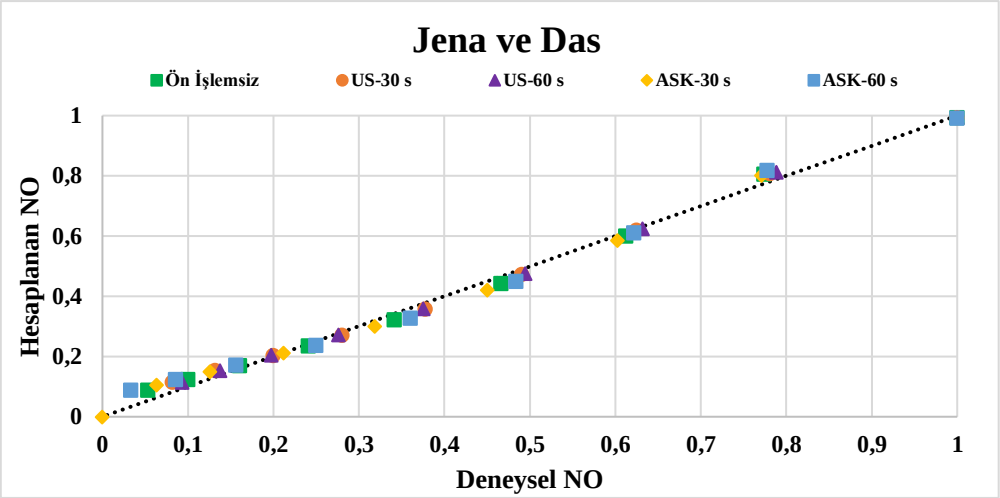
A
MODEL GRAFİKLERİ



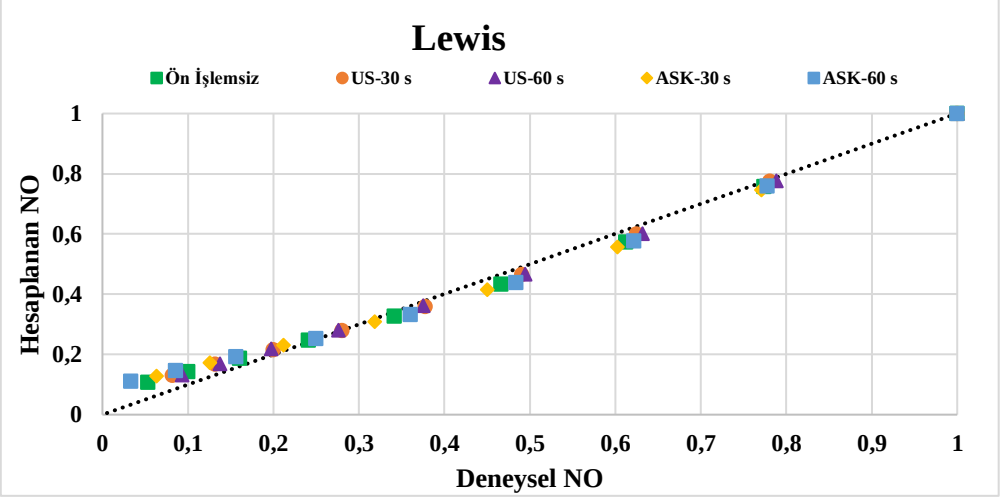
Şekil A.1 Dondurarak kurutucuda kurutulmuş kamkat numuneleri için deneysel ve Aghbaslo vd. modeli ile hesaplanan kurutma hızları



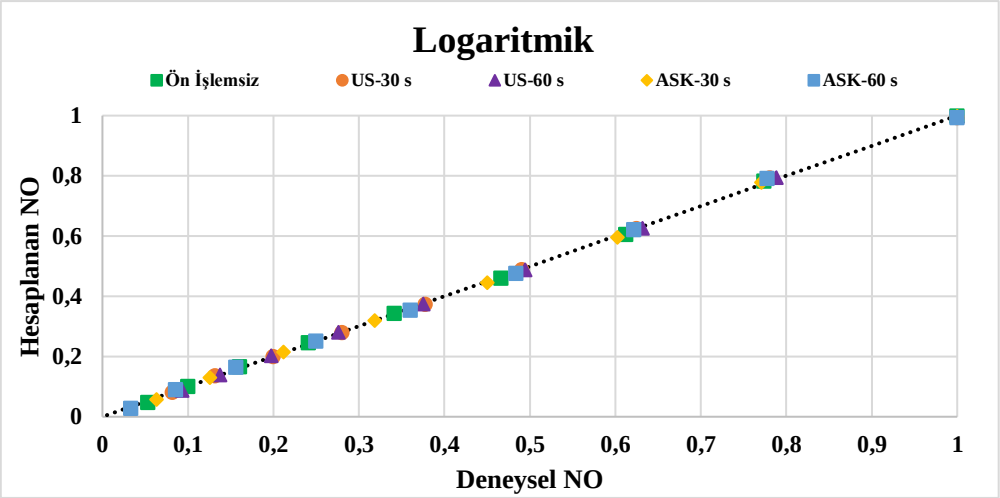
Şekil A.2 Dondurarak kurutucuda kurutulmuş kamkat numuneleri için deneysel ve Henderson modeli ile hesaplanan kurutma hızları



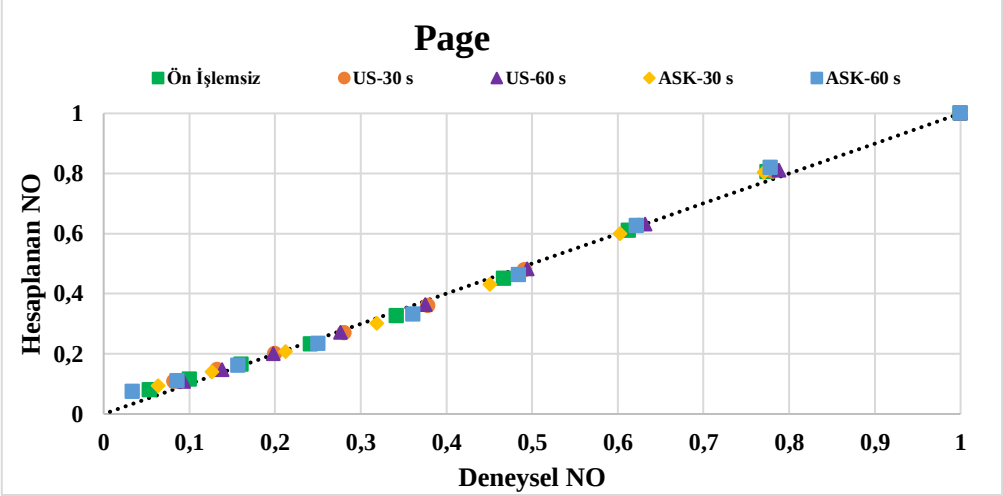
Şekil A.3 Dondurarak kurutucuda kurutulmuş kamkat numuneleri için deneysel ve Jena ve Das modeli ile hesaplanan kurutma hızları



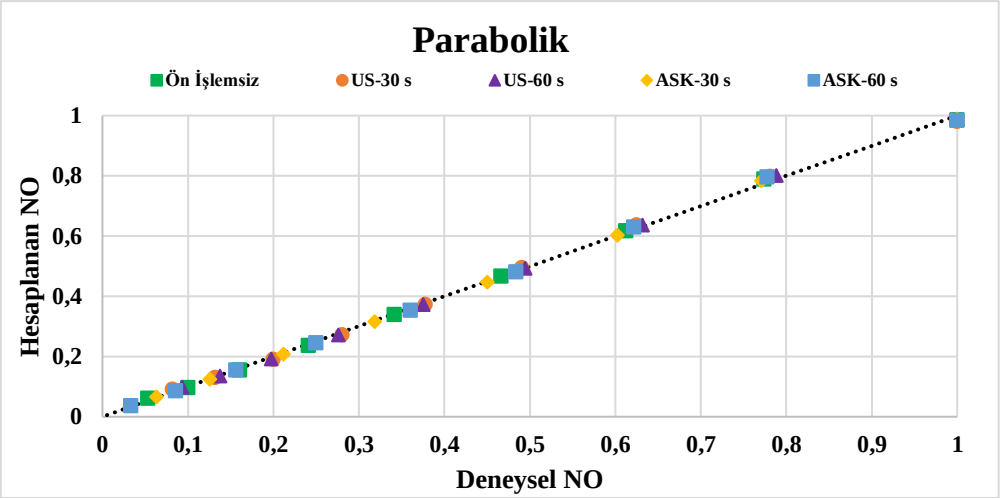
Şekil A.4 Dondurarak kurutucuda kurutulmuş kamkat numuneleri için deneysel ve Lewis modeli ile hesaplanan kurutma hızları



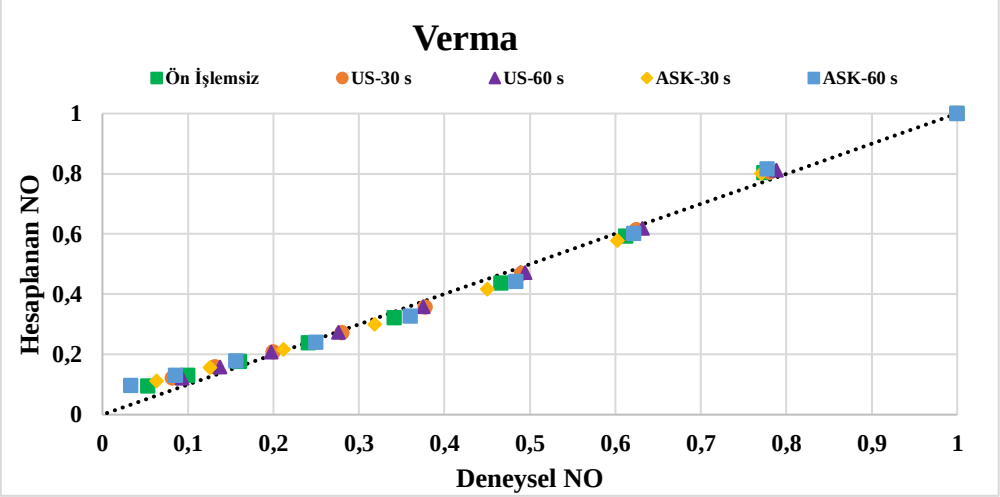
Şekil A.5 Dondurarak kurutucuda kurutulmuş kamkat numuneleri için deneysel ve Logaritmik model ile hesaplanan kurutma hızları



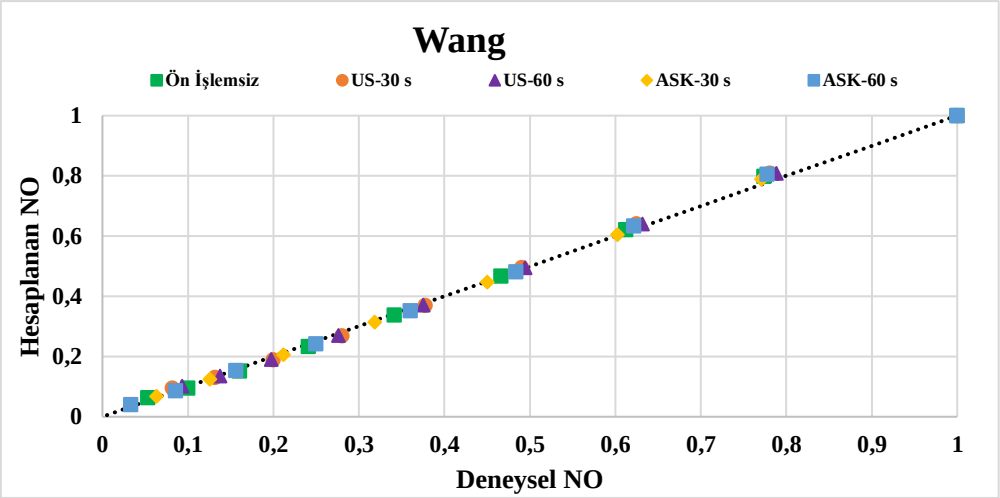
Şekil A.6 Dondurarak kurutucuda kurutulmuş kamkat numuneleri için deneysel ve Page modeli ile hesaplanan kurutma hızları



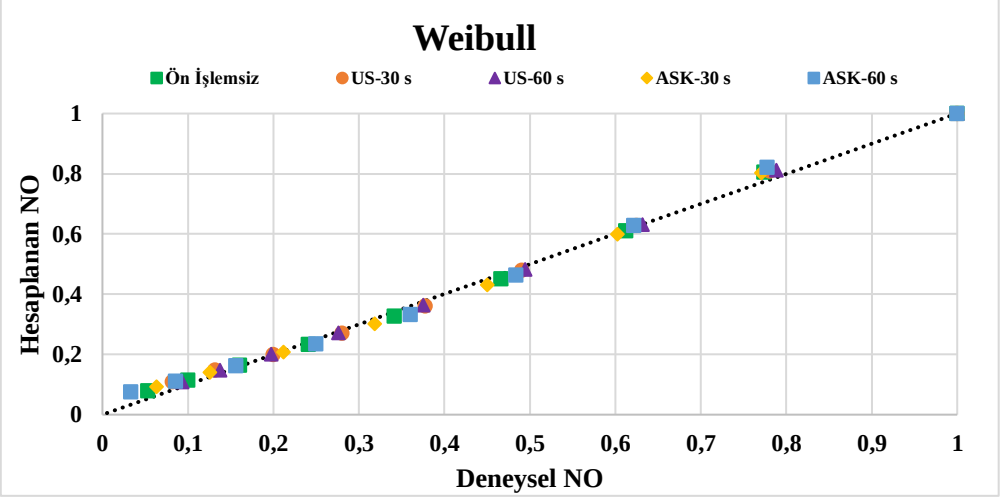
Şekil A.7 Dondurarak kurutucuda kurutulmuş kamkat numuneleri için deneysel ve Parabolik model ile hesaplanan kurutma hızları



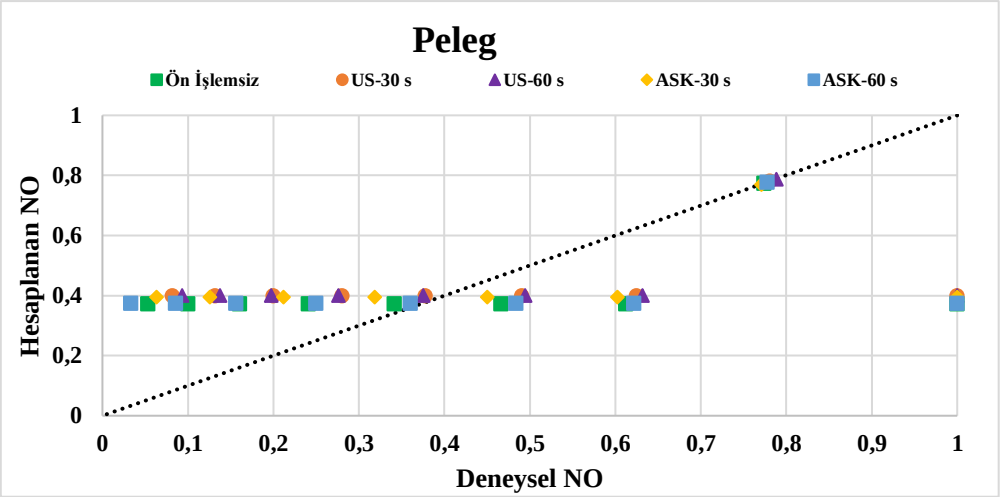
Şekil A.8 Dondurarak kurutucuda kurutulmuş kamkat numuneleri için deneysel ve Verma modeli ile hesaplanan kurutma hızları



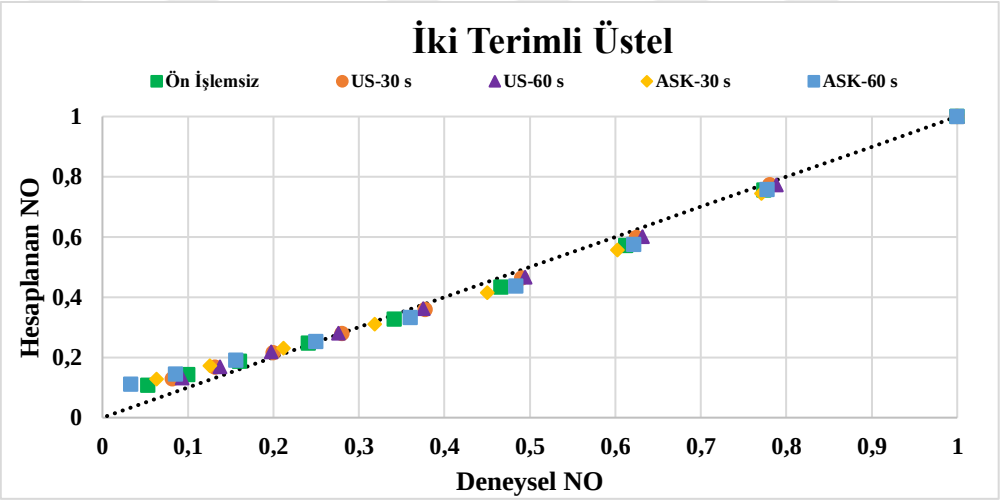
Şekil A.9 Dondurarak kurutucuda kurutulmuş kamkat numuneleri için deneysel ve Wang modeli ile hesaplanan kurutma hızları



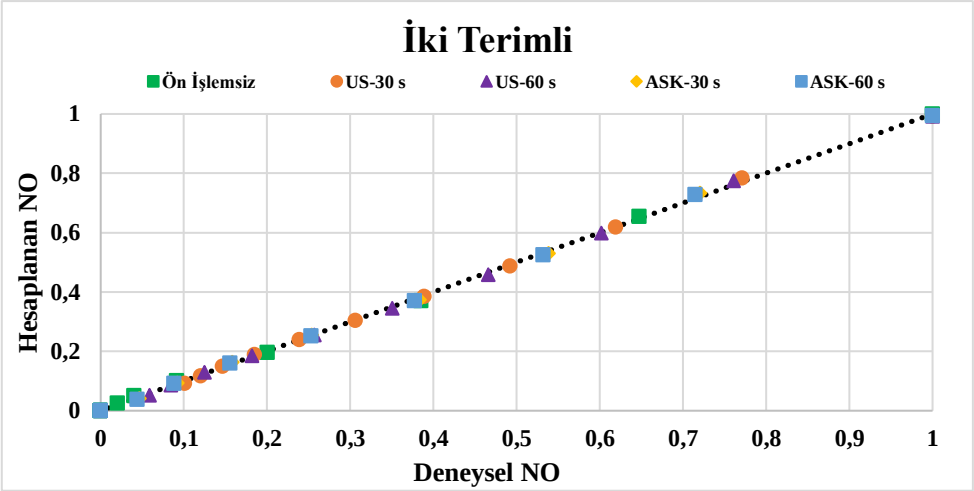
Şekil A.10 Dondurarak kurutucuda kurutulmuş kamkat numuneleri için deneysel ve Weibull modeli ile hesaplanan kurutma hızları



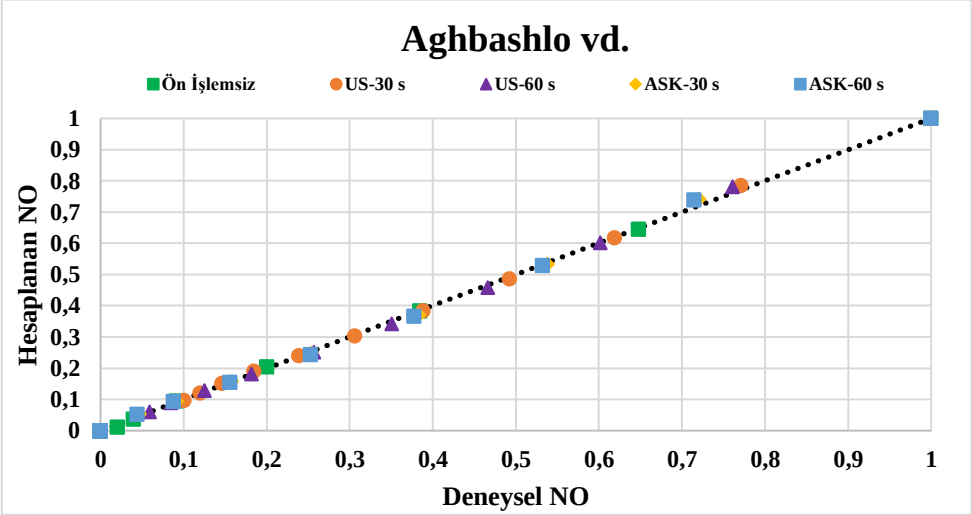
Şekil A.11 Dondurarak kurutucuda kurutulmuş kamkat numuneleri için deneysel ve Peleg modeli ile hesaplanan kurutma hızları



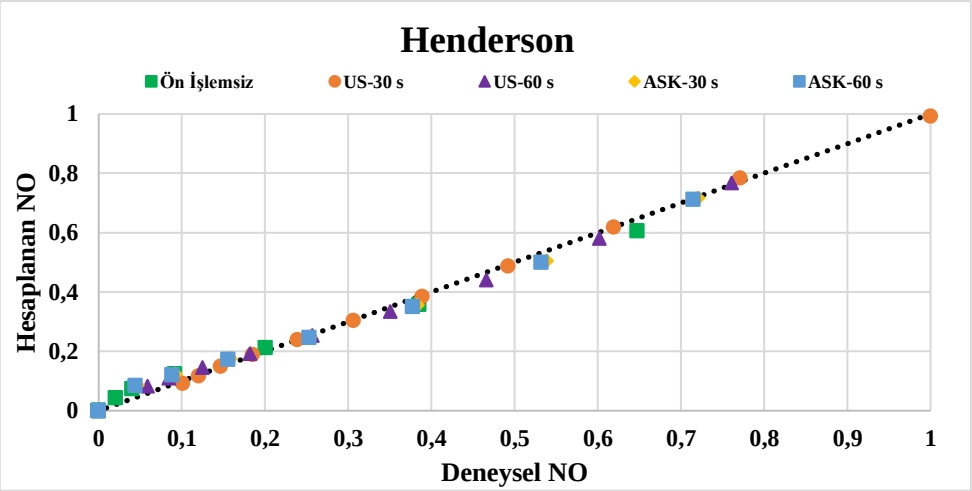
Şekil A.12 Dondurarak kurutucuda kurutulmuş kamkat numuneleri için deneysel ve İki Terimli Üstel model ile hesaplanan kurutma hızları



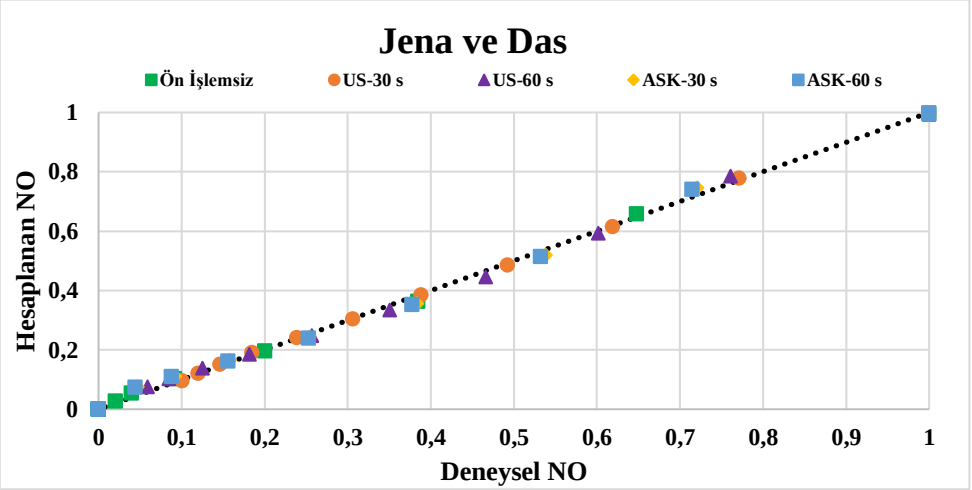
Şekil A.13 Dondurarak kurutucuda kurutulmuş kamkat numuneleri için deneysel ve İki Terimli model ile hesaplanan kurutma hızları



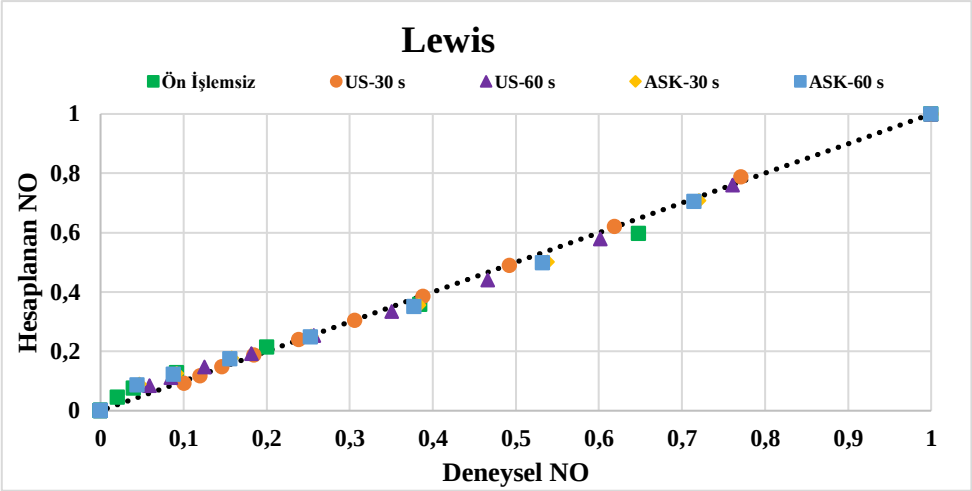
Şekil A.14 Dondurarak kurutucuda kurutulmuş mangosten numuneleri için deneysel ve Aghbashlo vd. modeli ile hesaplanan kurutma hızları



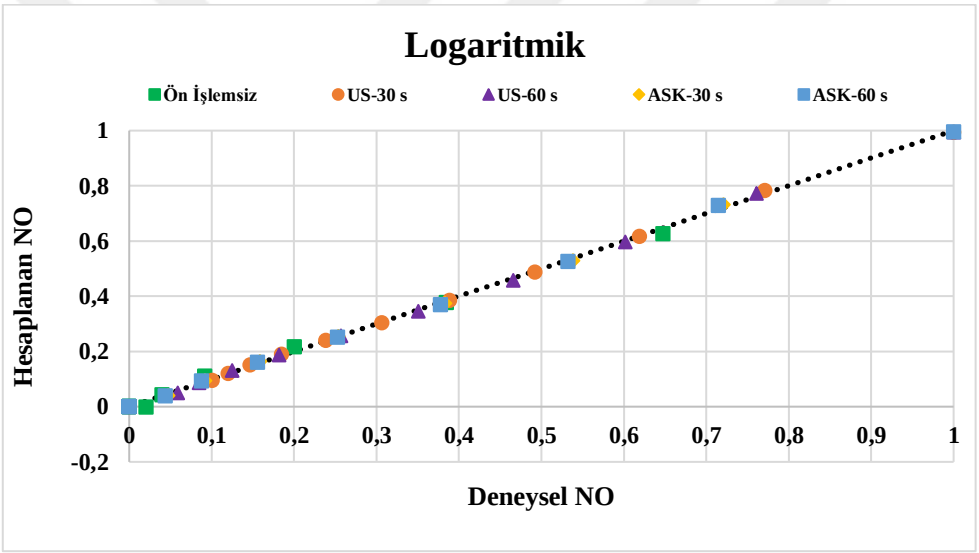
Şekil A.15 Dondurarak kurutucuda kurutulmuş mangosten numuneleri için deneysel ve Henderson modeli ile hesaplanan kurutma hızları



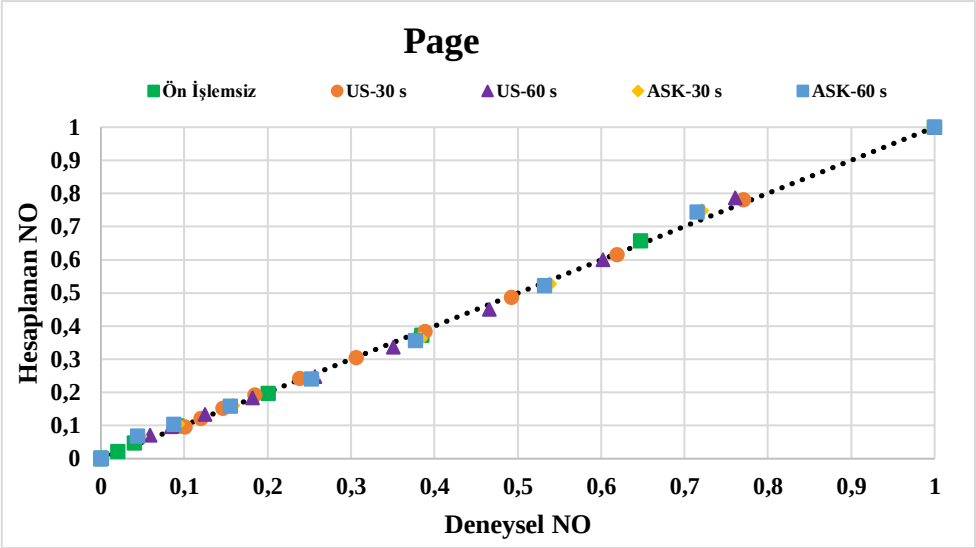
Şekil A.16 Dondurarak kurutucuda kurutulmuş mangosten numuneleri için deneysel ve Jena ve Das modeli ile hesaplanan kurutma hızları



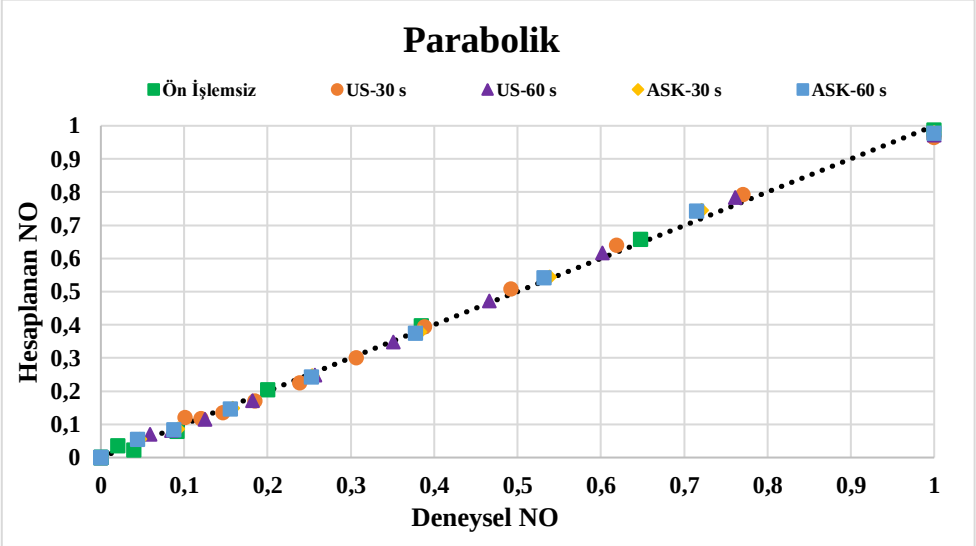
Şekil A.17 Dondurarak kurutucuda kurutulmuş mangosten numuneleri için deneysel ve Lewis modeli ile hesaplanan kurutma hızları



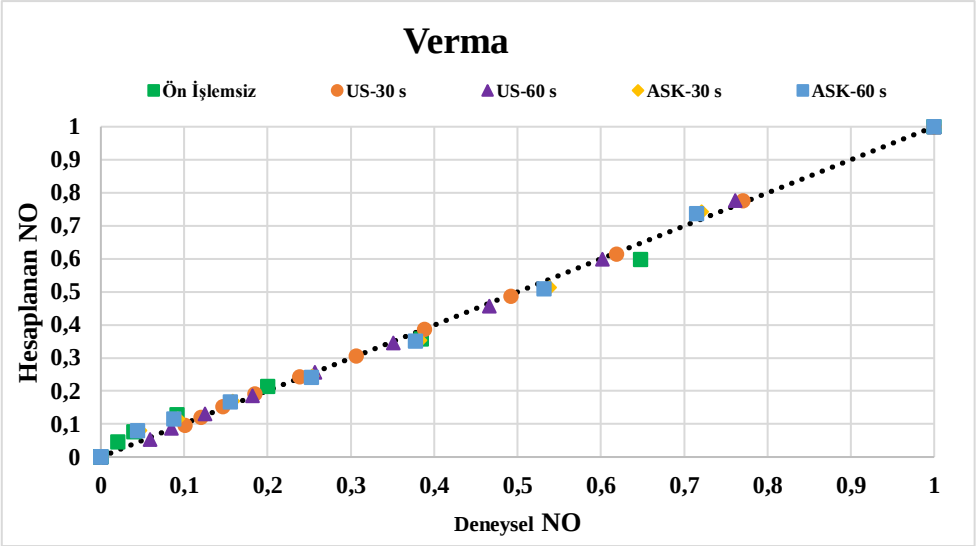
Şekil A.18 Dondurarak kurutucuda kurutulmuş mangosten numuneleri için deneysel ve Logaritmik model ile hesaplanan kurutma hızları



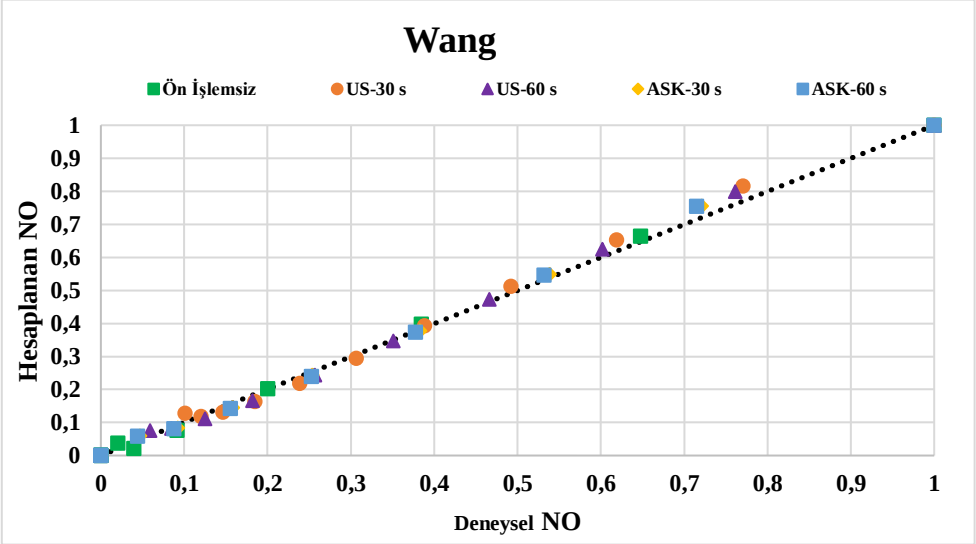
Şekil A.19 Dondurarak kurutucuda kurutulmuş mangosten numuneleri için deneysel ve Page modeli ile hesaplanan kurutma hızları



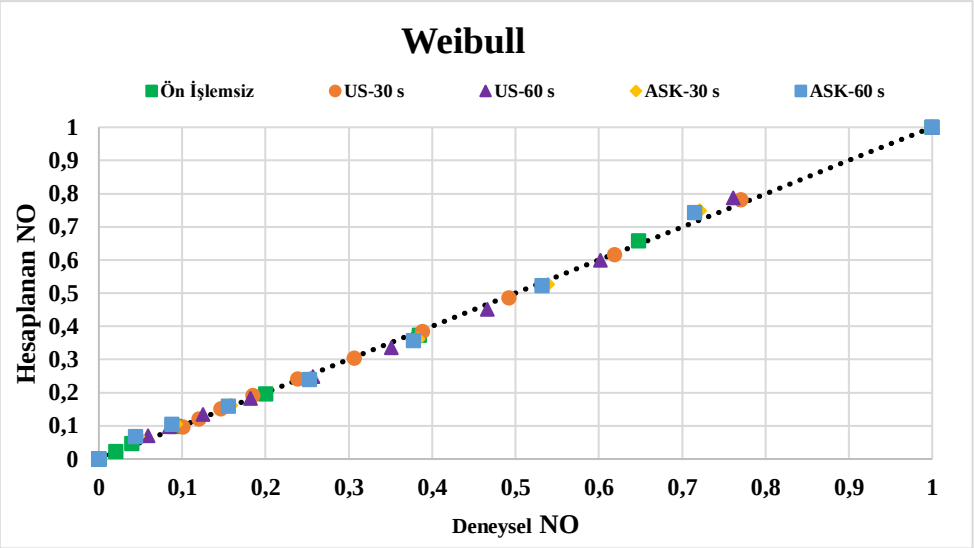
Şekil A.20 Dondurarak kurutucuda kurutulmuş mangosten numuneleri için deneysel ve Parabolik model ile hesaplanan kurutma hızları



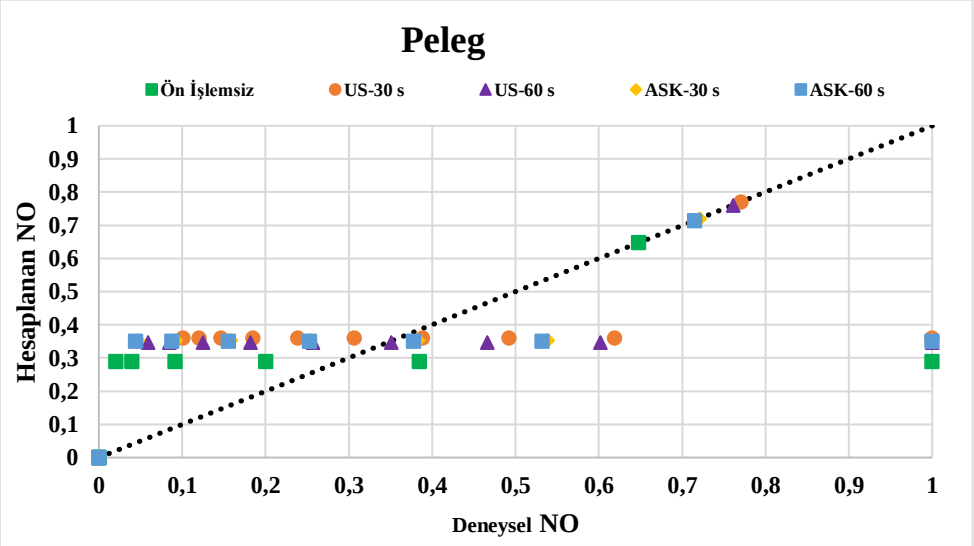
Şekil A.21 Dondurarak kurutucuda kurutulmuş mangosten numuneleri için deneysel ve Verma modeli ile hesaplanan kurutma hızları



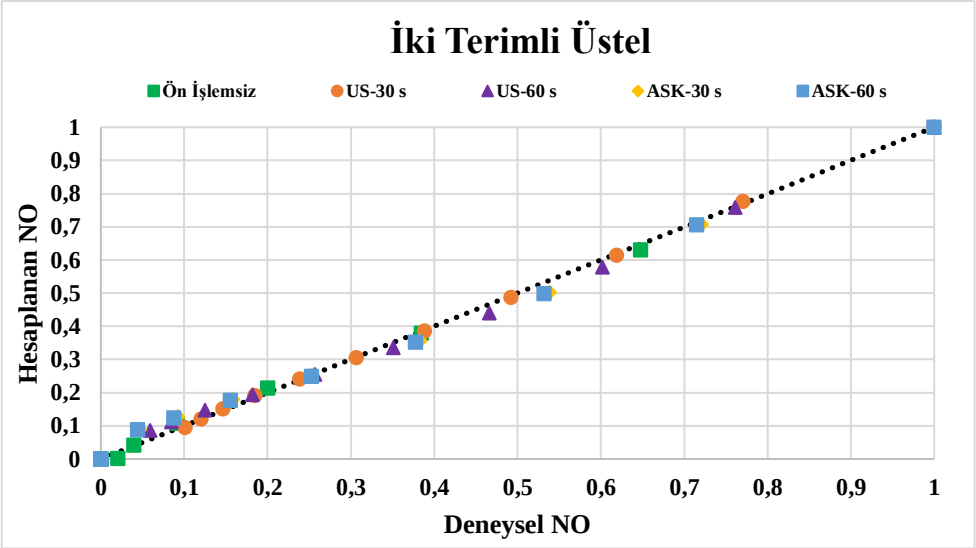
Şekil A.22 Dondurarak kurutucuda kurutulmuş mangosten numuneleri için deneysel ve Wang modeli ile hesaplanan kurutma hızları



Şekil A.23 Dondurarak kurutucuda kurutulmuş mangosten numuneleri için deneysel ve Weibull modeli ile hesaplanan kurutma hızları



Şekil A.24 Dondurarak kurutucuda kurutulmuş mangosten numuneleri için deneysel ve Peleg modeli ile hesaplanan kurutma hızları



Şekil A.25 Dondurarak kurutucuda kurutulmuş mangosten numuneleri için deneysel ve İki Terimli Üstel model ile hesaplanan kurutma hızları

TEZDEN ÜRETİLMİŞ YAYINLAR

Konferans Bildirileri

1. Senol, D. O., Ozyalcin, Z. O., & Kipcak, A. S. (2023). Mathematical modelling of ultrasound pretreated kumquat (Citrus japonica var. margarita) in freeze fryer. 2nd International Karatekin Science and Technology Conference, Çankırı (ss. 326-331).