T.C.

YILDIZ TEKNİK ÜNİVERSİTESİ

FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

ARMUDUN KURUTMA KİNETİĞİ VE RENK PARAMETRELERİNE İLİŞKİN KURUTMA YÖNTEMLERİNİN DEĞERLENDİRİLMESİ

Cansu DEMİRTAŞ

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Kimya Mühendisliği Anabilim Dalı

Kimya Mühendisliği Programı

Danışman

Prof. Dr. İbrahim DOYMAZ

Temmuz, 2023

T.C.

YILDIZ TEKNİK ÜNİVERSİTESİ

FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

ARMUDUN KURUTMA KİNETİĞİ VE RENK PARAMETRELERİNE İLİŞKİN KURUTMA YÖNTEMLERİNİN DEĞERLENDİRİLMESİ

Cansu DEMİRTAŞ tarafından hazırlanan tez çalışması 14.07.2023 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. İbrahim DOYMAZ
Yıldız Teknik Üniversitesi
Danışman

Jüri Üyeleri

Prof. Dr. İbrahim DOYMAZ, Danışman
Yıldız Teknik Üniversitesi _____

Doç. Dr. Nil ACARALI, Üye
Yıldız Teknik Üniversitesi _____

Prof. Dr. İsmail İNCİ, Üye
İstanbul Üniversitesi _____

Danışmanım Prof. Dr. İbrahim DOYMAZ sorumluluğunda tarafımca hazırlanan "Armudun Kurutma Kinetiği ve Renk Parametrelerine İlişkin Kurutma Yöntemlerinin Değerlendirilmesi" 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.

Cansu DEMİRTAŞ

Aileme

TEŞEKKÜR

Yüksek Lisans tezimin hazırlanmasında, değerli bilgilerini benimle paylaşan, kendisine ne zaman danışsam bana kıymetli zamanını ayıran, sabırla ve büyük bir ilgiyle bana faydalı olabilmek için elinden gelenin fazlasını sunan ve gelecekteki mesleki hayatımda da bana verdiği değerli bilgilerden faydalanacağımı düşündüğüm danışman hoca statüsünü hakkıyla yerine getiren kıymetli hocam Prof. Dr. İbrahim Doymaz'a sonsuz teşekkürlerimi sunarım.

Teşekkürlerin az kalacağı diğer üniversite hocalarımın da üniversite hayatım boyunca bana kazandırdıkları her şey için ve beni gelecekte söz sahibi yapacak bilgilerle donattıkları için hepsine teker teker teşekkürlerimi sunuyorum ve son olarak çalışmamda desteğini ve bana olan güvenini benden esirgemeyen Fatih ÇAKIR'a ve beni bu günlere sevgi ve saygı kelimelerinin anlamlarını bilecek şekilde yetiştirerek getiren ve benden hiçbir zaman desteğini esirgemeyen bu hayattaki en büyük şansım olan aileme sonsuz teşekkürler.

Cansu DEMİRTAŞ

İÇİNDEKİLER

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……6
1.3 Hipotez……6
2 KURUTMA 8
2.1 Kurutmaya Giriş……...8
2.2 Kurutma Mekanizması.....8
2.2.1 Isınma periyodu.....9
2.2.2 Sabit hız kuruma periyodu 9
2.2.3 Azalan hız kuruma periyodu 10
2.3 Kurutma Yöntemleri 10
2.3.1 Konveksiyon kurutma 10
2.3.2 Kondüksiyon kurutma.....10
2.3.3 Radyasyon kurutma.....11
2.3.4 Dondurarak kurutma 11
2.4 Kurutma Hızına Etki Eden Faktörler 11
2.4.1 Sıcaklık.....11
2.4.2 Havanın nemi 11
2.4.3 Havanın hızı 12
2.4.4 Yüzey alanı.....12
2.4.5 Kurutulan gıdaya özgü özellikler 12
2.5 Gıdaların Kurutulması Sırasında Meydana Gelen Değişimler 13
2.5.1 Fiziksel değişimler 13
2.5.2 Kimyasal değişimler.....14
2.6 Kurutma için Uygulanan Ön İşlemler.....15
2.6.1 Alkali daldırma.....15

2.6.2 Sülfitleme 15
2.6.3 Ağartma 16
2.6.4 Çizikleme 16
3 KURUTMA SİSTEMLERİ 17
3.1 Güneşte Kurutma 17
3.1.1 Güneş veya doğal kurutucular 17
3.1.2 Güneş enerjili kurutucular 18
3.2 Sıcak Hava Kurutma 19
3.2.1 Kabin kurutucular 19
3.2.2 Tünel kurutucular 20
3.2.3 Bantlı kurutucular 21
3.2.4 Sandık kurutucular 22
3.2.5 Akışkan yatak kurutucular 22
3.2.6 Püskürtmeli kurutucular 23
3.3 Mikrodalga Kurutma 23
3.4 Valsli (Tamburlu) Kurutma 23
3.5 Dondurarak Kurutma 24
3.6 Kızılötesi Kurutma 25
3.7 Vakum Kurutma 25
3.8 Ozmotik Kurutma 26
4 ARMUT 27
4.1 Armut Hakkında Genel Bilgiler 27
4.2 Türkiye'de Armut Üretimi 28
4.3 Dünya'da Armut Üretimi 29
5 MATERYAL VE YÖNTEM 31
5.1 Materyal 31
5.2 Yöntemler 31
5.2.1 Kabin kurutucu 31
5.2.2 İnfrared kurutucu 32
5.2.3 Teraziler 32
5.2.4 Kuru madde tayini 33
5.2.5 Vakumlu paketleme cihazı 33
5.3 Kurutma Denemeleri 34
5.3.1 Kabin kurutucuda yapılan kurutma denemeleri 34
5.3.2 İnfrared kurutucuda yapılan kurutma denemeleri 34

5.3.3 İnfrared ve kabin kombinasyonlu kurutma denemeleri.....34
5.4 Matematiksel Modelleme.....35
5.5 Regresyon Analizi.....36
5.6 Efektif Difüzyon Katsayısının ve Aktivasyon Enerjisinin Hesaplanması .37
5.7 Renk Değerlerinin Hesaplanması.....38
6 DENEYSEL BULGULARIN İRDELENMESİ 40
6.1 Kabin Kurutucuda Yapılan Çalışmalar.....40
6.1.1 Ön işlemin ve sıcaklığın kuruma süresine etkisi.....40
6.1.2 Kurutma hızı ile kuruma süresinin değişimi 43
6.1.3 Kuruma eğrilerinin matematiksel modellenmesi 45
6.1.4 Efektif difüzyon katsayılarının hesaplanması 50
6.1.5 Aktivasyon enerjilerinin hesaplanması 52
6.1.6 Renk analizlerinin incelenmesi 53
6.2 İnfrared Kurutucuda Yapılan Çalışmalar.....54
6.2.1 Ön işlemin ve IR güç seviyesinin kuruma süresine etkisi.....54
6.2.2 Kurutma hızı ile kuruma süresinin değişimi 58
6.2.3 Kuruma eğrilerinin matematiksel modellenmesi 61
6.2.4 Efektif difüzyon katsayılarının hesaplanması 65
6.2.5 Aktivasyon enerjilerinin hesaplanması 66
6.2.6 Renk analizlerinin incelenmesi 67
6.3 Kombine Kurutucuda (İnfrared+Kabin) Yapılan Çalışmalar 68
7 SONUÇ 70
KAYNAKÇA 72
TEZDEN ÜRETİLMİŞ YAYINLAR 77

SİMGE LİSTESİ

E_a	Aktivasyon enerjisi (kJ/mol)
MR_{exp}	Deneysel nem oranı
N	Deneysel veri sayısı
L	Dilim yarı kalınlığı (m)
D_{eff}	Efektif difüzyon katsayısı (m^2/s)
R	Gaz sabiti
M	Herhangi bir anda örnekteki nem miktarı (kg su/kg kuru madde)
χ^2	Khi-kare
a	Kırmızılık/Yeşillik
k	Kinetik sabit (1/dak)
C	Kroma
n	Kullanılan denklemdeki katsayı sayısı
m_d	Kuru madde miktarı (kg)
M_e	Kurutma koşullarındaki havanın denge su miktarı (kg su/kg kuru madde)
T	Kurutma sıcaklığı (^oC)
M_0	Kurutmaya başlamadan önceki ürünün içerdiği su miktarı (kg su/kg kuru madde)
t, Δt	Kurutma zamanı (dakika, s)
a, b, c	Modellerdeki katsayılar
m_w	Nem miktarı (kg)
L	Parlaklık/Koyuluk
^oC	Santigrat derece
b	Sarılık/Mavilik
D_0	Sonsuz sıcaklıkta difüzyon katsayısına eşdeğer bir sabit (m^2/s)
MR_{pre}	Tahmin edilen nem oranı
RMSE	Tahminin standart hatası
M_t	t anındaki nem içeriği (kg su/kg kuru madde)
$M_{t+\Delta t}$	t +Δt anındaki nem içeriği (kg su/kg kuru madde)
ΔE	Toplam renk değişimi
R^2	Regresyon katsayısı

KISALTMA LİSTESİ

CD	Konvektif kurutma
CPD	Konvektif ön kurutma
cm	Santimetre
dak	Dakika
DR	Kurutma hızı
EHD	Elektrohidrodinamik
FAO	Birleşmiş Milletler Gıda ve Tarım Örgütü
FD	Dondurarak kurutma
FIR	Uzak kızılötesi
g	Gram
IR	Kızılötesi
kcal	Kilokalori
kHz	Kilohertz
kJ	Kilojoule
kV	Kilovolt
kW	Kilowatt
m	Metre
mg	Miligram
µg	Mikrogram
MHz	Megahertz
MIR	Orta kızılötesi
MIR-FD	Orta kızılötesi dondurarak kurutma
µm	Mikrometre
mmHg	Milimetre civa
MR	Nem oranı
NIR	Yakın kızılötesi
RPM	Dakikadaki devir sayısı
s	Saniye
SA	Sitrik asit
SDS	Sodyum disülfit
VMFD	Vakumlu mikrodalga son kurutma
W	Watt

ŞEKİL LİSTESİ

Şekil 2.1 Kurutma süresine karşı kurutma hızının değişim grafiği **9**
Şekil 3.1 Direkt güneş kurutucu **18**
Şekil 3.2 Dolaylı güneş kurutucu **18**
Şekil 3.3 Kabin kurutucu **19**
Şekil 3.4 Kısa tünel kurutucu **20**
Şekil 3.5 Tünel kurutucularda akış düzenleri **20**
Şekil 3.6 İki aşamalı konveyör bantlı kurutucunun şematik görünümü **21**
Şekil 3.7 Akışkan yatak sisteminin boyuna şeması **22**
Şekil 3.8 Daldırma silindirli tek tamburlu kurutucu **24**
Şekil 3.9 Aplikatör silindirli çift tamburlu kurutucu **24**
Şekil 4.1 Deveci armudunun iç ve dış görünümü **27**
Şekil 5.1 Kurutma işlemlerinde kullanılan Deveci armut örnekleri **31**
Şekil 5.2 Kabin kurutucu **32**
Şekil 5.3 İnfrared kurutucu **32**
Şekil 5.4 Mettler marka terazi **32**
Şekil 5.5 Hassas terazi **32**
Şekil 5.6 Etüv **33**
Şekil 5.7 Desikatör **33**
Şekil 5.8 Vakumlu paketleme cihazı **33**
Şekil 5.9 Renk ölçer **38**
Şekil 5.10 L*a*b* renk uzayının şematik görünümü **39**
Şekil 6.1 Kurutma süresine bağlı olarak değişen nem içeriği: 40°C'de kurutulan armut dilimlerinin analizi **41**
Şekil 6.2 Kurutma süresine bağlı olarak değişen nem içeriği: 50°C'de kurutulan armut dilimlerinin analizi **41**
Şekil 6.3 Kurutma süresine bağlı olarak değişen nem içeriği: 60°C'de kurutulan armut dilimlerinin analizi **42**
Şekil 6.4 Kurutma süresine bağlı olarak değişen nem içeriği: 70°C'de kurutulan armut dilimlerinin analizi **42**
Şekil 6.5 Kurutma süresine bağlı olarak değişen kurutma hızı: 40°C'de kurutulan armut dilimlerinin analizi **43**
Şekil 6.6 Kurutma süresine bağlı olarak değişen kurutma hızı: 50°C'de kurutulan armut dilimlerinin analizi **44**

Şekil 6.7 Kurutma süresine bağlı olarak değişen kurutma hızı: 60°C'de kurutulan armut dilimlerinin analizi.....**44**

Şekil 6.8 Kurutma süresine bağlı olarak değişen kurutma hızı: 70°C'de kurutulan armut dilimlerinin analizi.....**45**

Şekil 6.9 SA kodlu dilimler için Logaritmik model kullanılarak elde edilen deneysel ve tahmin edilen nem oranlarının karşılaştırılması.....**48**

Şekil 6.10 SDS kodlu dilimler için Logaritmik model kullanılarak elde edilen deneysel ve tahmin edilen nem oranlarının karşılaştırılması.....**49**

Şekil 6.11 Kontrol kodlu dilimler için Logaritmik model kullanılarak elde edilen deneysel ve tahmin edilen nem oranlarının karşılaştırılması.....**49**

Şekil 6.12 SA kodlu dilimler için Aghbashlo vd. modeli kullanılarak elde edilen deneysel ve tahmin edilen nem oranlarının karşılaştırılması.....**49**

Şekil 6.13 SDS kodlu dilimler için Aghbashlo vd. modeli kullanılarak elde edilen deneysel ve tahmin edilen nem oranlarının karşılaştırılması.....**50**

Şekil 6.14 Kontrol kodlu dilimler için Aghbashlo vd. modeli kullanılarak elde edilen deneysel ve tahmin edilen nem oranlarının karşılaştırılması **50**

Şekil 6.15 Kurutma sıcaklığının armut dilimlerinin efektif difüzyon katsayıları üzerine etkileri **51**

Şekil 6.16 Kurutulan armut dilimlerinin efektif difüzyon katsayılarına sıcaklığın etkisi.....**52**

Şekil 6.17 Kurutma süresine bağlı olarak değişen nem içeriği: 38 W 'ta kurutulan armut dilimlerinin analizi.....**55**

Şekil 6.18 Kurutma süresine bağlı olarak değişen nem içeriği: 50 W 'ta kurutulan armut dilimlerinin analizi.....**56**

Şekil 6.19 Kurutma süresine bağlı olarak değişen nem içeriği: 62 W 'ta kurutulan armut dilimlerinin analizi.....**56**

Şekil 6.20 Kurutma süresine bağlı olarak değişen nem içeriği: 74 W 'ta kurutulan armut dilimlerinin analizi.....**57**

Şekil 6.21 Kurutma süresine bağlı olarak değişen nem içeriği: 88 W 'ta kurutulan armut dilimlerinin analizi.....**57**

Şekil 6.22 Kurutma süresine bağlı olarak değişen kurutma hızı: 38 W'ta kurutulan armut dilimlerinin analizi.....**58**

Şekil 6.23 Kurutma süresine bağlı olarak değişen kurutma hızı: 50 W'ta kurutulan armut dilimlerinin analizi.....**58**

Şekil 6.24 Kurutma süresine bağlı olarak değişen kurutma hızı: 62 W'ta kurutulan armut dilimlerinin analizi.....**59**

Şekil 6.25 Kurutma süresine bağlı olarak değişen kurutma hızı: 74 W'ta kurutulan armut dilimlerinin analizi **59**

Şekil 6.26 Kurutma süresine bağlı olarak değişen kurutma hızı: 88 W'ta kurutulan armut dilimlerinin analizi.....**60**

Şekil 6.27 SA kodlu dilimler için Aghbashlo vd. modeli kullanılarak elde edilen deneysel ve tahmin edilen nem oranlarının karşılaştırılması.....**64**

Şekil 6.28 SDS kodlu dilimler için Aghbashlo vd. modeli kullanılarak elde edilen deneysel ve tahmin edilen nem oranlarının karşılaştırılması **64**

Şekil 6.29 Kontrol kodlu dilimler için Aghbashlo vd. modeli kullanılarak elde edilen deneysel ve tahmin edilen nem oranlarının karşılaştırılması **64**

Şekil 6.30 Farklı infrared güç seviyelerinde kurutulan armut dilimlerinin efektif difüzyon katsayıları.....**65**

Şekil 6.31 Efektif difüzyon katsayısı üzerindeki infrared güç seviyelerinin etkisi **66**

Şekil 6.32 Kombine kurutma yöntemi ile kurutulan armut dilimlerinin kurutma süresi ile nem içeriğinin değişimi **69**

TABLO LİSTESİ

Tablo 4.1 Deveci armuduna ait bileşen değerleri.....**28**

Tablo 4.2 Türkiye'de armut üretimi/hasat alanı **29**

Tablo 4.3 Dünya'da armut üretimi/hasat alanı **30**

Tablo 4.4 Dünya'da armut üretiminde ilk 10 ülke **30**

Tablo 5.1 Kuruma eğrilerinin modellenmesinde kullanılan farklı matematiksel modellerin incelenmesi **36**

Tablo 6.1 Farklı sıcaklıklarda kurutulan armut dilimlerinin kuruma süreleri.....**40**

Tablo 6.2 Seçilen modellerin 40°C kurutma sıcaklığında istatistiksel analiz sonuçları.....**46**

Tablo 6.3 Seçilen modellerin 50°C kurutma sıcaklığında istatistiksel analiz sonuçları.....**46**

Tablo 6.4 Seçilen modellerin 60°C kurutma sıcaklığında istatistiksel analiz sonuçları.....**47**

Tablo 6.5 Seçilen modellerin 70°C kurutma sıcaklığında istatistiksel analiz sonuçları.....**47**

Tablo 6.6 Kabin kurutucuda kurutulan dilimlerin efektif difüzyon katsayıları ...**51**

Tablo 6.7 Renk parametreleri bakımından taze ve kurutulmuş armut dilimlerinin karşılaştırılması.....**53**

Tablo 6.8 Farklı infrared güç seviyelerinde kurutulan armut dilimlerinin kuruma süreleri **55**

Tablo 6.9 Seçilen modellerin 38 W infrared güç seviyesinde istatistiksel analiz sonuçları.....**61**

Tablo 6.10 Seçilen modellerin 50 W infrared güç seviyesinde istatistiksel analiz sonuçları.....**62**

Tablo 6.11 Seçilen modellerin 62 W infrared güç seviyesinde istatistiksel analiz sonuçları.....**62**

Tablo 6.12 Seçilen modellerin 74 W infrared güç seviyesinde istatistiksel analiz sonuçları.....**63**

Tablo 6.13 Seçilen modellerin 88 W infrared güç seviyesinde istatistiksel analiz sonuçları.....**63**

Tablo 6.14 Armut dilimlerinin farklı güç seviyelerindeki efektif difüzyon katsayıları.....**65**

Tablo 6.15 Taze ve kurutulmuş armut dilimlerine ait renk parametreleri ait renk parametreleri **67**

ÖZET

Armudun Kurutma Kinetiği ve Renk Parametrelerine İlişkin Kurutma Yöntemlerinin Değerlendirilmesi

Cansu DEMİRTAŞ

Kimya Mühendisliği Anabilim Dalı

Yüksek Lisans Tezi

Danışman: Prof. Dr. İbrahim DOYMAZ

Armut dilimlerinin kurutulması üzerine bir çalışma yapılmıştır. Çalışmada, armut dilimleri farklı çözeltiler (sitrik asit ve sodyum disülfit) ile ön işleme tabi tutularak kabin ve infrared kurutucularda kurutulmuşlardır. Kabin kurutucu için 40, 50, 60 ve 70°C kurutma sıcaklıkları kullanılırken, infrared kurutucu için ise 38, 50, 62, 74 ve 88 W güç seviyeleri kullanılmıştır. Sıcaklığın ve güç seviyesinin artmasıyla armut dilimlerinin kurutma hızının arttığı, kuruma süresinin ise azaldığı belirlenmiştir. Ayrıca ön işlemlere tabi tutularak kurutulan armut dilimlerinin kuruma sürelerinin Kontrol kodlu örneklerle kıyaslandığında daha kısa olduğu gözlenmiştir. Kurutma işlemi sonunda armut dilimleri aynı nem içeriğine ulaştığında en düşük kuruma süresi ve en yüksek kuruma hızının SA kodlu örneklerde olduğu görülmüştür. Elde edilen verilerden yola çıkılarak kurutma eğrileri çizilmiş ve her iki kurutma yöntemi için farklı kurutma modelleri kullanılarak matematiksel modelleme işlemleri gerçekleştirilmiştir. Kinetik çalışmada beş matematiksel model, yani Logaritmik, Aghbashlo vd., Lewis, Henderson & Pabis ve Vega-Galvez I modelleri değerlendirilmiştir. Tüm kurutma sıcaklıklarında ve infrared güç seviyelerinde R^2, χ^2 ve RMSE değerleri incelendiğinde, kabin kurutucu için Logaritmik ve Aghbashlo vd. modellerinin,

infrared kurutucu için ise Aghbashlo vd. modelinin armut dilimlerinin kuruma özelliklerini diğerlerinden daha iyi açıkladığı sonucuna varılmıştır. Efektif difüzyon katsayısı (D_{eff}) değeri, Fick'in ikinci yasasından yararlanılarak hesaplanmıştır. Kurutma sıcaklığı ve infrared güç seviyesindeki artışla ön işlemli ve ön işlemsiz kurutulan armut dilimlerinin D_{eff} değerleri artmıştır. Aynı zamanda, SA kodlu örneklerin D_{eff} değerleri, Kontrol kodlu örneklerden daha büyüktür. Kurutulmuş armut dilimlerinin D_{eff} değerleri, kurutma boyunca kabinli kurutucu için $1{,}4064\times10^{-10}$-$4{,}3815\times10^{-10}$ m^2/s ve infrared kurutucu için $3{,}191\times10^{-10}$-$1{,}014\times10^{-9}$ m^2/s arasında değişmiştir. Son olarak, aktivasyon enerjisi değerleri hesaplanmıştır ve kabinli kurutucu için 19,98 ile 26,20 kJ/mol ve infrared kurutucu için 1,267 ile 1,382 kW/kg arasında değişmiştir. Örneklerdeki toplam renk değişimi (ΔE) değeri incelendiğinde ise, kurutma sıcaklığı ve infrared güç seviyesinin artmasıyla örneklerin ΔE değerlerinde azalma olmuştur. En düşük ΔE değeri SDS kodlu örneklerde görülmüştür. Sonuç olarak, uygulanan SDS kodlu ön işlemin armut dilimlerinin renk değişimindeki kayıpları en aza indirgediği gözlenmiştir.

Anahtar Kelimeler: Kurutma, Deveci armudu, renk, kuruma süresi, aktivasyon enerjisi, kuruma hızı, efektif difüzyon katsayısı

ABSTRACT

Evaluation of Drying Methods with Respect to Drying Kinetics and Color Parameters of Pear

Cansu DEMİRTAŞ

Department of Chemical Engineering

Master's Thesis

Supervisor: Prof. Dr. İbrahim DOYMAZ

A study was conducted on the drying of pear slices. In the study, pear slices were pretreated with different solutions (citric acid and sodium disulphide) and were dried in the cabinet and infrared dryers. While drying temperatures of 40, 50, 60 and 70°C were used for the cabin dryer and power levels of 38, 50, 62, 74 and 88 W were used for the infrared dryer. It was determined that the drying rate of the pear slices increased, and drying time decreased with the increase in air temperature and infrared power level. In addition, it was observed that the drying times of the pear slices dried by pre-treatment were shorter compared to the control coded samples. The SA coded samples exhibited the shortest drying time and the highest drying rate when the pear slices reached the same moisture content after the drying process. Based on the obtained data, drying curves were plotted, and mathematical modelling was performed using different drying models for the two drying methods. In the kinetics study, five mathematical models, namely Logarithmic, Aghbashlo et al., Lewis, Henderson & Pabis, and Vega-Galvez I models, were assessed. Upon analysing the R^2, χ^2 and RMSE values across all temperatures and infrared power levels, it was determined that the Logarithmic and Aghbashlo et al. models yielded better explanations for the drying characteristics of pear slices in

the cabinet dryer, while the Aghbashlo et al. model was more effective for the infrared dryer. The effective diffusion coefficient (D_{eff}) value was calculated using Fick's second law. As the drying temperature and infrared power level values increased, the D_{eff} values of pear slices dried with and without pre-treatment increased. At the same time, the D_{eff} values of the SA coded samples were larger than the Control coded samples. The D_{eff} values of dried pear slices varied from $1,4064\times10^{-10}$-$4,3815\times10^{-10}$ m^2/s for the cabinet dryer and $3,191\times10^{-10}$-$1,014\times10^{-9}$ m^2/s for the infrared dryer, throughout the drying process. Finally, the activation energy was calculated and ranged from 19,98 to 26,20 kJ/mol for the cabinet dryer and 1,267 and 1,382 kW/kg for the infrared dryer. When the total color change (ΔE) value in samples was examined, there was a decrease in ΔE values of the samples as the air temperature and infrared power level increased. The lowest ΔE value was seen in SDS coded slices. As a result, the SDS coded pretreatment applied minimizes the losses in the color change of pear slices.

Keywords: Drying, Deveci pear, color, drying time, activation energy, drying rate, effective diffusion coefficient

1 GİRİŞ

Meyve ve sebzeler %80-95 oranında su içermeleri nedeniyle kolayca bozulabilmektedir. Bu nedenle meyve ve sebzelerin hasat edildikten sonra uygun koşullarda taşınması, depolanması ve saklanması gerekmektedir. Uygun koşullar sağlanamadığında ürünlerin besin içeriklerinde kayıplar ve bozulmalar meydana gelmektedir. Meyve ve sebzelerin bozulmasının ve kayıpların önüne geçilmesi için kurutma işlemi yapılmaktadır (Yıldız, 2019).

Kurutma işlemi kurutulacak olan gıdanın nem içeriğini önemli bir tat, renk ve besin kaybına yol açmadan istenilen kuruluk seviyesine verimli bir şekilde düşürmek olarak tanımlanmaktadır (Maftoonazad vd., 2020). Gıdaların kurutulmasındaki amaç, depolama sürelerini arttırmaktır. Böylelikle gıdalar, aroma ve besin değerlerini kaybetmeden muhafaza edilerek, ilerleyen zamanlarda kalitesinde bir değişiklik olmadan tüketilebilmektedir (Aktaş vd., 2013). Bu işlem esnasında kurutulmuş gıdanın fiziksel (şekil, gevreklik, sertlik, renk, aroma, tat ve besin değeri gibi) ve kimyasal özelliklerinde ise birtakım değişikler ortaya çıkmaktadır (Karaaslan, 2012).

1.1 Literatür Özeti

Lahsasni vd. (2004), konvektif güneş kurutucudaki kurutma havasının dikenli armut meyvesinin kurutma kinetiği üzerindeki etkisi incelemişlerdir. Dikenli armutlar, 32-36°C ortam hava sıcaklığı, 50-60°C kurutma havası sıcaklığı, %23-34 bağıl nem ve 0,0277-0,0833 m^3/s kurutma hava hızlarında kurutulmuştur. Sonuç olarak, kurutma hızını kontrol etmede ana faktörün kurutma havası sıcaklığı olduğu saptanmıştır.

Gonzalez vd. (2006), taze ve ozmotik olarak önceden işlenmiş armut dilimlerini laboratuvar ölçekli bir kurutucu kurutmuşlardır. Ozmotik işlemler, 30°C'de ve 50°Brix sükroz çözeltilerinde 0,5, 3 ve 48 saat süreyle uygulanmıştır. Armut dilimleri sabit hızdaki (2,2 m/s) sıcak hava kullanılarak değişen sıcaklık aralıklarında (45, 55, 65°C) kurutulmuştur. Aktivasyon enerjisi, 0,5 ve 3 saat süren

uygulamalarda taze ve ozmotik olarak ön işleme tabi tutulmuş örnekler için benzerlik gösterirken, uzun ozmotik işlem süresi uygulandığında aktivasyon enerjisi önemli ölçüde artmıştır.

Doymaz ve İsmail (2012), armut dilimlerinin kuruma kinetiği üzerine sıcaklığın etkisini araştırmışlardır. Armut dilimlerinin farklı hava sıcaklıklarında (55-65-75°C) kabinli bir kurutucuda kurutma işlemleri gerçekleştirilmiştir. Hava sıcaklığının artması ile birlikte kuruma süresi önemli ölçüde azalmıştır. Elde edilen deneysel verilere literatürde yer alan yedi matematiksel model uygulayarak test edilmiş ve bunun sonucu olarak Wang & Singh ve Midilli vd. modelleri armut dilimlerinin kurumasını tanımlamada en iyi sonuçlar veren modeller olduğu sonucuna varılmıştır.

Doymaz (2013a) tarafından yapılan bir başka çalışmada ise 5 mm kalınlığındaki armut dilimleri, farklı kurutma havası sıcaklıklarında (50-57-64- 71°C) ve 2,0 m/s hıza sahip havayla kurutulmuşlardır. Kurutmadan önce, armut dilimleri %0,5'lik sitrik asit çözeltisinde (20°C) veya 85°C'deki sıcak suda 1 dakika boyunca bekletilmiştir. Armut dilimlerinin 50, 57, 64 ve 71°C'de kurutulması ile %15'lik nihai nem içeriğine ulaşmak için gereken toplam süre sırasıyla 525, 480, 360 ve 255 dakika olarak belirlenmiştir. Sitrik asit çözeltisi ile önceden işlem görmüş örneklerde en kısa kurutma süresi gözlemlenmiştir.

Özaydın ve Özçelik (2014), kurutulan Ankara armutlarının bazı fizikokimyasal özellikleri üzerine kurutma işlemlerinin etkilerini incelemişlerdir. Armutlar küp ve dikdörtgen şekillerde kesilmişlerdir. %0,3'lük sodyum metabisülfit çözeltisi ile ön muamele edilerek tünel tipi fırında kurutulmuşlardır. Fırın brülörlerin sıcaklıkları 110, 100, 105, 90, 85, 80 ve 70°C'dir. Örneklerin kurutma işlemlerine nem içerikleri %7'ye ulaşıncaya kadar devam edilmiştir. Örnekler oda koşullarında depolanarak belli periyotlarda fizikokimyasal özelliklerinin (nem, su aktivitesi, renk, aroma ve fenolik madde miktarı) analizleri gerçekleştirilmiştir. Sonuç olarak, kesme şeklinin ve depolamanın kurutulan örneklerin kalitesine etki ettiği görülmüştür.

Lech vd. (2016), küp şeklinde kesilen armutları konvektif kurutma (CD), konvektif ön kurutma (CPD) ve vakumlu mikrodalga son kurutma (VMFD) içeren kombine yöntemle kurutmuşlardır. Kombine yöntem sırasında CPD, 4 m/s hızda ve

55°C'deki sıcak hava kullanılarak 15, 30 ve 120 dakika boyunca ön kurutma gerçekleştirilmiştir. Armut küplerinin VMFD'si, 240, 480 ve 720 W mikrodalga gücünde gerçekleştirilmiştir. Sonuç olarak kombine yöntemle kurutulan armutların, yalnızca konvektif yöntemle kurutulan örneklere göre daha düşük yoğunluğa ve daha gevrek bir yapıya sahip olduğu görülmüştür.

Antal vd. (2017), üç farklı kurutma yöntemi (orta kızılötesi dondurarak kurutma (MIR-FD), dondurarak kurutma (FD) ve orta kızılötesi kurutma (MIR) ve 40-70°C aralığındaki kurutma sıcaklıklarını kullanmışlardır. Kurutulmuş armutların kalitesini değerlendirmek amacıyla rehidrasyon kapasitesi, renk, doku, su aktivitesi, fenolik madde içeriği ve antioksidan aktivitesi değerleri ölçülmüştür. MIR-FD örneklerinin daha yumuşak dokuya (MIR 70°C-FD hariç) ve FD ve MIR örneklerinden daha iyi rehidrasyon kapasitesine sahip olduğu görülmüştür. Sonuç olarak, MIR-FD'nin FD ile kurutulmuş armutlara kıyasla fenolik içerik ve antioksidan aktivitelerinde önemli ölçüde hasara sahip olduğu ortaya konmuştur. Ürün fiziksel özellikleri açısından değerlendirildiğinde, FD yöntemi daha iyi renk ve biraz daha düşük su aktivitesi değeri göstermiştir. Bu nedenle, kurutma ve ürün kalitesi özellikleri dikkate alındığında optimum koşul MIR 50-60°C-FD, en iyi yöntem olarak belirlenmiştir.

Çelen vd. (2017), kurutma işlemlerinin Deveci armutlarının özellikleri üzerine etkilerini incelemişlerdir. Çalışmada 5 mm kalınlığında armut dilimleri 10,1±0,5 (yaş bazda) nem içeriğine kadar, 2000 ve 2800 W olmak üzere iki farklı mikrodalga güçlerinde mikrodalga kurutma ile kurutulmuştur. 2000 W mikrodalga gücü için kurutma işlemi 54, 85 ve 100 dakikada ve 2800 W mikrodalga gücü için 28, 55 ve 100 dakikada gerçekleştirilmiştir. Sonuç olarak, armut dilimlerinin renk kalitesi için en iyi değerler 2800 W-0,175 m/dak. kurutma koşullarında görülmüştür.

Karacabey ve Buzrul (2017), armutların kuruma davranışını temsil eden bir kurutma modeli oluşturmuşlardır. Denemeler sürekli bir konvektif kurutucuda (hava sıcaklıkları: 30, 40 ve 50°C; hava hızları: 0,5, 1,0 ve 1,5 m/s; kurutma havası bağıl nemleri: %40, %50 ve %60) gerçekleştirilmiştir. Sonuç olarak, gerekli özellikler göz önüne alındığında, en uygun kurutmanın 40°C, 1,5 m/s hava hızı ve %60 bağıl nem içeren bir ortamda yapılması gerektiği sonucuna varılmıştır.

İzli (2018), kurutma yöntemi olarak mikrodalga ve sıcak hava kurutma yöntemlerinin kombinasyonunu kullanmıştır. Kombine kurutma yönteminin iki farklı şekilde (küp ve halka) kesilen armutların toplam fenolik madde miktarı, renk parametreleri ve antioksidan kapasitesi değerleri üzerindeki etkilerini araştırmıştır. Denemelerde Deveci armutları kullanılmıştır. Kurutma denemeleri laboratuvar tipi mikrodalga-sıcak hava fırınında gerçekleştirilmiştir. Bu denemeler 90 ve 160 W mikrodalga güç seviyelerinde ve 55, 65 ve 75°C kurutma sıcaklıklarında gerçekleştirilmiştir. Sonuç olarak, taze armut örneklerinin renk değerlerine en yakın değerler halka şeklinde kesilmiş, 160 W mikrodalga güç seviyesinde ve 55°C kurutma havası sıcaklığında kurutma işlemi uygulanmış örneklerde görülmüştür. Toplam fenolik madde miktarının en yüksek değeri halka kesim şekli ve 160 W-65°C kombine uygulamasında belirlenmiştir. Bu denemelerde, kurutma yöntemlerinin ve kesim şeklinin ürünün kalitesini direkt olarak etkilediği saptanmıştır. Özellikle halka kesim şekli ile, kurutulmuş armutlarda renk değerleri ve toplam fenolik madde miktarı bakımından daha başarılı sonuçlar elde edilmiştir.

Güler vd. (2019), üç farklı büyüklükteki Deveci armut dilimlerinin konveksiyonlu kurutucuda kuruma davranışı incelemişlerdir. Bu amaçla iki farklı kurutma sıcaklığının (50-60°C) ve dilim şeklinin kuruma özelliklerine etkileri incelenmiştir. İnce levha, kalın levha ve silindirik şekil için örneklerin ortalama nihai nem içeriğine sırasıyla 50°C'de 270, 380, 360 dakikada ve 60°C'de 220, 320, 290 dakikada ulaşılmıştır.

Liu vd. (2019) yaptığı çalışmada ise temas ultrasonunun sıcak hava kurutması üzerindeki etkisini araştırmak için, farklı ultrasonik güçlerin ve kurutma sıcaklıklarının armut dilimlerinin kurutma özellikleri ve kalitesi üzerindeki etkilerini incelemişlerdir. 50 mm çapında ve 5 mm kalınlığındaki armut dilimleri ultrasonik radyasyon diski üzerinde 1 m/s hava hızında kurutulmuştur. Kurutma sıcaklıkları sırasıyla 35, 45 ve 55°C, ultrasonik güçler ise 0, 24 ve 48 W olarak ayarlanmıştır. Sonuç olarak, ultrasonik gücün ve kurutma sıcaklığının artmasıyla kuruma süresinin kısaldığı ve kuruma hızının önemli ölçüde arttığı görülmüştür.

Öztekin ve Sacilik (2020), dilimlenmiş Ankara armutlarının rehidrasyon kapasiteleri ve renk parametrelerine kurutma sıcaklığı ve ön işlemin etkilerini araştırmışlardır. Kurutma işlemleri 55, 65 ve 75°C'de gerçekleştirilmiştir. Ön işlem olarak sitrik asit çözeltisine daldırılma veya sıcak suda haşlanma işlemleri

yapılmıştır. Ön işlemin hem rehidrasyon kapasitesi hem de renk üzerinde önemli bir etkiye sahip olduğu belirlenmiştir; daha yüksek sıcaklıklar ve ön işlem, kuruma süresinde azalmalara ve rehidrasyon kapasitesinde artışlara neden olmaktadır. Taze armudun doğal rengi en iyi şekilde daha düşük kurutma sıcaklıkları ve sitrik asit ile ön işlemle korunmuştur.

Polatçı vd. (2020), armut posasını kabinli kurutucuda 60, 65 ve 70°C sıcaklıklarda kurutmuşlardır. Denemeler sonucunda armut posasının renk, suda çözünebilir kuru madde, ortalama kuruma süreleri, asitlik ve titre edilebilir asitlik değerleri hesaplanmıştır. Örnekler %10-13 (yaş bazda) neme kadar kurutulmuştur. Sıcaklık değerlerine bağlı olarak ortalama kuruma süreleri, sırasıyla 24, 21 ve 12 saat belirlenmiştir. Kurutma işlemi en uzun 60°C'de 24 saat sürerken, en kısa 70°C'de 12 saat sürmüştür. Önemli bir renk parametresi olan kroma değeri için en başarılı sonuçlar 65°C'de elde edilmiştir. Sonuç olarak armut posasının konvektif kurutma işlemi için en uygun 65°C kurutma havası sıcaklığında gerçekleşmesi önerilmektedir.

Önal vd. (2021), kurutma sıcaklığının ve ön işlemlerin (mikrodalga ve ultrason) "Rocha" armudunun kurutma davranışı, renk, toplam fenolik içerik ve antioksidan aktivite gibi kalite özellikleri üzerindeki etkisinin değerlendirilmesini amaçlamışlardır. Denemeler, mikrodalga fırın (2450 MHz, 539 W, 4 dakika) ve ultrasonik banyoda (35 kHz, 10 dakika) ön işlemlere tabi tutulan örneklerin yanı sıra kontrol örnekleri ile gerçekleştirilmiştir. Tepsili kurutucuda gerçekleştirilen kurutma işlemlerinde 50-55-60°C kurutma sıcaklıkları ile 0,75 m/s hıza sahip kurutma havası kullanılmıştır. Mikrodalga fırında kurutulmuş örneklerde, kontrollere ve ultrasonla ön işleme tabi tutulmuş örneklere kıyasla daha yüksek kalitede bozulma meydana gelmiştir. Ultrason ön işleminin kombine uygulaması ve 60°C'lik daha yüksek kurutma sıcaklığı, en düşük renk değişiklikleri ve besin parametrelerinin daha iyi korunması ile sonuçlanmıştır.

De Araujo vd. (2021), 3 mm kalınlığındaki armut dilimlerini sabit kütleye kadar 50, 60, 70, 80, 90 ve 100°C hava sıcaklıklarında bir kızılötesi kurutucuda kurutmuşlardır. Kurumayı zamanın bir fonksiyonu olarak göstermek için deneysel verilere farklı matematiksel modeller uygulanmıştır. Armut dilimlerinin kurutulmasını tatmin edici bir şekilde temsil eden model Henderson & Pabis

modelidir. Efektif difüzyon katsayısı, artan sıcaklıkla doğrusal olarak artmıştır ve $1,15\times10^{-9}$ ve $5,08\times10^{-9}$ m^2/s arasında değişmiştir.

Polat ve İzli (2022), elektrohidrodinamik (EHD) yöntemin sıcak hava ile birleştirilmesiyle 'Ankara' armut örneklerini kurutmuşlardır. Farklı hava hızı ve voltaj değerlerinin renk, kuruma süresi ve mikro yapı üzerindeki etkileri araştırılmıştır. Kurutma işlemlerinde kullanılan havanın hızları 1,5 ve 2,5 m/s ve voltaj değerleri 15, 20, 25 ve 30 Kv'dır. En kısa kurutma süresi 80 dakikadır ve 30 Kv-2,5 m/s uygulamasında görülmüştür. Ankara armudunun kuruma eğrilerini en iyi açıklayan modellerin Logaritmik ve Midilli modelleri olduğu belirlenmiştir.

1.2 Tezin Amacı

Yapılan kurutma işlemlerinde, sıcak havalı kabin ve infrared kurutucuların Deveci armutlarının karakteristikleri üzerindeki etkileri incelenecektir. Farklı ön işlem çözeltileri ile ön işleme tabi tutulacak armut dilimleri, kabin kurutucuda farklı sıcaklıklarda ve infrared kurutucuda farklı güç seviyelerinde kurutulacaktır. Ayrıca kombine (infrared + kabin) kurutma sisteminin de kurutma süresi üzerindeki etkisi incelenecektir. Kurutma işlemleri sonucunda kuruma süresi, kuruma hızı, ön işlem çözeltilerinin etkisi, aktivasyon enerjisi, efektif difüzyon katsayısı ve son ürünün renk değerleri ile ilgili çalışmalar gerçekleştirilecektir. Elde edilen veriler ile kurutma eğrileri çizilecek ve farklı kurutma modelleri ile matematiksel modelleme işlemleri gerçekleştirilecektir. Kurutma modelleri olarak Logaritmik, Aghbashlo vd., Lewis, Henderson & Pabis ve Vega-Galvez I modelleri kullanılacaktır. Böylece regresyon katsayısı (R^2), khi-kare (χ^2) ve tahminin standart hatası (RMSE) hesaplanacak ve Deveci armudunun kuruma davranışını en iyi açıklayan modeller tespit edilecektir.

1.3 Hipotez

Armut dilimleri, ön işlemsiz ve bazı ön işlemler uygulandıktan sonra farklı sıcaklıklarda kabin kurutucu ile ve farklı infrared güç seviyelerinde infrared kurutucu ile kurutulmuştur. Ön işlem uygulamalarında %1 sitrik asit ($C_6H_8O_7$) ve %2 sodyum disülfit ($Na_2S_2O_5$) çözeltileri kullanılmıştır. Örnekler nem içerikleri %15 (yaş bazda) oluncaya kadar kurutulmuşlardır.

Deneysel veriler kullanılarak, kurutulmuş armut dilimleri için kuruma eğrileri çizilmiş ve ön işlemlerin, kurutma sıcaklıklarının ve infrared güç seviyelerinin kuruma süresi üzerindeki etkileri araştırılmıştır. Matematiksel modelleme işlemleri gerçekleştirilerek en uygun model belirlenmiştir. Aynı zamanda deneysel verilerden yararlanılarak, efektif difüzyon katsayıları ve aktivasyon enerji değerleri hesaplanmış ve literatürde yer alan değerlerle karşılaştırılmıştır. Taze ve ön işlem uygulanmış armut dilimlerinin renk analizleri gerçekleştirilmiş, birbirleri ile kıyaslanmıştır. Taze armut diliminin renk değerine yakın olan örnekler belirlenmiştir.

2
KURUTMA

2.1 Kurutmaya Giriş

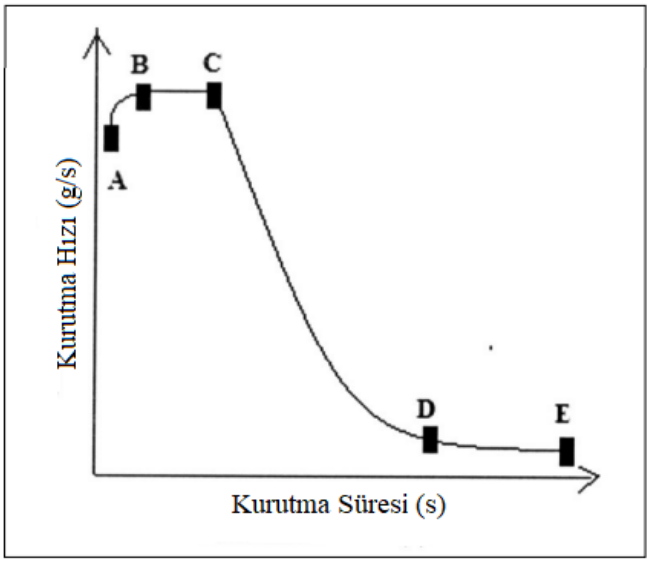
Kurutma işlemi, gıdalardan buharlaşabilen maddelerin (su vb.) mikrobiyolojik, fiziksel veya kimyasal reaksiyonların yavaşlatılması veya durdurulması amacıyla uzaklaştırılmasıdır (Karaaslan, 2012). Nemin uzaklaştırılması ile çürümeye neden olan mikroorganizmaların gelişmesi veya çoğalması önlenir ve böylece nem aracılığıyla meydana gelen bozulma reaksiyonlarının çoğu en aza indirilir. Gıdaların ağırlık ve hacimlerini azaltır, paketleme, depolama ve taşıma maliyetlerini düşürür ve ortam sıcaklıklarında ürünün depolanabilirliğini sağlar (Jayaraman ve Gupta, 2006).

Kurutma işleminde esas, kurutulacak maddenin içerisindeki suyun önce buhar haline getirilmesi daha sonra da bu buharın uzaklaştırılmasıdır. Suyun sıvı halden buhar hâline dönüşebilmesi için, gerekli olan ısı miktarı buharlaştırma gizli ısısı kadar verilmelidir. Maddeye bu ısıyı verebilmek için ise klasik ısı transfer yöntemlerinden yararlanılır. Bu yöntemler kondüksiyon, konveksiyon ve radyasyondur (Bayhan, 2011).

2.2 Kurutma Mekanizması

Kurumanın kinetik yönden incelenmesinde, madde ile maddeyi çevreleyen hava arasında nem alışverişi ve kuruma süreci boyunca geçen zaman da göz önünde tutularak irdelenmektedir. Bir ürünün kuruması kinetik olarak incelendiğinde, ürünün nem miktarı, kuruma süresi, kuruma hızı ve ürünün sıcaklığı arasındaki farklı kombinasyonların ilişkileri dikkate alınmaktadır (Bayhan, 2011).

Kuruma işleminin gerçekleşmesi sırasında üç farklı evre (ısınma, sabit hız kuruma, azalan hız kuruma periyodu) görülmektedir (Özbilir, 2006). Bu evreler irdelenirken kurutma süresine karşı kurutma hızının değişim grafiğinden (Şekil 2.1) yararlanılır.



Şekil 2.1 Kurutma süresine karşı kurutma hızının değişim grafiği [1]

2.2.1 Isınma periyodu

Şekil 2.1'de görüldüğü gibi kurumanın başlangıç anında gerçekleşen ısınma periyodu (A-B), kurutulacak maddenin sıcaklığının ortamın kurutma sıcaklığına denk gelene kadar sürmektedir. Kurutma hızı süre ilerledikçe artar ve bu evrenin sonuna gelindiğinde en yüksek değerine ulaşmış olur (Özbilir, 2006).

2.2.2 Sabit hız kuruma periyodu

Şekil 2.1'deki kurutma hızının kurutma süresi ile değişim eğrisindeki B-C arasındaki periyot sabit hız kuruma periyodu olarak bilinir. Bu periyotta, kurutulacak maddenin yüzeyinde ilk başta ince bir su tabakası vardır. İlk olarak su tabakası buharlaşmaya başlar. Sabit hız kuruma periyodu süresince suyun maddenin yüzeyine iletim hızı, maddenin yüzeyinden buharlaşan suyun hızına eşittir. Bu süreçte, maddeden yüzeye doğru bir nem hareketi meydana geldiğinden, maddenin iç katmanlarında bulunan nem gittikçe azalır. Bu nedenle, su artık iç kısımlardan yüzeye doğru hareket edememektedir. Sonuç olarak, maddenin yüzeyindeki serbest su tabakası ortadan kalkmaktadır. Bu noktada mevcut nem seviyesine "birinci kritik nem" denir. Kuruma eğrilerindeki nem seviyesini tanımlayan nokta "birinci kritik nokta" olarak adlandırılır (Özbilir, 2006). Sabit hız kuruma periyodu, maddedeki nem miktarı, kritik nem miktarından daha fazla olduğu zaman görülür. Sabit hız kuruma periyodu boyunca kuruma hızına, kurutma havasının sıcaklığı, hızı ve bağıl nemi etki etmektedir (Bayhan, 2011).

2.2.3 Azalan hız kuruma periyodu

Birinci kritik nem noktasından itibaren, Şekil 2.1'deki kuruma eğrisinin eğimi azalan yönde hızlı bir şekilde değişmektedir. Bu noktadan sonra, kuruma hızının zamanla azalmasıyla azalan hız kuruma periyodu (C-E) meydana gelmektedir. Bu evre iki aşamadan oluşmaktadır. Maddenin yüzeyindeki su tabakası giderek uzaklaştığında, kuruma hızı da ıslak yüzeyin alanı ile orantılı bir şekilde azalmaktadır. Bu evre ise "1. Azalan Hız Kuruma Periyodu" evresidir (C-D). Bu periyodun sonunda, maddenin içinden yüzeye doğru iletilen suyun iletim hızı, yüzeyden buharlaşan suyun hızından az olması sebebiyle maddenin yüzeyindeki ince su tabakası ortadan kalkmaktadır. Böylelikle kuruma hızı gittikçe yavaşlar ve bu noktadan sonra "2. Azalan Kuruma Periyodu" meydana gelmektedir (D-E). Azalan hız kuruma periyodu sonunda, maddenin sıcaklığı ile çevresinin sıcaklığı birbirine eşit olduğunda kuruma sona ermektedir (Özbilir, 2006).

2.3 Kurutma Yöntemleri

Gıdalar kurutma ortamlarına göre (a) güneşte-açık havada ve (b) yapay-kapalı alanda kurutma olarak sınıflandırılabileceği gibi gıda içerisindeki suyun uzaklaştırılmasında kullanılan ısının taşınım yöntemine göre de sınıflandırılabilir. Bu kurutma yöntemleri (a) konveksiyon, (b) kondüksiyon, (c) radyasyon ve (d) dondurarak kurutmadır (Kaya, 2019).

2.3.1 Konveksiyon kurutma

Konveksiyon (ısı taşınım) kurutma yönteminde, suyun buharlaştırılması için gerekli ısı, genellikle hava gibi bir gaz tarafından taşınmaktadır. Kurutulacak maddenin içinden, üzerinden ve arasından sıcak hava geçirilmektedir. Bu yöntem aynı zamanda sıcak hava kurutma yöntemi olarak da bilinmektedir. En önemli parametreler havanın sıcaklığı, havanın hızı, gıdanın ve ortamın nem içeriğidir (Kaya, 2019). Bu yöntemin çeşitli uygulamaları olup bunlardan bazıları; tünel kurutucular, akışkan yatak kurutucular, püskürterek kurutuculardır (Denge, 2011).

2.3.2 Kondüksiyon kurutma

Kondüksiyon (ısı iletim) kurutma yönteminde ise buharlaşma için gerekli ısı, fiziksel olarak maddeye temas ile taşınır. Kurutulacak olan madde hareketli veya hareketsiz durumdayken ısı üreten kaynağa temas ederek sıcak yüzeyden gıdaya ısı

taşınmaktadır. Böylece maddenin içerisindeki nem buharlaşmakta ve kuruması sağlanmaktadır (Kaya, 2019). Bu yöntemin en yaygın olanı valsli kurutuculardır (Denge, 2011).

2.3.3 Radyasyon kurutma

Radyasyonla kurutma yönteminde, madde, sistem içerisinde mevcut olan bir radyasyon kaynağı sayesinde ısıya maruz kalarak kurutulmaktadır. Bu kurutma yöntemi için mikrodalga, dielektrik, infrared (kızılötesi) gibi elektromanyetik enerjilerden faydalanılmaktadır (Kaya, 2019).

2.3.4 Dondurarak kurutma

Dondurarak kurutma (liyofilizasyon) yöntemi iki aşamada gerçekleşir. Bu aşamalardan ilki madde içerisindeki suyun buz haline gelmesi için önce maddenin dondurulmasıdır. Diğer aşama ise su donmuş haldeyken suyun süblimasyon ile uzaklaştırılmasıdır. Madde -20ºC/-30°C'lere kadar soğutulup ardından soğuk olan vakum kabinlerinde süblimleşerek kurutulmaktadır. Maddenin içerisindeki su buz halinden direkt olarak su buharı haline geçmektedir (Kaya, 2019).

2.4 Kurutma Hızına Etki Eden Faktörler

Gıdaların kurutulmasında, kurutma hızını pek çok faktör etkilemektedir. Kurutma hızına sıcaklık, hava nemi ve hızı, yüzey alanı, ortamın basıncı gibi başlıca faktörler ve kurutulan gıdaya özgü özellikler etki etmektedir (Arısoy, 2010).

2.4.1 Sıcaklık

Kurutma işlemi sırasında kullanılacak sıcak havanın yaş ve kuru termometre dereceleri arasındaki fark, kurutma hızına etki eden en önemli faktörlerden biridir. Kurutma hızı, kuru ve yaş termometre dereceleri arasındaki farkın artmasıyla doğru orantılı olarak artar (Arısoy, 2010).

2.4.2 Havanın nemi

Kurutulacak gıdanın nem miktarı içeriği, çevrede bulunan su buharı miktarına bağlı olarak değişmektedir. Ortam nem seviyesi arttığında veya azaldığında, maddedeki nem değişimi farklı karakteristik özellikler göstermektedir (Kocayiğit, 2010).

2.4.3 Havanın hızı

Kurutucudaki kurutma havasının hızı, kurutma hızını etkileyen bir diğer faktördür. Hava hızının artmasıyla kurutma hızı da artmaktadır. Fakat bu etki belirli bir değere kadar devam etmektedir (Kocayiğit, 2010). Çünkü uygulanan sıcaklıkta kurutma havası gıdadan kısıtlı miktarda nem absorplayabilmektedir. Nemin düşük hava hızlarında gıda yüzeyinden absorplanmasıyla, kurutma havası kısa sürede doygunlaşmaktadır ve hava akış hızının düşük olmasından dolayı, doygun olmayan kurutma havası ile yer değiştirmesi vakit almaktadır. Bu nedenle gıda uzun sürede kurumaktadır. Fakat nem yüksek hava hızlarında, doymuş havanın hava sirkülasyonu sayesinde doygunluğa ulaşmamış kurutma havası ile daha hızlı yer değiştireceğinden kurutma işlemi daha kısa sürmektedir (Demiray, 2009).

2.4.4 Yüzey alanı

Kurutulacak gıdanın kurutma hızına etki eden bir diğer faktör gıdanın birim yüzey alanıdır (Kocayiğit, 2010). Kurutma hızı ürün parçacıklarının yüzey alanı ile doğru, kalınlığı ile ters orantılıdır. Özellikle kuruma hızının azaldığı dönemde, parça büyüklüğü, iç tabakalardaki suyun yüzeye olan difüzyonu esnasında önemli bir faktördür. Büyük parçalarda difüzyon zorlaşır ve kuruma hızı azalır. Bu nedenle kurutulacak meyve ve sebzelerin mümkün oldukça küçük parçalar halinde doğranmalıdır (Arısoy, 2010). Yüzey alanı arttıkça ısı kurutulacak gıdanın merkezine doğru daha hızlı ilerlemekte ve böylelikle daha kısa sürede neminin uzaklaştırılmasını sağlamaktadır (Kocayiğit, 2010).

2.4.5 Kurutulan gıdaya özgü özellikler

Kurutma hızını etkileyen faktörler arasında, kurutulan maddenin kendine özgü özellikleri de bulunmaktadır. Kurutma işlemi süresince bu özellikler değişmektedir (Kocayiğit, 2010). Aynı zamanda, maddenin kimyasal yapısı da önemlidir. Küçük moleküllü (şeker, tuz vb.) maddeler bakımından zengin olan gıdanın, bu maddelerce fakir olan bir gıda ile karşılaştırıldığında kuruması zorlaşmaktadır. Çünkü çözünmüş maddeler suyun buhar basıncını düşürerek buharlaşma işlemini zorlaştırır (Demiray, 2009).

2.5 Gıdaların Kurutulması Sırasında Meydana Gelen Değişimler

Kurutma işlemlerinin pek çok avantajı olduğu gibi bazı dezavantajları da bulunmaktadır. Kurutma işlemi gerçekleşirken ısı ve kütle transferi kontrollü bir şekilde ilerlemez ise son üründe fiziksel, kimyasal ve mikrobiyal değişikler oluşmaktadır. Böylelikle ürünün kalitesi düşmektedir ve büzülme, çökme, şişme ve kristalizasyon gibi fiziksel değişimler meydana gelmektedir. Gerçekleşen kimyasal ve/veya biyokimyasal reaksiyonların sonucunda ürünlerin aromalarında, kokularında, renklerinde ve görünüşlerinde de değişimler meydana gelmektedir. Bu değişimler uygulanan prosese, ısıl işlemin süresine, sıcaklığına, kurutulacak meyve veya sebzenin türüne, olgunluk derecesine bağlı olmakla birlikte içerdikleri antosiyaninlere, karotenoidlere, fenolik bileşiklere, şeker ve su miktarına da bağlıdır. Bu aşamada seçilecek kurutma yöntemi çok önemlidir. Amaç en iyi kalitede, doğalına en yakın ürünü elde etmektir (Yıldız, 2019).

2.5.1 Fiziksel değişimler

Büzülme: Büzülme, kuruma işleminde meydana gelen fiziksel değişimlerden biridir. Genellikle kuruma işleminin başlangıcında oluşur. Kurutulan maddedeki yapının çökmesiyle gerçekleşir ve bu durum camsı geçiş sıcaklığıyla ilişkilendirilir. Kurutma işlemi camsı geçiş sıcaklığında veya daha düşük sıcaklıklarda yapıldığında, yapısal büzülme önlenmiş olur. Fakat meyve ve sebzeler yüksek nem içerdiklerinden dolayı camsı geçiş sıcaklıkları çok düşüktür. Bu nedenle yapısal büzülme genellikle engellenemez. Hava ile uygulanan kurutma sıcaklıkları camsı geçiş sıcaklıklarının çok üstündedir ve sonuç olarak kurutma esnasında büzülme ve çökme meydana gelmektedir (Denge, 2011).

Çözünür madde göçü: Kurutma işlemi esnasında kurutulan madde içinde su haricinde yer değiştiren diğer bileşeler de bulunmaktadır. Canlı doku içerisindeki su, birçok bileşen bulunduran bir çözelti halindedir. Kurutma esnasında dokudan hareket eden su, bazı çözünmüş maddeleri de taşımaktadır (Denge, 2011).

Kabuk oluşumu: Gıda içinde suyun hareketiyle çözünmüş maddeler de hareket etmeye başlar. Böylelikle su alt tabakalarda bulunan kuru maddeyi yüzeye taşır ve suyun uzaklaştırılmasıyla birlikte yüzeyde bir kuru madde yığını oluşur (Yıldız, 2019). Böylelikle yüzeyde meydana gelen kuru madde yığını büzüşerek alt tabakalara baskı uygular. Fakat, alt tabakalar hala nemli olduğu için üstteki bu

basınca direnç uygular. Bu durum karşısında üst tabaka büzülme imkanı bulamaz ve gerilerek sert bir kabuk haline gelir (Denge, 2011).

Kitle yoğunluğunda azalma: Kitle yoğunluğu, bir maddenin birim hacminin ağırlığıdır ve aynı zamanda kurutulan maddenin kalite ölçüsüdür (Kocayiğit, 2010). Eğer kurutulan maddede herhangi bir büzülme meydana gelmezse ve madde kuruma işlemi sonunda da başlangıç boyutunda ise, maddenin kurutmadan sonraki kitle yoğunluğu yalnızca difüze olan su kadar azalır. Ancak meyve ve sebzelerde kurutma esnasında her zaman bir büzülme meydana gelmektedir (Arısoy, 2010).

Kurutulmuş ürünlerin rehidrasyon yeteneği: Kurutulmuş bir üründe aranan en temel özellik, ürünün kullanıldığı sırada verilen su ile eski şekline geri dönme yeteneğidir. Ürün suda bekletildiğinde, içerdiği suyu geri alarak taze haline dönebiliyorsa, bu durum ürünün mükemmel nitelikte olduğunu göstermektedir (Arısoy, 2010).

2.5.2 Kimyasal değişimler

Kimyasal değişmeler kurutulmuş ürünün tekstür, renk, lezzet, viskozite, besin değeri ve depo sürecinde ortaya çıkmaktadır. Kurutma işlemi sırasında uygulanan ısının şiddeti, kimyasal değişimleri etkileyen en önemli faktörlerden biridir (Arısoy, 2010). Yüksek sıcaklık ve uzun kuruma süresi, ürünün orijinal rengini bozmaktadır (Rahman, 2007). Kurutulan gıdalardaki en önemli olumsuz değişim renk esmerleşmesidir. Rengin esmerleşmesi kurutma işleminden önce, kurutma esnasında ve/veya kurutma sonrasında oluşabilmektedir. Renk esmerleşmesi çoğunlukla enzimatik olmayan yollarla meydana geldiği gibi enzimatik reaksiyonlarda da ortaya çıkmaktadır (Denge, 2011). Sıcaklığın yükselmesi ve reaksiyona giren maddenin ortamdaki konsantrasyonunun artması, enzimatik olmayan esmerleşme reaksiyonlarının hızını arttırmaktadır (Arısoy, 2010).

2.6 Kurutma için Uygulanan Ön İşlemler

Kurutma işlemlerinde ürünlerin kalitesini arttırmak için, kurutma işlemi öncesinde bazı ön işlem uygulamaları yapılmaktadır. Ön işlemler, kurutma işleminden önce kurutulacak sebze ya da meyvelerin içerisindeki nemin daha hızlı alınmasını sağlayan, ürünlerde renk kaybını önleyen, ürünlerdeki besin kayıplarını azaltan, ürünlerin mikrobik faaliyetlerini engelleyen ve ürünlerin daha hijyenik olmasını sağlayan işlemlerdir (Rahman, 2007). Meyve ve sebzeler, kurutma özelliklerini geliştirmek ve ürünlerin kurutulması ve daha sonra depolanması sırasında meydana gelen olumsuz değişiklikleri en aza indirgemek amacıyla bazı ön işlemlere tabi tutulur. Bu ön işlemlerde meyveler için alkali daldırma, meyve ve sebzeler için ise sülfitleme ve ağartma işlemleri yapılır (Jayaraman ve Gupta, 2006).

2.6.1 Alkali daldırma

Alkali daldırmada kurutma işlemi öncesinde ürün bir alkali çözeltisine daldırılır. Bu işlem, bütün olarak kurutulan meyveler (kuru erik, üzüm vb.) için kullanılır. Bu yöntem için 93,3-100^{o}C arasındaki bir sıcaklıkta sodyum karbonat veya soda çözeltisi kullanılır. Kabukta ince çatlaklar oluşturarak kurumayı kolaylaştırır (Jayaraman ve Gupta, 2006).

2.6.2 Sülfitleme

Sülfitleme, meyve ve sebzelerin kurutulmasında yaygın olarak kullanılmaktadır. Sülfitleme işleminde kullanılan kükürt dioksit, enzimatik olmayan esmerleşmeyi önlemede en etkili katkı maddesidir (Jayaraman ve Gupta, 2006). Kükürt dioksit, gıdayı tüketici için çekici kılan renk, lezzet, doku ve vitamin içeriğini korur. Kurutma ve depolama sırasında meyvenin kararma hızını azaltmak için yaygın olarak kullanılır, aynı zamanda askorbik asit ile karoteni korunur. Gıdalar tarafından alınan kükürt dioksit, bitkideki havayı dokudan uzaklaştırır, hücre duvarlarını yumuşatır, böylece kurutma daha kolay gerçekleşir, kesilmiş yüzeylerin koyulaşmasına neden olan enzimleri yok eder ve kurutulmuş meyvelerin parlak çekici rengini artırır (Rahman, 2007).

2.6.3 Ağartma

Ağartma, ürünün suya veya buhara daldırılması ile gerçekleştirilen ön ısıtma işlemidir. Ağartma işleminin temel amacı, gıdalarda bulunan ve doğal olarak oluşan enzimleri etkisiz hale getirmektir (Rahman, 2007). Ağartma ile, işlem ve depolama sırasında enzimatik esmerleşme ve oksidasyon gibi ürün kalitesini olumsuz etkileyen istenmeyen reaksiyonların ortaya çıkmasından sorumlu enzimlerin denatüre edilmesi amaçlanmaktadır (Jayaraman ve Gupta, 2006). Ağartma sıcaklığı ve süresi, kurutulan ürünün optimum kalitesini elde etmek için önemli faktörlerdir. Kullanılan sıcaklık 50 ile 70°C arasındadır (Rahman, 2007).

2.6.4 Çizikleme

Bu yöntem kabuğun parçalanması olarak da adlandırılmaktadır. Bu işlem kurumayı teşvik ederek maddenin çatlamasını önler. Bu yöntemde ilk olarak madde kaynayan suya hızlıca daldırılıp çıkarılır. Sonrasında, buzlu suya birkaç saniye daldırılır. Maddenin suyu süzülerek havluya serilir. Daha sonra da madde kurutulur (Denge, 2011).

3
KURUTMA SİSTEMLERİ

3.1 Güneşte Kurutma

Güneş enerjisi, tarım ürünlerinin kurutulması ve korunmasında kullanılan en eski kurutma yöntemlerinden biridir. Ayrıca, su aktivitesinin düşük bir seviyeye getirildiği en ucuz koruma yöntemidir, böylece bozulma gerçekleşmemektedir (Jayaraman ve Gupta, 2006).

Güneşte kurutma, gıdaların güneşten gelen radyasyona doğrudan maruz bırakılarak kurutulmasını ifade eder. Güneş kurutucusunun bir örneği Şekil 3.1'de gösterilmektedir. Güneş enerjisi ile kurutma ise, ürünlerin güneşe maruz kalmadığı, ancak güneş enerjisi ile ısıtılan hava ile dolaylı olarak kurutulmasıdır. Her iki kurutma türü de ancak yeterli ve güvenilir güneşlenme kabul edilebilirse mümkündür (Berk, 2009). Güneş kurutucular genellikle ısıtma yöntemlerine veya güneş radyasyonundan elde edilen ısının kullanım şekline göre sınıflandırılır.

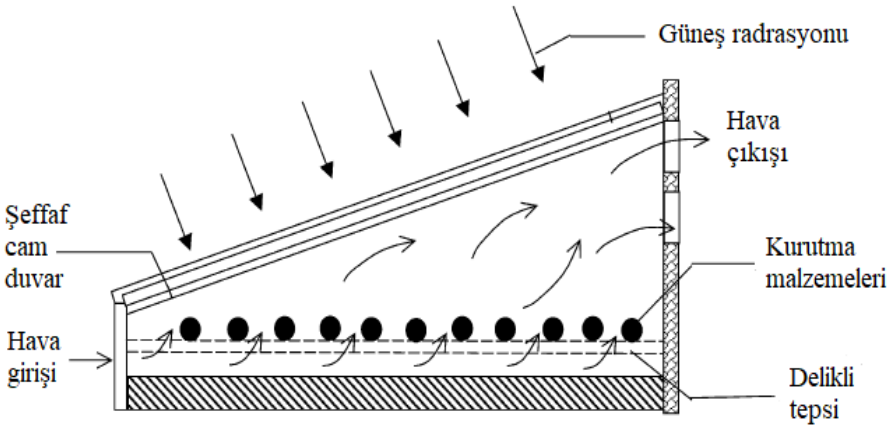
3.1.1 Güneş veya doğal kurutucular

Güneş veya doğal kurutucular kullanılarak yapılan kurutma işlemleri sırasında güneş radyasyonu, bağıl nem, ortam hava sıcaklığı ve rüzgar hızının etkisi kullanılmaktadır (Jayaraman ve Gupta, 2006). Bu süreçte, gıdalar doğrudan araziye yerleştirilerek veya havada asılı bırakılarak doğrudan güneşe maruz kalır (Rahman, 2007). Bu tip kurutmanın ana dezavantajları:

- Kuşlar, hayvanlar ve böcekler tarafından ürüne zarar verilme riski.
- Güneş ışınlarına ve fırtınaya doğrudan maruz kalma ve yağmur, çiy ve hava neminden dolayı ürünün bozulması.
- Kir, toz ve atmosferik kirlilik nedeniyle ürün kalitesinin düşmesi.
- Mikroorganizmaların büyümesinden dolayı ürünün bozulması.
- Kurutma işlemi sırasında homojen olmama veya yetersiz kurutma veya aşırı kurutmadan kaynaklanan kayıplardır (Lingayat vd., 2020).

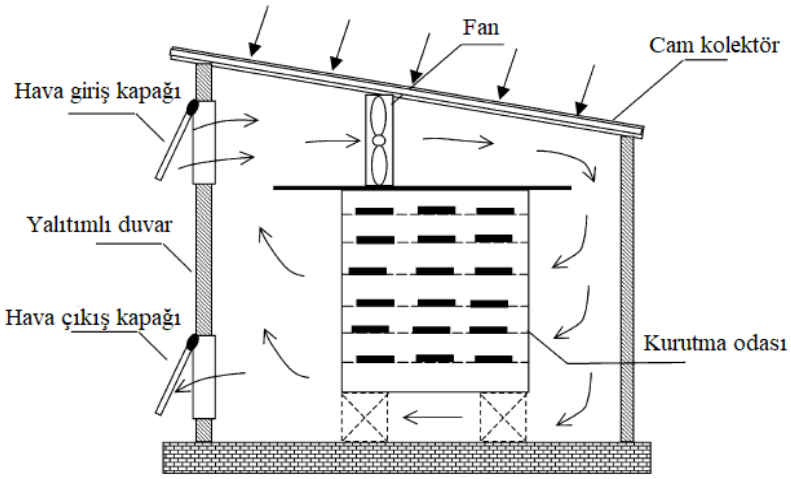
3.1.2 Güneş enerjili kurutucular

Güneş enerjisiyle kurutma, genellikle kurutma uygulamaları için ışıma enerjisinden yararlanmak amacıyla güneş radyasyonunu toplayan ekipmanın kullanılmasıyla "güneşte kurutma" dan ayrılır (Sharma vd., 2009). Güneş enerjili kurutma sistemleri, direkt güneş enerjisiyle çalışan kurutucular ve dolaylı güneş enerjisi kullanarak çalışan kurutucular olmak üzere iki şekilde sınıflandırılır.



Şekil 3.1 Direkt güneş kurutucu (Chua ve Chou, 2003)

Direkt güneş kurutucularında kurutulacak ürün şeffaf bir kapak veya yan panelli bir kutu içine yerleştirilir. Güneş radyasyonunun, üründe ve kurutmanın gerçekleştiği kurutma odasının iç yüzeylerinde emilmesi ile ısı üretilir. Üretilen bu ısı yardımıyla kurutulacak üründen nem buharlaşır. Ek olarak havayı ısıtmaya ve genişletmeye hizmet eder ve havanın sirkülasyonu ile nemin giderilmesine neden olur (Jayaraman ve Gupta, 2006). Direkt güneş kurutucu sistemi Şekil 3.1'de verilmiştir.



Şekil 3.2 Dolaylı güneş kurutucu (Chua ve Chou, 2003)

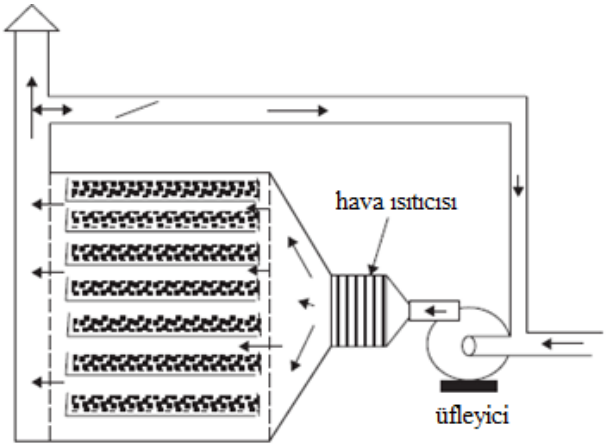
Dolaylı güneş kurutuculardа ise, kurutulacak üründe kurutma işlemi direkt olarak güneş radyasyonu ile gerçekleşmez. Hava, bir güneş kolektörü yardımıyla ısıtılır ve sonrasında üründen nemi uzaklaştırmak için kurutma odasına gönderilir (Jayaraman ve Gupta, 2006). Sıcak hava ile ürün ısıtılır ve daha sonra ürünün içerdiği nem, doğal hava sirkülasyonu ile kurutma odasının bacasından dışarıya atılır. Ayrıca havayı kurutucunun içine veya dışına zorlamak için elektrikli fan veya üfleyici kullanılabilir (Şekil 3.2). Dolayısıyla bu tip kurutucularda kurutma hızının kontrol edilmesi mümkündür (Lingayat vd., 2020).

3.2 Sıcak Hava Kurutma

Günümüzde kuru meyve ve sebzelerin çoğu, çeşitli yöntemler arasında en basit ve en ekonomik olan sıcak hava kurutma tekniği ile üretilmektedir. Bu kurutma yönteminde ısıtılan hava, ısı ve kütle transferlerini kolaylaştırmak için kurutulacak ıslak ürün ile temas ettirilir. Bu tekniğe göre farklı tipte kurutucular tasarlanmış, üretilmiş ve ticari olarak kullanılmıştır (Jayaraman ve Gupta, 2006).

3.2.1 Kabin kurutucular

Kabin kurutucular, meyve ve sebzelerin laboratuvar ve pilot tesislerde deneysel olarak kurutulması için kullanılan küçük ölçekli kurutuculardır. Maddenin yüklü olduğu üst üste yerleştirilmiş tepsilerden ve havayı ısıtıcılardan daha sonra da maddeden çapraz akış veya direkt akış yoluyla zorlayan bir fan içeren yalıtımlı bir bölmeden oluşurlar (Şekil 3.3) (Jayaraman ve Gupta, 2006).

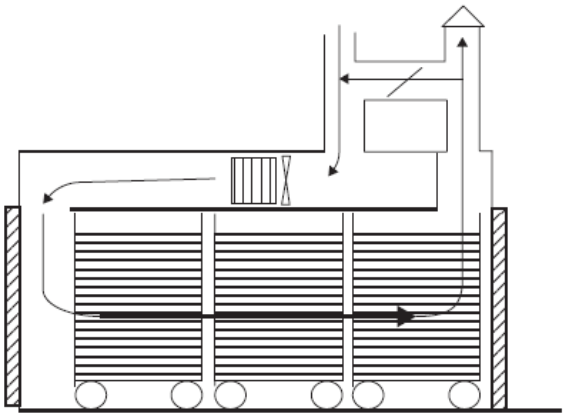


Şekil 3.3 Kabin kurutucu (Berk, 2009)

Tepsiler, aralarında yeterli boşluk bulunan raflara dayanır. Isıtmalı kuru hava rafların arasında dolaşır. Kurutma hızı, maddenin nem içeriğine ve tepsideki konumuna bağlıdır. Kuru hava girişine en yakın madde, en düşük nem içeriğine sahiptir (Berk, 2009).

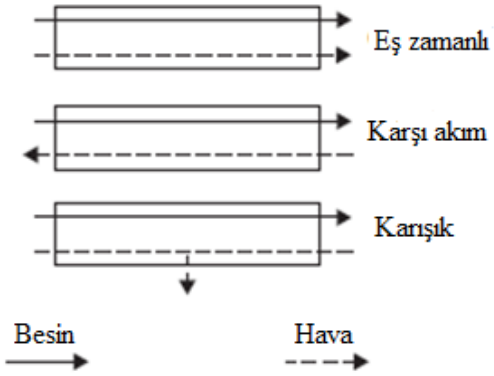
3.2.2 Tünel kurutucular

Tünel kurutucular, tepsi yığınları taşıyan kamyonların bir kurutma havası akışı ile veya bu havaya karşı hareket ettikleri uzun tünellerden oluşur (Şekil 3.4). Kurutulacak ıslak madde tepsilerin üzerine eşit olarak yayılır. Islak madde taşıyan bir kamyon tünelin bir ucundan girerken, susuz ürün taşıyan başka bir kamyon diğer uçtan çıkar (Berk, 2009).



Şekil 3.4 Kısa tünel kurutucu (Berk, 2009)

Havanın ve kamyonların nispi hareket yönüne göre tünel kurutucular; eş zamanlı akım, karşı akım veya karışık akım şeklinde çalışır (Şekil 3.5).

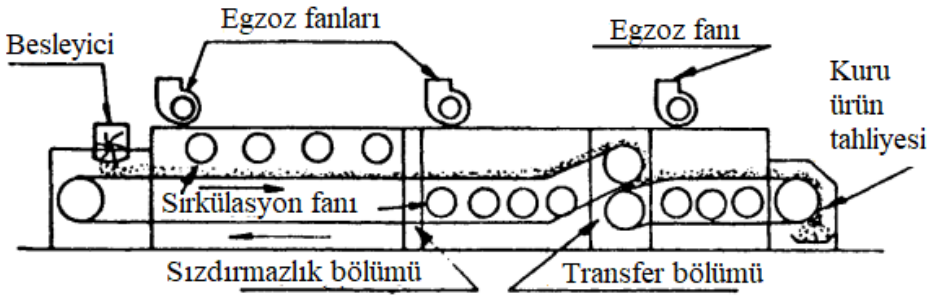


Şekil 3.5 Tünel kurutuculardaki akış düzenleri (Berk, 2009)

Eş zamanlı akım durumunda, en yüksek sıcaklık ve en düşük neme sahip hava, en yüksek nem ve en düşük sıcaklığa sahip maddelerle buluşur. Bu, kurutma için en yüksek "itici gücü" ve dolayısıyla tünele girişte en hızlı su transferini sağlar. Besleme maddesi yeterince nemli ise, sıcak hava ile temas etse bile sıcaklığı düşük kalır. Bununla birlikte, "itici güç", gıda çıkışa doğru giderken azalır. Tünelin çıkışındaki hava en nemli ve en havalıdır. Tersi, karşı akım durumunda meydana gelir. Başlangıç kurutma hızı daha düşüktür ancak ürünü daha düşük nihai nem içeriğine kadar dehidre etmek mümkündür. Karışık akışlı, merkezi egzoz tüneli seri olarak iki tünel işlevi görür. İlk kısmı eşzamanlıdır ve istenen yüksek başlangıç kurutma hızını sağlar. Son kısmı ters akımdır ve istenen bitirme etkisini verir (Berk, 2009).

3.2.3 Bantlı kurutucular

Bantlı kurutucular, ana bileşen olarak tek veya birkaç delikli tel örgü veya konveyör bantlarından oluşurlar. Islak madde besleme ucundan eşit olarak beslenir ve kurutucu boyunca taşınır. Madde yatağının kalınlığı 25-250 mm arasında tutulur. Hareketli madde yatağından sıcak hava püskürtülür. Bu ince madde yatağı ve daha yüksek hava akış hızları, maddenin eşit bir şekilde kurumasını sağlar. Kurutulan madde, kurutucunun çıkışında sürekli olarak boşaltılır. Bant boyunca, maddenin kuruma özelliklerini sağlamak için kullanılan havanın özellikleri (sıcaklık, bağıl nem vb.) ayarlanabilir. Ayrıca havanın hareketi yukarı veya aşağı olabilir. Bant kurutucunun iki konfigürasyonu (iki aşamalı ve çok katlı) bulunmaktadır. İki aşamalı konfigürasyonu Şekil 3.6'da gösterilmektedir (Sokhansanj ve Jayas, 2006).



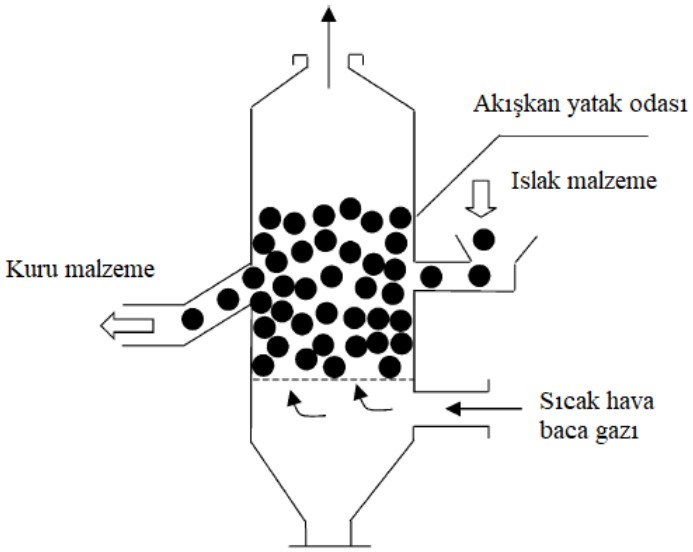
Şekil 3.6 İki aşamalı konveyör bantlı kurutucunun şematik görünümü

3.2.4 Sandık kurutucular

Sandık tipi kurutucu genellikle uzunluğu genişliğinin yaklaşık üç katı olan küçük bir ahşap kutudan yapılır. Yan panellerin gölgeleme etkisini en aza indirmek için bu oran korunur. Kutu üstte cam kapak, altta ve yanlarda izolasyon ile kapatılmıştır. Kutunun iç yüzeyleri, güneş ışınımını emebilmek için siyaha boyanmıştır. Amaç kutudaki havanın sıcaklığını arttırmaktır. Islak ürün, alt kısmında delikler/tel ağ bulunan tepsilere yerleştirilir; daha sonra tepsiler, ürünün radyasyonu doğrudan alması ve sıcak havanın üründen geçmesi için tabanın birkaç santimetre yukarısına kutuya yerleştirilir. Arka dikey tarafın tabanındaki ve üstündeki delikler doğal konveksiyonla hava hareketine izin verir (Sharma vd., 2009).

3.2.5 Akışkan yatak kurutucular

Tipik bir akışkan yatak kurutucu sisteminde (Şekil 3.7) ıslak besleme, akışkan yatağın bir tarafından ana kurutma bölgesine girer. Sıcak hava, alttaki delikli plakadan geçer ve ıslak madde ile çapraz akışlı bir şekilde karşılaşır. Bu karşılaşma, partiküllerin akışkanlaşmasına, etkili gaz-partikül temasının gerçekleşmesine ve partiküllerin etkili bir şekilde kurutulmasına neden olur. Kurutulmuş parçacıklar daha sonra akışkanlaştırılmış yatağın çıkış ağzından boşaltılır. Böyle bir sistem ucuzdur, düşük sermaye maliyeti gerektirir ve tasarımı kolaydır (Chua ve Chou, 2003).



Şekil 3.7 Akışkan yatak sisteminin boyuna şeması (Chua ve Chou, 2003)

3.2.6 Püskürtmeli kurutucular

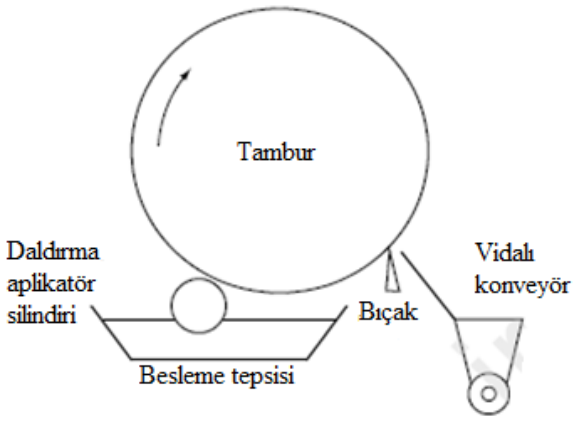
Püskürtmeli (sprey) kurutucular hafif, gözenekli tozlar üretmek amacıyla sıvı çözeltileri ve süspansiyonları kurutmak için kullanılır. Püskürtmeli kurutucuda ürün, kuru ve sıcak bir ortama püskürtülerek akışkan halden kurutulmuş bir forma dönüştürülür. Bu yöntemde sıvı, bir nozul yardımıyla püskürtücüye püskürtülür. Püskürtme işlemi ile sıvının kurutma ortamı ile teması sağlanır. Sıvı, ince damlalar halinde büyük bir haznenin içindeki çok sıcak havaya sprey şeklinde dağıtılır. Küçük boyutları ve havanın yüksek sıcaklığı nedeniyle, damlacıklar hızlıca kurutulur ve katı toz parçacıklarına dönüştürülür, daha sonra toz parçacıkları bir siklon ayırıcı yardımıyla kurutma ortamından ayrılır (Berk, 2009; Jayaraman ve Gupta, 2006).

3.3 Mikrodalga Kurutma

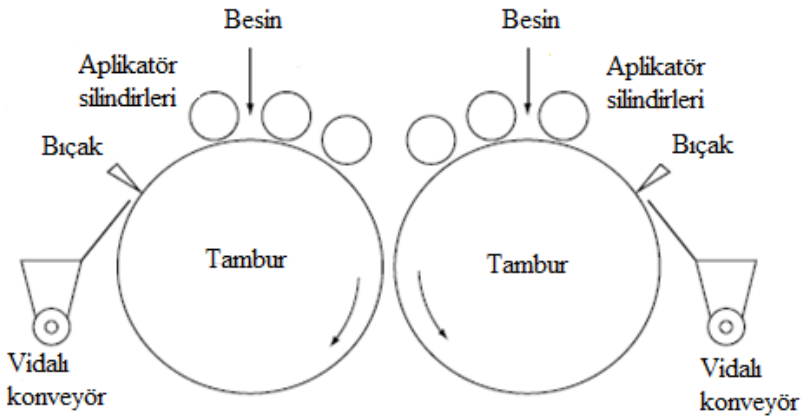
Mikrodalga kurutma, ürünlerin kalitesinde kayıp olmadan ürünün kuruma süresini azaltmada geleneksel yöntemlere kıyaslandığında, doğal avantajları sebebiyle popülerlik kazanan bir kurutma yöntemidir. Mikrodalga kurutma, sıcak hava kurutma ile yaygın olarak kullanılmaktadır. Bu kombinasyonda, sıcak hava suyu ürün yüzeyinden serbest halde uzaklaştırırken, mikrodalga enerjisi suyu ürünün iç kısmından uzaklaştırır. Sıcak hava ve mikrodalga kurutma kombinasyonu, sadece kurutma hızlarını arttırmakla kalmaz, aynı zamanda kuru ürünlerin kalitesini de daha iyi korur (Wojdylo vd., 2014).

3.4 Valsli (Tamburlu) Kurutma

Tamburlu kurutma sürekli bir işlemdir. Kurutulacak ıslak ürün, içeriden buhar ile ısıtılan ve yavaşça dönen içi boş bir tamburun dış yüzeyine ince bir tabaka halinde yerleştirilir (Jayaraman ve Gupta, 2006; Rahman, 2007)). Tamburlu kurutmada ısıtılan yüzey, dönen bir yatay metal silindirin dış kabuğudur. Silindir, 200 ile 500 kPa aralığındaki bir basınçta, silindir duvarının sıcaklığını 120-155°C'ye getiren buhar yoğunlaşmasıyla ısıtılır. Kurutulan ürün, bir bıçak yardımıyla tamburdan çıkarılır (Berk, 2009). Tamburlu kurutucular, ıslak maddenin tamburun yüzeyine uygulanma şekline göre farklı tiplere sahiptir. Tamburlu kurutucular, tek tamburlu (Şekil 3.8) ve çift tamburlu kurutucular (Şekil 3.9) olmak üzere iki tipte sınıflandırılır (Berk, 2009).



Şekil 3.8 Daldırma silindirli tek tamburlu kurutucu (Sokhansanj ve Jayas, 2006)



Şekil 3.9 Aplikatör silindirli çift tamburlu kurutucu (Sokhansanj ve Jayas, 2006)

3.5 Dondurarak Kurutma

Dondurarak kurutma, çok düşük sıcaklıklarda gerçekleştirilen bir işlemdir. Yüksek kalitede ürün elde etmek için kullanılır. Dondurarak kurutma işlemi genel olarak iki aşamada gerçekleştirilmektedir. İlk aşamada madde dondurulur ve böylece maddenin içerisindeki su, buz haline geçer. İkinci aşamada dondurulan madde indirgenmiş basınç altında buzun süblimleştirilmesi ile kurutulur. Bu noktada süblimasyon işleminin sağlanabilmesi için sistem basıncı kritik basıncın altına düşürülür ve aynı anda da sıcaklık arttırılır. Su katı fazdayken üründen vakum halinde uzaklaştırıldığı için oluşan ürün şeklini korur ve böylece hacim kaybı oluşmamaktadır (Yıldız, 2019). Aynı zamanda çok gözenekli ürünler verir, bu da yüksek rehidrasyon oranları ile sonuçlanır. Ancak dondurarak kurutma, zaman alan ve maliyeti yüksek bir işlemdir. Uzun işlem süresi, kompresör ve soğutma sistemlerinin çalışması için enerji gereksinimini artırır, bu sebeple işlem ticari kullanım için yüksek maliyetler gerektirir (Rahman, 2007).

3.6 Kızılötesi Kurutma

Güneşin ısıtma etkisinden sorumlu olan elektromanyetik spektrumun bir parçası olan kızılötesi radyasyon (IR), dalga boyuna göre üç kategoriye ayrılır: yakın kızılötesi (NIR), orta kızılötesi (MIR) ve uzak kızılötesi (FIR) (Riadh vd., 2014). IR kurutma, verimli bir kurutma teknolojisidir ve geleneksel yöntemlere göre avantajları olduğundan gıda endüstrisinde büyük ilgi görmüştür (Chayjan vd., 2014). Kızılötesi kurutma, düşük kurutma süreleri ile sonuçlanır, enerji tasarrufu sağlar. Bu yöntem ile yüksek kaliteli ürünler elde edilir.

Bir maddeyi kurutmak için kullanılan IR enerjisi, yüzeydeki katı madde tarafından emilmektedir. Böylelikle, radyasyon gözenekli ve nemli maddelerin derinliğine nüfuz eder. Radyasyonun iletilme yeteneği maddenin nem içeriğine bağlıdır. IR enerjisinin iletilmesinde çevredeki hava ısıtılmaz. Çünkü IR kurutuculardа madde ile enerji kaynağı arasında herhangi bir ısıtma ortamına ihtiyaç duyulmamaktadır. Bu nedenle, homojen ve hızlı bir ısıtma sağlanır. IR enerjisi, doğrudan maddenin iç yüzeyine nüfuz ettiğinden, enerji tüketimi diğer yöntemlere göre daha düşük olur (Riadh vd., 2014).

3.7 Vakum Kurutma

Vakumla kurutma, yüksek sıcaklıklara maruz kaldığında hasar görebilen veya değiştirilebilen maddeler için çok iyi bir tekniktir (Sumic vd., 2013). Vakum kurutmada, maddede bulunan suyun daha kolay buharlaşabilmesi için düşük sıcaklıklarda atmosferik koşul gerekmektedir (Yıldız, 2019). Vakum kurutmada, maddeler düşük bir basınçta, bir ısıtma kaynağı ile kurutulur. Vakum, madde içerisindeki suyun atmosferik koşullardan daha düşük bir sıcaklıkta buharlaşmasına izin verir, böylece maddeler yüksek sıcaklığa maruz kalmadan kurutulabilir. Genel olarak vakum ile kurutulmuş ürünlerin rengi, dokusu ve lezzeti hava ile kurutulmuş ürünlere kıyasla daha iyi olur (Rahman, 2007).

3.8 Ozmotik Kurutma

Ozmotik kurutma, su içeren hücresel katının hipertonik (yüksek basınçlı) bir çözeltiye daldırılmasıyla suyun uzaklaştırılması işlemidir. Gıdanın kurutulmasındaki temel amaç, kimyasal reaksiyonları en aza indirmek ve dağıtım ve depolamayı kolaylaştırmak için su içeriğini azaltmaktır. Ozmotik kurutmada, gıdalar tuzlu su veya şeker çözeltisine daldırılır veya ıslatılır. Bu yöntem üç farklı kütle transferi ile sonuçlanır. İlk aşamada, madde içerisindeki suyun ozmotik çözeltiye transferi gerçekleşir. İkinci aşamada, ozmotik çözeltiden besin dokusuna çözünen madde transferi olur. Üçüncü aşamada ise maddenin kendine özgü özelliklerinden (şekerler, organik asitler, mineraller, vitaminler) ozmotik çözeltiye çözünen madde transferi gerçekleşir (Ahmed vd., 2013). Bu çözelti daha yüksek ozmotik basınca ve daha düşük su aktivitesine sahiptir. Böylelikle, suyu uzaklaştırmak için madde ile çözelti arasındaki itici bir güç ortaya çıkar. Yarı geçirgen zar görevi gören doğal hücre duvarı, kısmen seçicidir. Çözünmüş madde her zaman çözeltiden gıdaya difüze olur ve bunun tersi de geçerlidir (Jayaraman ve Gupta, 2006).

4
ARMUT

4.1 Armut Hakkında Genel Bilgiler

Armut (Pyrus communis L.), Rosaceae (Gülgiller) familyasına ait sıcak ve ılıman bir iklim meyvesidir (Güngör, 2019). Anadolu kökenli Deveci armudu meyvesinin yüzeyi hafif girintili çıkıntılı, rengi sarı, kabuğu ince, güneş gören yüzeyi pembemsi kırmızıdır (Uysal, 2019). Meyve eti beyaz, gevrek, sulu ve lezzetlidir (Güngör, 2019). Ekim ayının üçüncü haftasında olgunlaşır ve hasat edilir. Kış armudu olarak da bilinen Deveci armudu depolamaya uzun süre dayanır (Uysal, 2019). Şekil 4.1'de Deveci armudunun iç ve dış görünümü yer almaktadır.



Şekil 4.1 Deveci armudunun iç ve dış görünümü [2][3]

Armut meyvesinin bileşen değerleri çeşidine, olgunluk derecesine, yetiştirildiği bölgelere göre farklılık göstermektedir. Armut meyvesi %82-85 civarında su içermektedir. Kuru madde miktarının %9-11'ini şekerler oluşturmaktadır ve olgunlaştıkça şeker içeriği de artmaktadır (Uysal, 2019). Deveci armut meyvesine ait diğer bileşenler Tablo 4.1'de verilmiştir.

Son zamanlarda beslenme alışkanlıklarının değişmesiyle birlikte meyveler sadece taze olarak değil kurutulmuş olarak da tüketilmeye başlanmıştır. Birçok meyvenin çeşitli kurutma yöntemleri ile kurutulması, bu meyvelerin hasat mevsimi dışında da tüketilmesini sağlamaktadır.

Tablo 4.1 Deveci armuduna ait bileşen değerleri (Türkomp, 2022)

Bileşen	Birim	Ortalama	Bileşen	Birim	Ortalama
Enerji	kcal	52	Kalsiyum, Ca	mg	7
Enerji	Kj	219	Magnezyum, Mg	mg	7
Su	g	83,39	Potasyum, K	mg	122
Kül	g	0,37	Sodyum, Na	mg	5
Protein	g	0,57	Çinko, Zn	mg	0,13
Azot	g	0,09	C vitamini	mg	4,8
Yağ, toplam	g	0,15	L-askorbik asit	mg	3,7
Karbonhidrat	g	12,07	Tiamin	mg	0,011
Lif, toplam	g	3,45	Riboflavin	mg	0,014
Sakaroz	g	0,38	Niasin	mg	0,319
Glukoz	g	2,70	B-6 vitamini	mg	0,019
Fruktoz	g	5,45	A vitamini	RE	10
Laktoz	g	0,00	Beta-karoten	µg	116
Maltoz	g	0,00	Likopen	µg	0
Tuz	mg	13	Lutein	µg	27
Fosfor, P	mg	10	Sorbitol	g	8,00

4.2 Türkiye'de Armut Üretimi

Ülkemizin neredeyse her bölgesinde armut yetiştiriciliği yapılmaktadır. Türkiye'de en önemli ikinci çekirdekli meyve armuttur, birincisi ise elmadır. Türkiye'de daha çok "Deveci" ve "Santa Maria" çeşitleri yetiştirilmektedir.

Marmara bölgesi Armut yetiştiriciliğinin yoğun olarak yapıldığı bölgelerin başında yer almaktadır. Deveci armudu yüksek meyve kalitesine sahiptir. Buna ek olarak, üretim ve depolama kapasitesinin fazla olması sebebiyle Türkiye'de son zamanlarda önemli hale gelerek Anadolu kökenli en iyi kış armutlarından biri olmuştur (Güngör, 2019). Tablo 4.2'de Türkiye'nin 2015-2020 yılları arasındaki armut üretimi ve hasat edilen alan miktarları görülmektedir.

Tablo 4.2 Türkiye'de armut üretimi/hasat alanı (FAO, 2022)

Yıllar	Üretim (ton)	Hasat edilen alan (hektar)
2015	463.623	24.967
2016	472.250	25.408
2017	503.004	26.000
2018	519.451	26.389
2019	530.723	26.299
2020	545.569	26.071

Türkiye'nin 2020 yılındaki toplam armut üretim miktarı 545,6 bin ton olup, 2019 yılına göre %2,8 oranında artış göstermiştir. Bursa armut üretiminde 223 bin tonluk yüksek verimli hasat alanı ile ilk sırada yer almaktadır. İkinci sırada 66,2 bin ton ile Antalya, üçüncü sırada ise 13,6 bin ton ile Çanakkale yer almaktadır. Bu üç il Türkiye'deki üretimin %54,6'sını karşılamaktadır. Türkiye'nin 2020 yılında hasat edilen üretim alanları 26 bin hektar olup, 2019 yılına göre %0,87 oranında azalmıştır. Bursa armut üretiminde 90,5 bin dekar alanla ilk sırada yer almaktadır. 43,9 bin dekar alanla Antalya ikinci, 6,4 bin dekar alanla Elâzığ üçüncü sırada yer almaktadır. Bu üç il Türkiye'nin üretim alanının %54,0'üne sahiptir (TEPGE, 2021).

4.3 Dünya'da Armut Üretimi

Dünya armut üretiminde Türkiye; Çin, ABD, İtalya, Arjantin'den sonra 5. Sırayı almaktadır (FAO,2022). 2015 -2020 yıllarına ait Dünya Armut üretimi ve hasat alanı ortalama verileri Tablo 4.3'te verilmiştir.

2019 yılından itibaren armut üretimi 1,38 milyon hektar alan başına 24 milyon ton olarak gerçekleşmiştir. Çin, 17 milyon hektar alan ile üretim alanının %70,4'ünü oluştururken, Hindistan 42 bin hektar alan ile ikinci sırada, İtalya 28,7 bin hektar alan ile üçüncü ve Türkiye 26,3 bin hektar alan ile dördüncü sırada yer almaktadır. Üretimde Çin 17 milyon ton ile birinci, ABD 705 bin ton ile ikinci, Arjantin 685 bin ton ile üçüncü, Türkiye 628 bin ton ile dördüncü sırada yer almaktadır (TEPGE, 2021).

Tablo 4.3 Dünya'da armut üretimi/hasat alanı (FAO,2022)

Yıllar	Üretim (ton)	Hasat edilen alan (hektar)
2015	24.367.348	1.582.926
2016	23.216.188	1.405.216
2017	23.834.525	1.353.933
2018	23.717.204	1.382.356
2019	24.279.481	1.388.514
2020	23.109.219	1.292.709

Tablo 4.4'te FAO 2020 verilerine göre Dünya'da armut üretiminde ilk 10 ülke yer almaktadır.

Tablo 4.4 Dünya'da armut üretiminde (ton) ilk 10 ülke

Ülkeler	Yıllar				
	2016	2017	2018	2019	2020
Çin	16.074.424	16.527.694	16.196.649	17.404.532	16.101.450
ABD	682.061	669.000	730.740	648.637	609.628
İtalya	701.928	772.578	752.590	429.290	619.470
Arjantin	522.414	517.754	565.697	600.000	600.000
Türkiye	472.250	503.004	519.451	530.723	545.569
G. Afrika	423.180	416.215	397.555	407.212	431.000
İspanya	349.247	360.957	332.320	330.670	323.730
Hollanda	374.000	330.000	402.200	373.000	402.200
Belçika	331.550	301.818	368.830	332.420	392.590
Hindistan	323.000	346.000	318.000	300.000	306.000

5
MATERYAL VE YÖNTEM

5.1 Materyal

Kurutma denemelerinde Deveci armudu kullanılmıştır. Deveci armutları, İstanbul'daki bir marketten satın alınmıştır. Örneklerin fiziksel özelliklerindeki uniformluğu sağlamak için armutlar birbirlerine yakın büyüklükte seçilmişlerdir (Şekil 5.1). Yıldız Teknik Üniversitesi Kimya Mühendisliği bölümündeki laboratuvara getirilen Deveci armutları, kurutma işlemine tabi tutulmuş olup, bu işlem ön işlemli ve ön işlemsiz olarak gerçekleştirilmiştir. Ön işlemler için sitrik asit ve sodyum disülfit maddeleri Merck firmasından satın alınmıştır.



Şekil 5.1 Kurutma işlemlerinde kullanılan Deveci armut örnekleri

5.2 Yöntemler

5.2.1 Kabin kurutucu

Kurutma denemeleri, daha önce Kayran ve Doymaz (2021) tarafından açıklanan Yıldız Teknik Üniversitesi Kimya Mühendisliği Bölümü'ndeki bir kabinli kurutucuda (APV & PASILAC, UK) gerçekleştirilmiştir (Şekil 5.2). Kabin kurutucu 1,2 m×1,4 m×0,54 m boyutuna sahiptir. Kurutucu sisteminde, elektrikli ısıtıcı, santrifüj fanı, elektronik oransal kontrolör ve hava filtresi bulunmaktadır. Testo 440 kanatlı prob anemometre (Lutron, AM-4201, Tayvan) yardımı ile hava hızı ölçülmektedir. Kurutma denemeleri, 2 m/s hava hızında ve farklı sıcaklıklarda (40-50-60-70°C) gerçekleştirilmiş ve her 15 dakikada bir ağırlık kaybı kaydedilmiştir.

5.2.2 İnfrared kurutucu

Snijders (Tilburg, Hollanda) markalı bir infrared kurutucuda, farklı infrared güç seviyelerinde (38, 50, 62, 74 ve 88 W) kurutma denemeleri yapılmıştır (Şekil 5.3). İnfrared kurutmada, armut dilimleri eşit olacak şekilde ve ince tabaka halinde metal tava üzerine dizilmiştir. Kurutucudan ilk denemede 15 dakika ve ikinci denemede 10 dakika aralıklarla alınan örneklerin ağırlıkları hassas terazi ile ölçülerek kaydedilmiştir.





Şekil 5.2 Kabin kurutucu **Şekil 5.3** İnfrared kurutucu

5.2.3 Teraziler

Kurutma işlemleri boyunca örneklerin ağırlık ölçümleri için ±0,1 g hassasiyetli Mettler-Toledo (Grefensee, İsviçre) marka terazi (Şekil 5.4) kullanılmıştır. Taze Deveci armutlarının nem analizleri, hassas terazi olarak Precisa marka (Dietikon, İsviçre) terazi (Şekil 5.5) kullanılarak ±0,0001 hassasiyetle gerçekleştirilmiştir.





Şekil 5.4 Mettler marka terazi **Şekil 5.5** Hassas terazi

5.2.4 Kuru madde tayini

Örneklerin nem içerikleri Selecta marka (Barcelona, İspanya) etüv (Şekil 5.6) kullanılarak hesaplanmıştır. Armut dilimleri tartılarak 105°C'deki etüvde sabit tartıma gelinceye kadar kurutulmuşlardır. Sonrasında etüvden çıkarılan armut dilimleri soğumaları için desikatöre (Şekil 5.7) konulmuştur ve bir süre beklendikten sonra tartılmıştır. Kurutma işlemi öncesinde, nem tayini yöntemiyle taze örneklerin nem içerikleri hesaplanmış ve yaş bazında %82,1 oranında belirlenmiştir. Kuru bazında ise 4,59 kg su/kg kuru maddedir.



Şekil 5.6 Etüv



Şekil 5.7 Desikatör

5.2.5 Vakumlu paketleme cihazı

Kurutma işleminden sonra örnekler vakumlu paketleme cihazı ile (Şekil 5.8) paketlenmiştir.



Şekil 5.8 Vakumlu paketleme cihazı

5.3 Kurutma Denemeleri

Armut dilimleri, kurutma hızını arttırmak için kurutma işleminden önce farklı çözeltilere 2 dakika süre ile daldırılıp çıkarılmıştır. Armut dilimlerine uygulanan ön işlemler aşağıdaki gibidir:

SA: Armut dilimleri %1 sitrik asit çözeltisine 2 dakika süre ile daldırılıp çıkartılmıştır. Bu ön işlem çözeltisi SA olarak adlandırılmıştır.

SDS: Armut dilimleri %2 sodyum disülfit çözeltisine 2 dakika süre ile daldırılıp çıkartılmıştır. Bu ön işlem çözeltisi SDS olarak adlandırılmıştır.

Kontrol: Armut dilimleri herhangi bir çözeltiye daldırılmamıştır. Kontrol olarak adlandırılmıştır.

Kurutma denemelerinde üç farklı kurutma yöntemi kullanılmıştır. Bu yöntemler aşağıda açıklanmıştır.

5.3.1 Kabin kurutucuda yapılan kurutma denemeleri

Kabin kurutucudaki kurutma denemeleri, dört ayrı sıcaklıkta (40-50-60-70°C) gerçekleştirilmiştir. SA, SDS ve Kontrol kodlu armut dilimleri için her sıcaklıkta denemeler yapılmıştır. Armut dilimleri tüm denemelerde ortalama 75 gr tartılmış, 15 dakika aralıklarla ağırlık kaybı hesaplanmıştır. Örnekler yaklaşık %15 (yaş bazda) nem içeriğine kadar kurutulmuşlardır.

5.3.2 İnfrared kurutucuda yapılan kurutma denemeleri

SA, SDS ve Kontrol kodlu armut dilimlerinin kurutma denemeleri için 38, 50, 62, 74 ve 88 W infrared güç seviyelerindeki bir infrared kurutucu kullanılmıştır. Armut dilimleri tüm denemelerde ortalama 40 gram olarak tartılmış, 15 dakika aralıklarla ağırlık kaybı hesaplanmıştır. Örnekler yaklaşık %15 (yaş bazda) nem içeriğine kurutulmuşlardır.

5.3.3 İnfrared ve kabin kombinasyonlu kurutma denemeleri

İnfrared ve kabin kombinasyonlu kurutma denemelerinde ise, Kontrol kodlu armut dilimleri ilk olarak 62 W güç seviyesinde infrared kurutucu ile 30 dakika kurutulduktan sonra 60°C'ye ayarlanan kabin kurutucuda kurutulmuştur. İkinci olarak Kontrol kodlu armut dilimleri 62 W güç seviyesinde infrared kurutucu ile 45 dakika kurutulduktan sonra kabin kurutucuda 60°C sıcaklıkta kurutulmuştur.

Üçüncü olarak Kontrol kodlu armut dilimleri 62 W güç seviyesinde infrared kurutucu ile 1 saat kurutulduktan sonra kabin kurutucuya alınarak 60°C sıcaklıkta kurutulmuştur. Üç aşamada da her 15 dakikada bir ağırlık kaybı kaydedilmiştir. Örneklerin ağırlık kayıpları ölçülmüş ve daha sonra tekrar kurutma işlemine tabi tutulmuştur. Örneklerin nem içerikleri %15'e (yaş bazda) kadar düşecek şekilde kurutma işlemi gerçekleştirilmiştir.

Tüm kurutma denemelerinden sonra kurutulan ürünler soğutularak renk ölçümleri yapılmış ve paketlenmiştir. Paketlerin üzerine uygun etiketlemeler yapılarak saklanmıştır.

5.4 Matematiksel Modelleme

Kurutma denemelerindeki armut örneklerinin nem içeriği (MC), Eşitlik (5.2) yardımıyla kuru madde bazında hesaplanmıştır:

$$MC = \frac{m_w}{m_d} \quad \text{(kg su/kg kuru madde)} \tag{5.2}$$

Bu durumda, MC, nem miktarını ifade ederken, m_d kuru madde miktarını ve m_w ise su miktarını teslim etmektedir.

Kurutma hızı (DR), Eşitlik (5.3) yardımıyla hesaplanmıştır:

$$DR = \lim_{\Delta x \to 0} \frac{M_t - M_{t+\Delta t}}{\Delta t} \quad \text{(kg su/kg kuru madde×dakika)} \tag{5.3}$$

Denklemde; DR, kurutma hızı, M_t, t zamanında ölçülen nem miktarı, $M_t+\Delta t$, $t+\Delta t$ zamanında ölçülen nem miktarı ve t ile Δt, zaman olarak teslim edilmektedir.

Eşitlik (5.4) yardımıyla Nem oranı (MR) hesaplanmıştır.

$$MR = \frac{M_t - M_e}{M_0 - M_e} \tag{5.4}$$

M_0, kurutma işleminden önce ürünün su miktarını temsil ederken, M_e, kurutma koşullarında havanın denge su miktarını ifade etmektedir ve birimleri kg su/kg kuru maddedir. (M_e değeri, eşitlikteki M_0 ve M_t değerlerine göre oldukça küçük olduğundan ihmal edilebilmektedir.)

Deneysel sonuçlara dayanarak Logaritmik, Aghbashlo vd., Lewis, Henderson & Pabis ve Vega-Galvez I olmak üzere toplam beş adet matematiksel model Tablo 5.1'de sunulmuş ve istatistiksel analizler kullanılarak birbirleriyle karşılaştırılmıştır.

Tablo 5.1 Kuruma eğrilerinin modellenmesinde kullanılan farklı matematiksel modellerin incelenmesi

Model Adı	Model
Logaritmik	$MR = \text{a}\exp(-kt) + c$
Aghbashlo vd.	$MR = exp\,(-\frac{k_1 t}{1 + k_2 t})$
Lewis	$MR = \exp(-kt)$
Henderson & Pabis	$MR = \text{a}\exp(-kt)$
Vega-Galvez I	$MR = \exp\,(n + kt)$

5.5 Regresyon Analizi

Regresyon analizlerinde, Statsoft, Inc. tarafından geliştirilen Statistica 8.0.550 yazılımı (Tulsa, OK, USA) kullanılmıştır. Matematiksel modelleme işlemlerinde kullanılan beş model içinden en uygun modeli seçmek için R^2, χ^2 ve *RMSE* değerleri aşağıdaki denklemler kullanılarak hesaplanmıştır.

$$R^2 = 1 - \frac{\sum_{i=1}^{N}\left(MR_{pre,i} - MR_{exp,i}\right)^2}{\sum_{i=1}^{N}\left(MR_{pre,i} - MR_{exp,i}\right)^2} \tag{5.5}$$

$$x^2 = \frac{\sum_{i=1}^{N}(MR_{exp,i} - MR_{pre,i})^2}{N-n} \tag{5.6}$$

$$RMSE = [\frac{1}{N}\sum_{i=1}^{n}\left(MR_{pre,i} - MR_{exp,i}\right)^2]^{\frac{1}{2}} \tag{5.7}$$

Burada MR_{exp} deneysel nem oranı, MR_{pre} tahmin edilen nem oranı, n kullanılan denklemdeki katsayı sayısı ve N deneysel veri sayısıdır.

Bir modelin uygunluğuna karar verebilmek için yüksek R^2, düşük χ^2 ve düşük RMSE değerlerine bakılması gerekir. R^2 yüksek olmalıdır çünkü bu, kurutma eğrilerini en iyi şekilde tanımlayan modelin seçiminde temel bir kriterdir. χ^2, modellerin deneysel ve hesaplanmış değerleri arasındaki ortalama kare sapmasıdır. χ^2 değeri ne kadar düşükse, modelin uyumu o kadar iyi demektir. RMSE, öngörülen ve deneysel değerler arasındaki sapmayı gösteren kök ortalama kare hatasıdır ve bu değer sıfıra yakın olmalıdır (Adiletta vd., 2016).

5.6 Efektif Difüzyon Katsayısının ve Aktivasyon Enerjisinin Hesaplanması

Fick'in ikinci yasasının çözümü olan teorik bir model, farklı gıda maddelerinin ince tabaka kurutma işlemi için geniş bir araştırma imkânı sunmaktadır.

$$\frac{\partial M}{\partial t} = \nabla . [(D_{eff.} \nabla M)] \tag{5.8}$$

Eşitlik (5.8) kullanılarak ve sabit bir efektif difüzyon katsayısı alınarak kartezyen koordinatlarda çözülebilir ve uygun sınırlarda sadeleştirme yapıldığında, aşağıda verilen (5.9) eşitliğini elde ederiz.

$$MR = \frac{8}{\pi^2} \sum_{n=0}^{\infty} \frac{1}{(2n+1)^2} \exp\left(-\frac{(2n+1)^2 \pi^2 D_{eff} t}{4L^2}\right) \tag{5.9}$$

Bu durumda, D_{eff} efektif difüzyon katsayısı (m^2/s), t kurutma zamanı (s) ve L meyve yarı kalınlığı (m) olarak tanımlanmaktadır. Uzun süreli kurutma işlemleri için ise (5.9) eşitliğinin ilk terimi kullanılır.

$$MR = \frac{8}{\pi^2} \exp\left(-\frac{\pi^2 D_{eff} t}{4L^2}\right) \tag{5.10}$$

Kurutma zamanına ln (MR) grafiği çizilerek, elde edilen doğrunun eğiminden (K) yararlanarak Efektif difüzyon katsayıları hesaplanır.

$$K = \frac{\pi^2 D_{eff}}{4L^2} \tag{5.11}$$

Sıcaklık ile değişen efektif difüzyon katsayısı, Arrhenius tipi üstel bir fonksiyon ile açıklanmaktadır (Sanjuán vd., 2003):

$$\mathrm{D_{eff}} = \mathrm{D_0} \exp\left[-\frac{\mathrm{E_a}}{R\ (T+273{,}15)}\right] \tag{5.12}$$

Bu durumda D_{eff} efektif difüzyon katsayısı (m^2/s) olarak adlandırılır. D_0 ise sonsuz sıcaklıkta difüzyon katsayısına eşdeğer olan bir sabitti (m^2/s). E_a aktivasyon enerjisi (Kj/mol) olarak tanımlanır. R üniversal gaz sabiti olarak bilinir ve değeri 8,314 kJ/(mol×K)'dir ve T ise kurutma sıcaklığıdır (°C).

Sıcaklığın etkisi incelendiğinde, efektif difüzyon katsayısına karşılık gelen bir doğru elde edilir ve bu doğrunun eğimi kullanılarak aktivasyon enerjisi değeri hesaplanır (Mengeş ve Ertekin, 2006). E_a ve D_0 parametreleri, 1/ (T+273,15)'e karşı çizilen ln (D_{eff}) grafiğinin eğiminden ve kesişme noktasından hesaplanmaktadır.

İnfrared kurutucudaki kurutma işlemleri esnasında kurutucu içindeki sıcaklık ölçülemediğinden, aktivasyon enerjisini hesaplamak için Eşitlik (5.13)'te verilen yenilenmiş Arrhenius denkleminden yararlanılmıştır. Burada efektif difüzyon katsayısı, kurutulan örneklerin miktarı ile aktivasyon enerjisinin, infrared kaynağının gücüne oranlanmasıyla elde edilmektedir (Doymaz, 2013b).

$$D_{eff} = D_0 \exp\left(\frac{-E_a \times m}{p}\right) \tag{5.13}$$

Burada; m, kurutulan örneklerin miktarını (kg), p ise infrared kaynağının gücünü (W) temsil etmektedir.

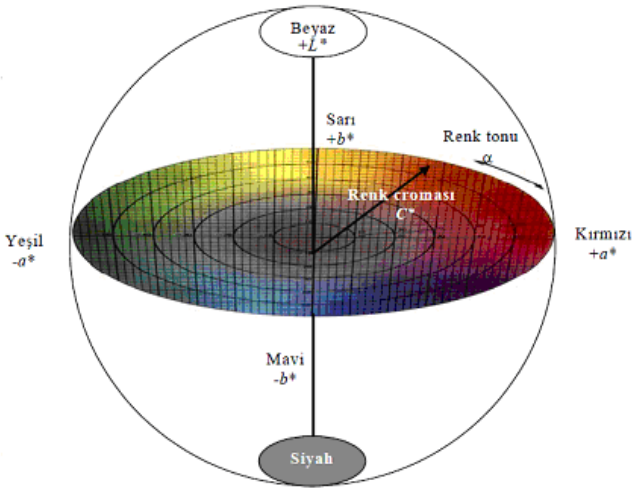
5.7 Renk Değerlerinin Hesaplanması

Kurutulmuş ürünler renk, en önemli kalite parametrelerinden biridir. Renk, ürünün pazarlanabilmesi için etkili bir faktördür. Aynı zamanda, kurutulmuş ürünlerin son ürün kalitesini koruyabilmek için ısıl işlem görmüş ürünlerin rengi de dikkate alınmalıdır. Bu sebeple, kabin ve infrared kurutucuda önceden işlem görmüş ve işlem görmemiş armut dilimlerinin renk parametreleri (L, a ve b) ölçülmüştür. Renk ölçer olarak Konica Minolta marka kromametre cihazı kullanılmıştır (Şekil 5.9). Kurutulmuş armut dilimlerinin renk ölçümleri dört farklı noktadan ölçülmüş ve kaydedilmiştir.



Şekil 5.9 Renk ölçer

Elde edilen sonuçların ortalama değerleri alınarak Hunter Lab skalasına göre kurutulmuş örneklerin renk değerleri belirlenmiştir. Bu durumda, L, parlaklık ile koyuluk, a, kırmızılık ile yeşillik ve b, sarılık ile mavilik değerlerini temsil etmektedir. L'nin değeri, 0 ile 100 arasındadır. 0'a doğru renk değeri koyulaşır, 100'e doğru parlaklık artar. a değeri pozitif değerlerde kırmızılığı, negatif değerlerde yeşilliği gösterir. b değeri pozitif değerlerde sarılığı, negatif değerlerde maviliği gösterir (Şekil 5.10).



Şekil 5.10 $L^*a^*b^*$ renk uzayının şematik görünümü (Çakır, 2015)

Bu değerler yardımıyla (5.14) ve (5.15) denklemleri kullanılarak toplam renk farkı (ΔE) ve Kroma © değerleri elde edilmiştir.

$$\Delta E = \sqrt{(L_0 - L)^2 + (a_0 - a)^2 + (b_0 - b)^2} \quad (5.14)$$

$$C = \sqrt{a^2 + b^2} \quad (5.15)$$

Burada; ΔE, toplam renk farkını; L_0, a_0 ve b_0, sırasıyla taze ürünün kurutma işleminden önceki renk parametrelerini ve L, a ve b, sırasıyla kurutma işleminden sonraki ürünün renk parametrelerini göstermektedir.

Kroma ©, renkte hâkim olan pastel/canlı tonu ifade etmektedir. Kroma değerinin artmasıyla rengin canlılığı artarken, buna karşılık kroma değerinin azalmasıyla renk donuklaşmaktadır. Diğer bir yandan, toplam renk farkı (ΔE) değerinin artmasıyla taze ürüne kıyasla renkte meydana gelen değişim de artmaktadır.

6
DENEYSEL BULGULARIN İRDELENMESİ

6.1 Kabin Kurutucuda Yapılan Çalışmalar

6.1.1 Ön işlemin ve sıcaklığın kuruma süresine etkisi

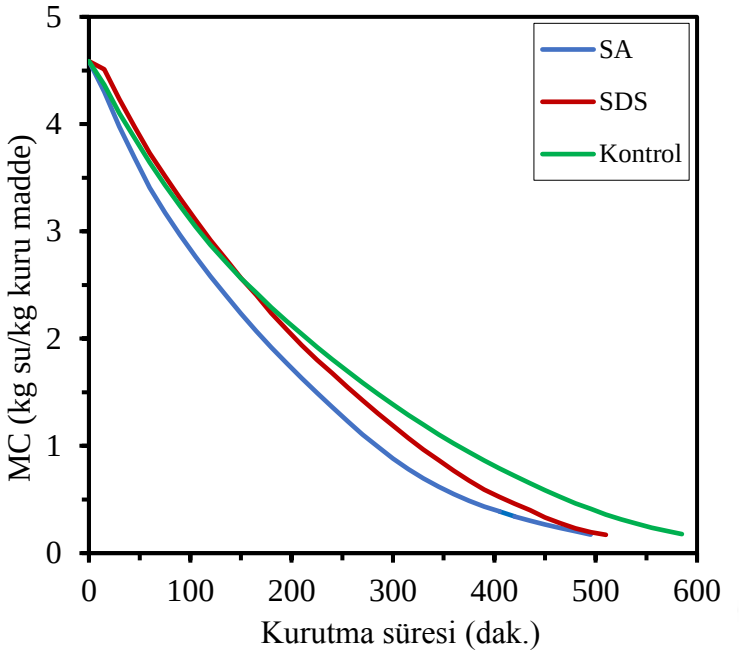
Kabin kurutucuda armut dilimlerinin kurutulmasında farklı sıcaklıkların kurumaya etkisi incelenmiştir. Aynı zamanda, armut dilimlerinin nem içerikleri ve kurutma sürelerindeki değişimler, farklı ön işlemlerin uygulanması ve ön işlemsiz kurutma yöntemi ile araştırılmıştır.

Kuruma hızını arttırmak için 0,4 cm kalınlıklarındaki armut dilimleri, kurutmadan önce 2 dakika sitrik asit (SA) ve sodyum disülfit (SDS) çözeltilerine daldırılmıştır. Bir de ön işlem uygulanmamış kontrol örneği (Kontrol) vardır. Dört ayrı kurutma sıcaklığında kurutulan armut dilimleri her denemede ortalama 75 g tartılmış ve her 15 dakikada bir ağırlık kaybı kaydedilmiştir. Armut dilimlerinin nem içerikleri nem tayini yöntemiyle yaş bazda %82,1 olarak belirlenmiştir. Örneklerin kurutma işlemlerine nem içerikleri yaklaşık %15'e (yaş bazda) düşünceye kadar devam edilmiştir. Tablo 6.1'de farklı sıcaklıkların ve ön işlemlerin kuruma süresine etkisi verilmiştir.

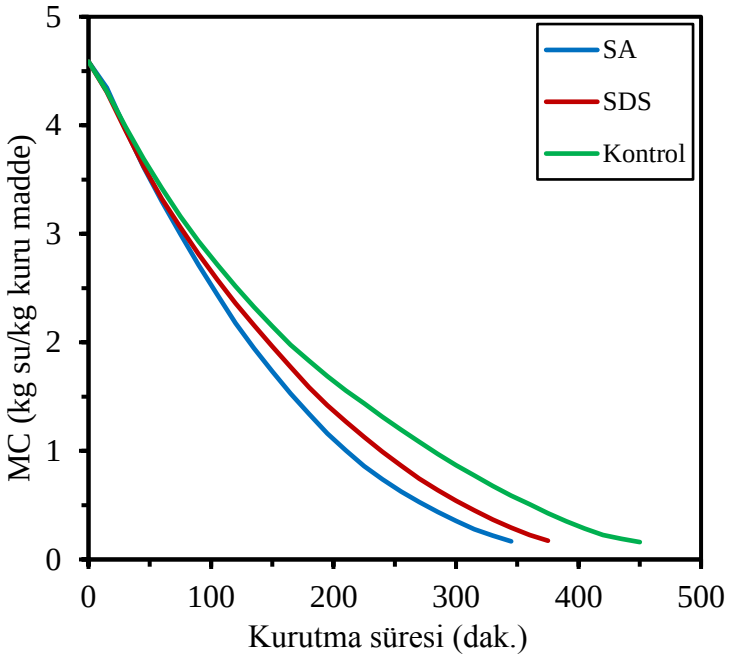
Tablo 6.1 Farklı sıcaklıklarda kurutulan armut dilimlerinin kuruma süreleri

Sıcaklık (ºC)	**Kurutma Süresi (dakika)**		
	SA	**SDS**	**Kontrol**
40	495	510	585
50	345	375	450
60	285	345	390
70	210	255	300

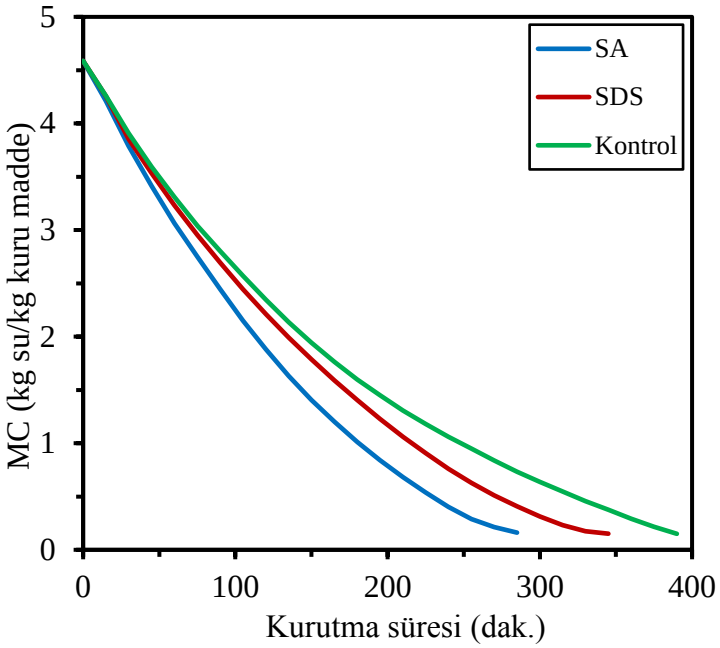
Tablo 6.1 incelendiğinde, sıcaklığın 40°C'den 70°C'ye artmasıyla SA, SDS ve Kontrol kodlu armut dilimlerinde kurutma süreleri sırasıyla %57,6, %50 ve %48,7 oranında azalmıştır. Sonuç olarak Şekil 6.1-6.4'te görüldüğü gibi armut dilimlerinin kuruma süreleri kurutma sıcaklığından etkilenmekte ve sıcaklığın artmasıyla birlikte nem kaybı hızlanmakta ve kurutma süresi azalmaktadır.



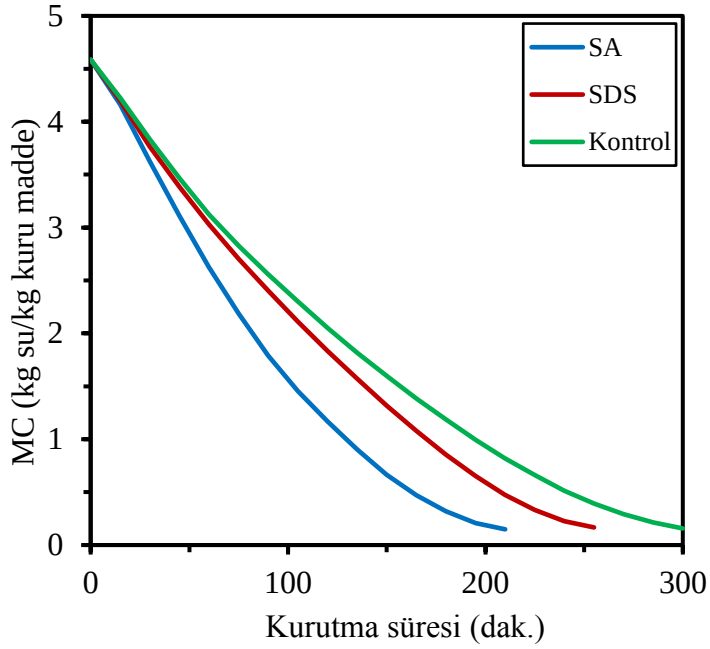
Şekil 6.1 Kurutma süresine bağlı olarak değişen nem içeriği: 40°C'de kurutulan armut dilimlerinin analizi



Şekil 6.2 Kurutma süresine bağlı olarak değişen nem içeriği: 50°C'de kurutulan armut dilimlerinin analizi



Şekil 6.3 Kurutma süresine bağlı olarak değişen nem içeriği: 60°C'de kurutulan armut dilimlerinin analizi



Şekil 6.4 Kurutma süresine bağlı olarak değişen nem içeriği: 70°C'de kurutulan armut dilimlerinin analizi

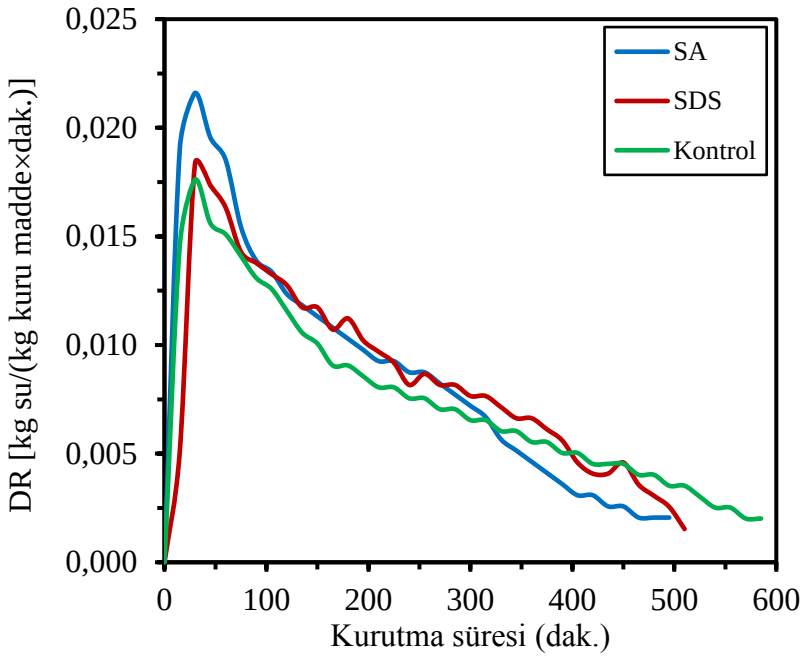
Sıcaklığın armut dilimlerinin kuruma sürelerine etkisi incelendiğinde literatürde Karacabey ve Buzrul (2017) ve Polatçı vd. (2020) tarafından yapılan diğer çalışmalar ile uyum sağladığı görülmektedir. Benzer sonuçlar, literatürdeki farklı meyve ve sebzeler ile yapılan kurutma çalışmalarında da görülmektedir (Doymaz, 2004; Doymaz ve Aktaş, 2018; Vengaiah ve Pandey, 2007).

Ön işlemlerin etkisi incelendiğinde ise, SA kodlu örneklerin kuruma süresi, SDS ve Kontrol kodlu örneklerin kuruma sürelerinden daha kısadır. Başka bir deyişle, SA kodlu örnekler daha hızlı kurumaktadır. SDS kodlu örnekler ise Kontrol kodlu örneklere göre daha hızlı kurumaktadır. Böylelikle, kurutma işleminde ön işlem uygulaması daha kısa kurutma süresi sağlamaktadır. Ön işlemlerin kuruma süresi üzerindeki etkisi incelendiğinde ise literatürde Doymaz (2013a) ve Öztekin ve Sacilik (2020) tarafından yapılan çalışmalar ile uyum sağlamaktadır. Ön işlem çözeltisi olarak kullanılan sitrik asidin kuruma süresini önemli ölçüde azalttığı ise literatürdeki diğer çalışmalarda da görülmektedir (Doymaz ve Aktaş, 2018; Yıldız, 2021).

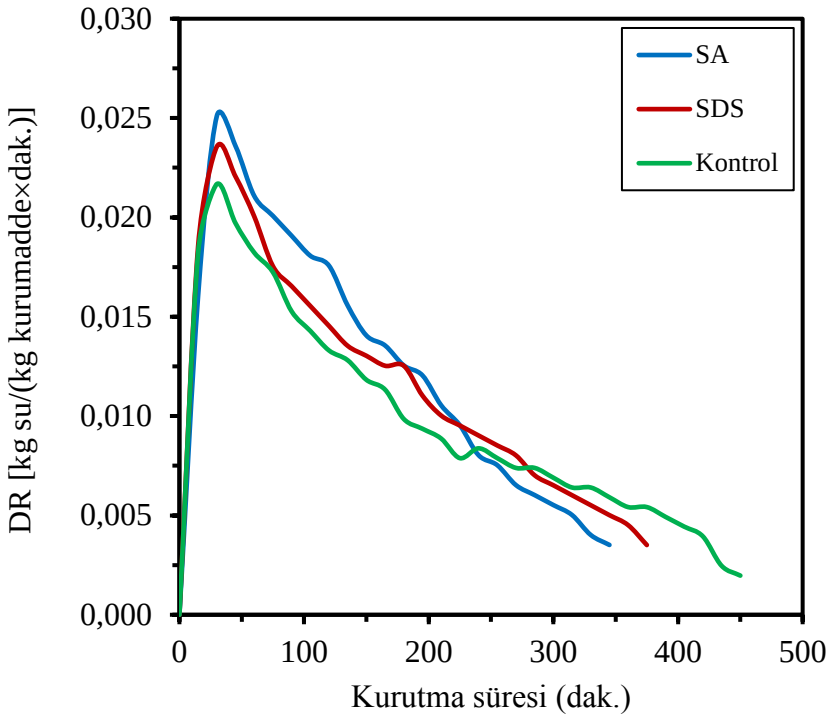
Sonuç olarak, kurutma süreleri büyükten küçüğe, Kontrol > SDS > SA şeklinde sıralanmıştır. SA kodlu örneklerin kuruma süreleri diğer örneklerden daha kısadır. Bu nedenle sitrik asit çözeltisinin en etkili ön işlem olduğu sonucuna varılmıştır. Bu durum, sitrik asit çözeltisinin en etkili ön işlem olduğu sonucuna varılmasını sağlamıştır.

6.1.2 Kurutma hızı ile kuruma süresinin değişimi

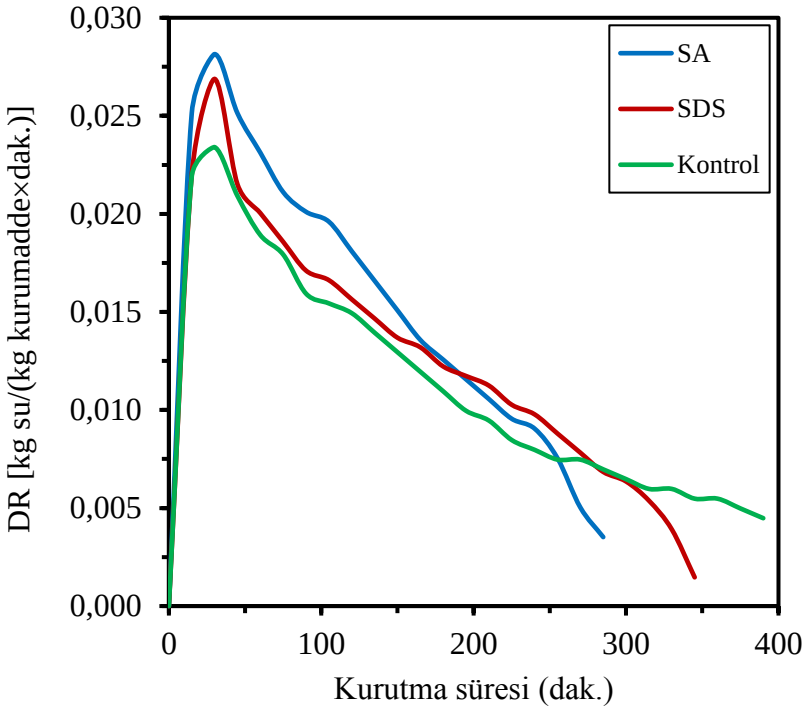
Farklı sıcaklıklarda ve ön işlemlerle kabin kurutucuda kurutulan armut dilimlerinin kurutma hızının (DR) kuruma süresiyle değişimini gösteren grafikler Şekil 6.5, 6.6, 6.7 ve 6.8'de yer almaktadır.



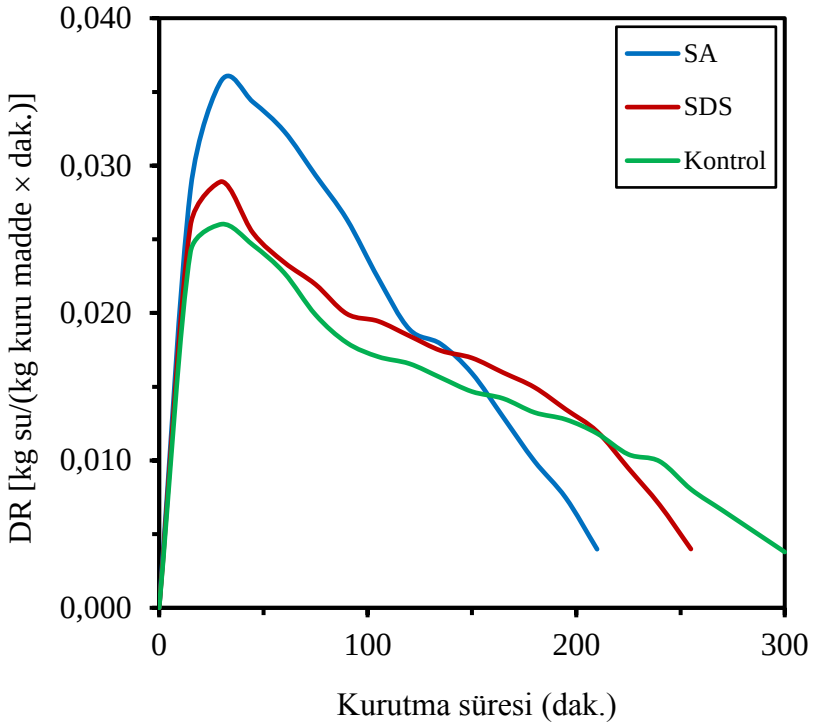
Şekil 6.5 Kurutma süresine bağlı olarak değişen kurutma hızı: 40°C'de kurutulan armut dilimlerinin analizi



Şekil 6.6 Kurutma süresine bağlı olarak değişen kurutma hızı: 50°C'de kurutulan armut dilimlerinin analizi



Şekil 6.7 Kurutma süresine bağlı olarak değişen kurutma hızı: 60°C'de kurutulan armut dilimlerinin analizi



Şekil 6.8 Kurutma süresine bağlı olarak değişen kurutma hızı: 70°C'de kurutulan armut dilimlerinin analizi

Şekillerdeki eğriler incelendiğinde, farklı sıcaklıklarda kurutulan armut dilimleri, kurutma işlemi sonunda aynı nem içeriğine ulaştıklarında en yüksek kurutma hızının SA kodlu örneklerde olduğu görülmektedir. Bunu SDS kodlu örnekler takip etmekte ve en düşük kurutma hızının ise Kontrol kodlu örneklerde olduğu görülmektedir. Böylece SA kodlu ön işlemin, kurutma hızını artırmada SDS ve Kontrol kodlu ön işlemlerden daha etkili olduğu görülmüştür. Sonuç olarak ön işlemlerin etkisiyle kurutma hızı artmakta ve böylelikle kurutma süresi azalmaktadır. Kingsly vd. (2007), Abano ve Sam-Amoah (2011), Ni vd. (2020) ve Elangovan ve Natarajan (2021) tarafından yapılan çalışmalarda benzer sonuçlar elde edildiği ve literatürde rapor edildiği görülmektedir.

6.1.3 Kuruma eğrilerinin matematiksel modellenmesi

Kabin kurutucuda farklı sıcaklıklarda kurutulan armut dilimlerinin deneysel sonuçları kullanılarak nem içeriği ve kurutma süresi değişim eğrilerinin matematiksel modelleme işlemleri, lineer olmayan regresyon analiz metoduyla gerçekleştirilmiştir. Tablo 5.1'de verilen Logaritmik, Aghbashlo vd., Lewis, Henderson & Pabis ve Vega-Galvez I kurutma modelleri deneysel verilere uygulanmış olup R^2, χ^2 ve RMSE değerleri hesaplanmıştır. Elde edilen sonuçlar Tablo 6.2, 6.3, 6,4 ve 6.5'te verilmiştir.

Tablo 6.2 Seçilen modellerin 40°C kurutma sıcaklığında istatistiksel analiz sonuçları

T (°C)	*Kod*	*Model*	R^2	χ^2	*RMSE*
40	SA	**Logaritmik**	**0,9993**	**0,000060**	**0,037676**
		Aghbashlo vd.	**0,9993**	**0,000060**	**0,035085**
		Vega-Galvez I	0,9931	0,000584	0,124203
		Henderson & Pabis	0,9931	0,000584	0,124202
		Lewis	0,9914	0,000700	0,138465
	SDS	**Logaritmik**	**0,9993**	**0,000058**	**0,028359**
		Aghbashlo vd.	**0,9993**	**0,000057**	**0,027409**
		Vega-Galvez I	0,9861	0,001273	0,175550
		Henderson & Pabis	0,9861	0,001273	0,175549
		Lewis	0,9776	0,002000	0,234694
	Kontrol	**Logaritmik**	**0,9997**	**0,000022**	**0,024117**
		Aghbashlo vd.	**0,9987**	**0,000098**	**0,054424**
		Vega-Galvez I	0,9928	0,000583	0,125238
		Henderson & Pabis	0,9928	0,000583	0,125238
		Lewis	0,9912	0,000690	0,140792

Tablo 6.3 Seçilen modellerin 50°C kurutma sıcaklığında istatistiksel analiz sonuçları

T (°C)	*Kod*	*Model*	R^2	χ^2	*RMSE*
50	SA	**Logaritmik**	**0,9989**	**0,000110**	**0,038595**
		Aghbashlo vd.	**0,9996**	**0,000040**	**0,018900**
		Vega-Galvez I	0,9881	0,001152	0,138413
		Henderson & Pabis	0,9881	0,001152	0,138414
		Lewis	0,9811	0,001760	0,180399
	SDS	**Logaritmik**	**0,9998**	**0,000015**	**0,015305**
		Aghbashlo vd.	**0,9995**	**0,000036**	**0,025000**
		Vega-Galvez I	0,9893	0,000961	0,129020
		Henderson & Pabis	0,9893	0,000961	0,129008
		Lewis	0,9853	0,001271	0,157113
	Kontrol	**Logaritmik**	**0,9997**	**0,000022**	**0,021802**
		Aghbashlo vd.	**0,9987**	**0,000103**	**0,047973**
		Vega-Galvez I	0,9922	0,000665	0,115402
		Henderson & Pabis	0,9922	0,000665	0,115400
		Lewis	0,9901	0,000813	0,133507

Tablo 6.4 Seçilen modellerin 60°C kurutma sıcaklığında istatistiksel analiz sonuçları

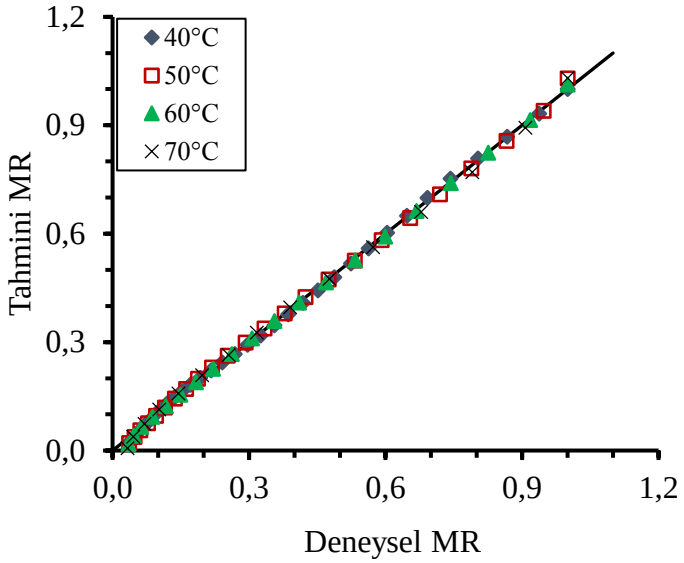
T (°C)	*Kod*	*Model*	R^2	χ^2	*RMSE*
60	SA	**Logaritmik**	**0,9995**	**0,000049**	**0,024241**
		Aghbashlo vd.	**0,9998**	**0,000016**	**0,014261**
		Vega-Galvez I	0,9850	0,001478	0,140960
		Henderson & Pabis	0,9850	0,001477	0,140959
		Lewis	0,9790	0,001894	0,166494
	SDS	**Logaritmik**	**0,9995**	**0,000041**	**0,023556**
		Aghbashlo vd.	**0,9993**	**0,000059**	**0,030963**
		Vega-Galvez I	0,9854	0,001380	0,152514
		Henderson & Pabis	0,9854	0,001380	0,152514
		Lewis	0,9812	0,001700	0,174791
	Kontrol	**Logaritmik**	**0,9999**	**0,000005**	**0,009862**
		Aghbashlo vd.	**0,9992**	**0,000064**	**0,031355**
		Vega-Galvez I	0,9924	0,000657	0,104805
		Henderson & Pabis	0,9924	0,000657	0,104806
		Lewis	0,9902	0,000812	0,120624

Tablo 6.5 Seçilen modellerin 70°C kurutma sıcaklığında istatistiksel analiz sonuçları

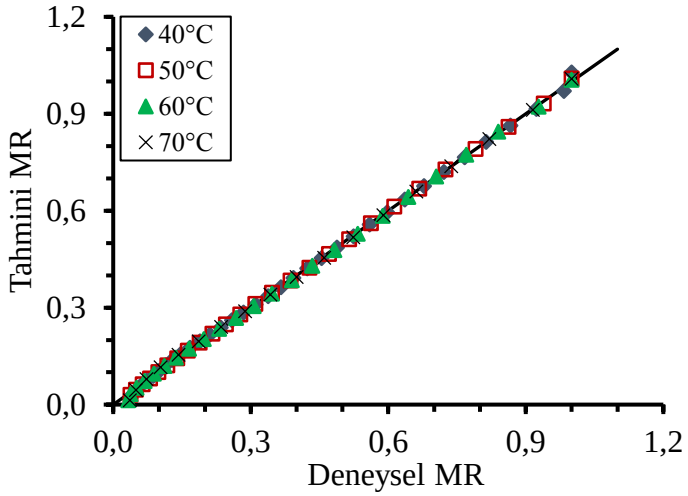
T (°C)	*Kod*	*Model*	R^2	χ^2	*RMSE*
70	SA	**Logaritmik**	**0,9977**	**0,000278**	**0,049485**
		Aghbashlo vd.	**0,9993**	**0,000084**	**0,026436**
		Vega-Galvez I	0,9814	0,002106	0,144269
		Henderson & Pabis	0,9814	0,002106	0,144269
		Lewis	0,9733	0,002804	0,173089
	SDS	**Logaritmik**	**0,9992**	**0,000078**	**0,026120**
		Aghbashlo vd.	**0,9994**	**0,000056**	**0,025594**
		Vega-Galvez I	0,9775	0,002301	0,168266
		Henderson & Pabis	0,9775	0,002301	0,168267
		Lewis	0,9709	0,002793	0,192195
	Kontrol	**Logaritmik**	**0,9995**	**0,000043**	**0,022707**
		Aghbashlo vd.	**0,9993**	**0,000063**	**0,029922**
		Vega-Galvez I	0,9831	0,001634	0,153246
		Henderson & Pabis	0,9831	0,001634	0,153246
		Lewis	0,9781	0,002011	0,177035

Tablo 6.2–6.5'te görüldüğü gibi bütün modellerin sonuçları irdelenirse R^2 değerleri 0,9709 ile 0,9999; χ^2 değerleri 0,000005 ile 0,002804 ve RMSE değerleri 0,009862 ile 0,234694 arasında değişmektedir. Beş matematiksel modeller arasından Logaritmik ve Aghbashlo vd. modelleri daha yüksek R^2 değerlerine ve daha düşük χ^2 ve RMSE değerlerine sahiptirler. Logaritmik modelin R^2 değerleri 0,9993 ile 0,9999, χ^2 değerleri 0,000005 ile 0,000278 ve RMSE değerleri 0,009862 ile 0,049485 arasında; Aghbashlo vd. modelinin R^2 değerleri 0,9993 ile 0,9999, χ^2 0,000016 ile 0,000103 ve RMSE değerleri 0,014261 ile 0,054424 arasında değişmektedir. Bu değerlerin analizi sonucunda, R^2, χ^2 ve RMSE değerleri incelendiğinde, Logaritmik ve Aghbashlo vd. modellerinin armut dilimlerinin kuruma karakteristiğini diğer modellerden daha iyi açıkladıkları sonucuna ulaşılmıştır.

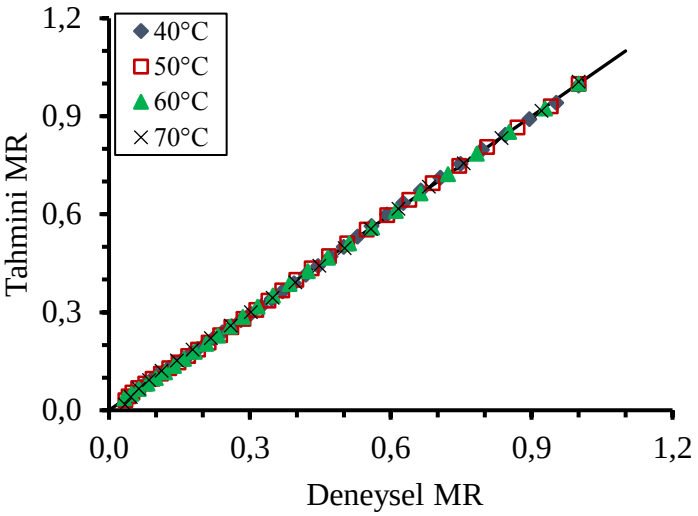
Şekil 6.9-6.14'te Logaritmik ve Aghbashlo vd. modelleri ile oluşturulan tahmini nem oranı ile deneysel nem oranı karşılaştırılmıştır. Grafikler incelendiğinde, deneysel ve tahmini nem oranı değerlerinin 45°'lik düz bir çizgi üzerinde yer aldıkları görülmektedir. Sözü edilen modellerin iyi bir uyum gösterdikleri sonucuna varılmıştır.



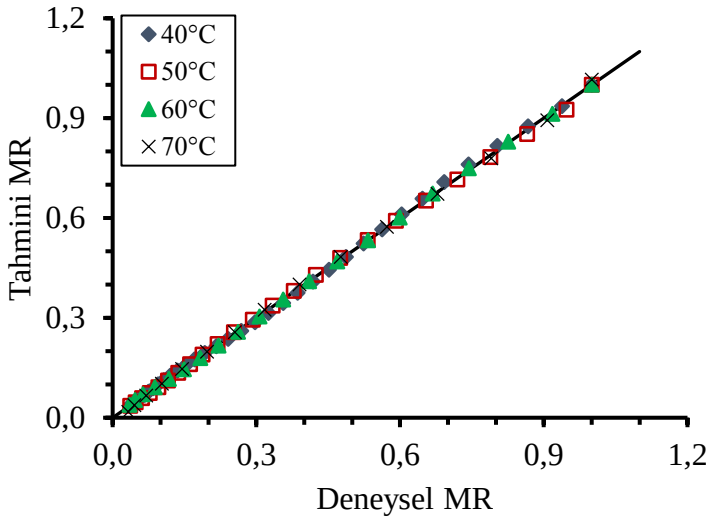
Şekil 6.9 SA kodlu dilimler için Logaritmik model kullanılarak elde edilen deneysel ve tahmin edilen nem oranlarının karşılaştırılması



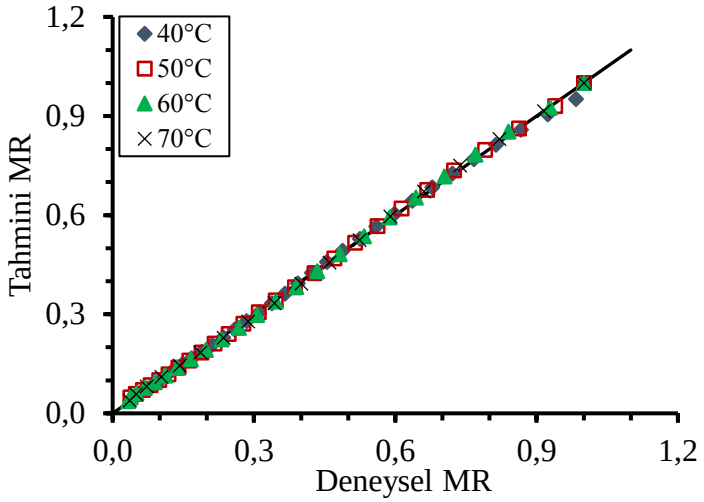
Şekil 6.10 SDS kodlu dilimler için Logaritmik model kullanılarak elde edilen deneysel ve tahmin edilen nem oranlarının karşılaştırılması



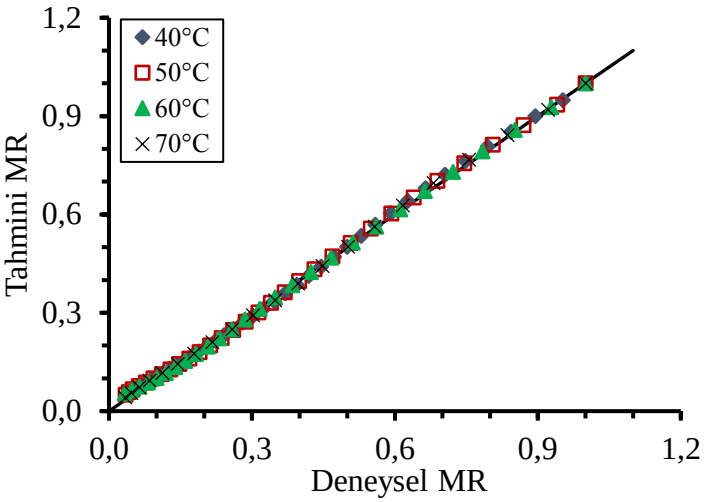
Şekil 6.11 Kontrol kodlu dilimler için Logaritmik model kullanılarak elde edilen deneysel ve tahmin edilen nem oranlarının karşılaştırılması



Şekil 6.12 SA kodlu dilimler için Aghbashlo vd. modeli kullanılarak elde edilen deneysel ve tahmin edilen nem oranlarının karşılaştırılması



Şekil 6.13 SDS kodlu dilimler için Aghbashlo vd. modeli kullanılarak elde edilen deneysel ve tahmin edilen nem oranlarının karşılaştırılması



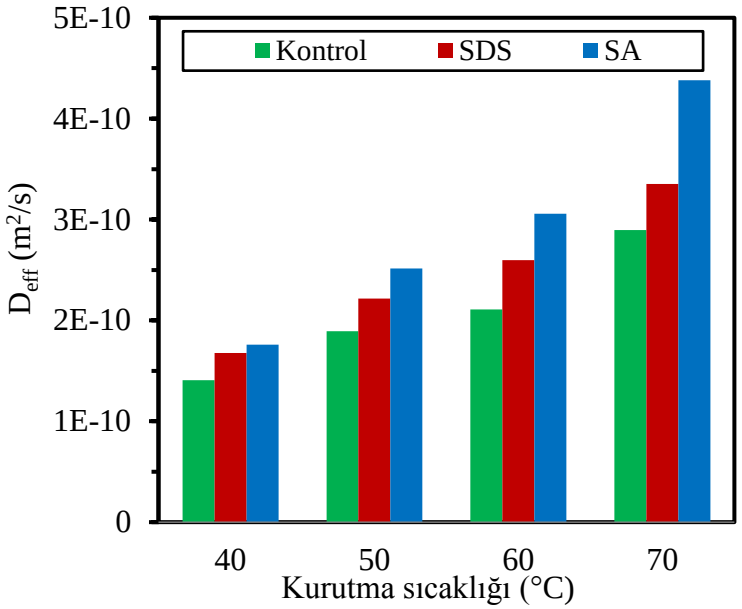
Şekil 6.14 Kontrol kodlu dilimler için Aghbashlo vd. modeli kullanılarak elde edilen deneysel ve tahmin edilen nem oranlarının karşılaştırılması

6.1.4 Efektif difüzyon katsayılarının hesaplanması

Kabin kurutucuda SA, SDS ve Kontrol kodlu armut dilimlerinin farklı sıcaklıklardaki efektif difüzyon katsayısı (D_{eff}) değerleri (5.10) denkleminden yararlanılarak hesaplanmış, Tablo 6.6'da ve grafiksel olarak Şekil 6.15'te gösterilmiştir. Tablo 6.6'da görüldüğü gibi D_{eff} değerleri hem sıcaklıktan hem de ön işlemlerden etkilenmiştir. Kurutma sıcaklığının artmasıyla birlikte SA, SDS ve Kontrol kodlu armut dilimlerinin D_{eff} değerleri artmıştır. Diğer bir yandan, ön işlem uygulanmış armut dilimlerinin D_{eff} değerleri, Kontrol kodlu örneklere göre daha yüksektir. Bu durum, ön işlemin kurutma hızını arttırıcı etkisini destekleyebilir. Ön işlemlerin etkisi incelendiğinde ise en yüksek D_{eff} değerlerine sahip SA kodlu armut dilimlerinin diğerlerinden daha başarılı sonuçlar verdiği görülmektedir.

Tablo 6.6 Kabin kurutucuda kurutulan dilimlerin efektif difüzyon katsayıları

Sıcaklık (°C)	Efektif difüzyon katsayısı (m^2/s)		
	SA	**SDS**	**Kontrol**
40	$1,7580\times10^{-10}$	$1,6769\times10^{-10}$	$1,4064\times10^{-10}$
50	$2,5153\times10^{-10}$	$2,2178\times10^{-10}$	$1,8932\times10^{-10}$
60	$3,0562\times10^{-10}$	$2,5965\times10^{-10}$	$2,1096\times10^{-10}$
70	$4,3815\times10^{-10}$	$3,3538\times10^{-10}$	$2,8940\times10^{-10}$



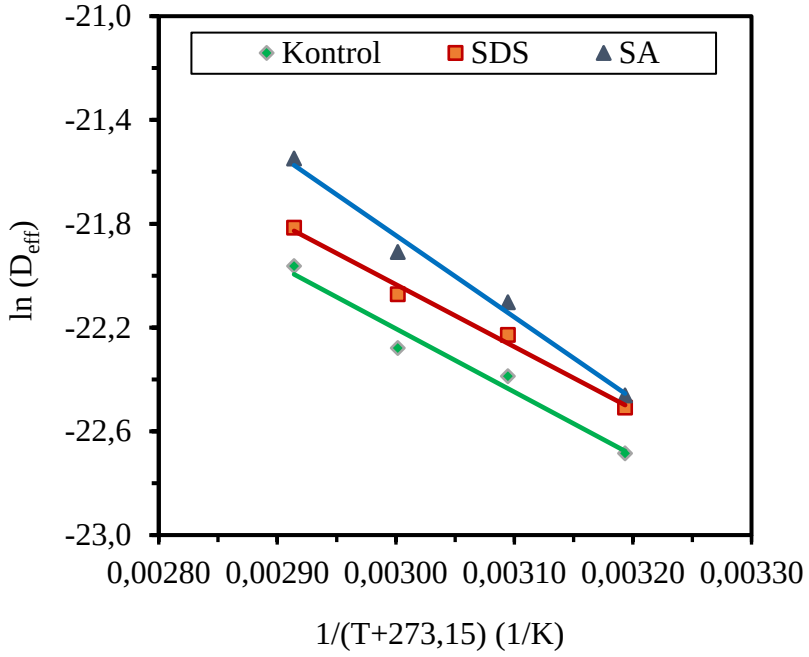
Şekil 6.15 Kurutma sıcaklığının armut dilimlerinin efektif difüzyon katsayıları üzerine etkileri

Efektif difüzyon katsayısı değerleri, SA kodlu örnekler için $1,76\times10^{-10}$- $4,38\times10^{-10}$ m^2/s, SDS kodlu örnekler için $1,68\times10^{-10}$-$3,35\times10^{-10}$ m^2/s ve Kontrol kodlu örnekler için ise $1,40\times10^{-10}$-$2,89\times10^{-10}$ m^2/s arasında değişmektedir.

Literatürdeki bazı armut kurutma çalışmalarında elde edilen D_{eff} değerleri örneğin Park vd. (2002) tarafından 40-80°C kurutma sıcaklığı aralığında $1,59\times10^{-10}$-$7,64\times10^{-10}$ m^2/s, Öztekin ve Sacilik (2020) tarafından 55-75°C kurutma sıcaklığı aralığında $1,12\times10^{-10}$-$2,94\times10^{-10}$ m^2/s ve De Araujo vd. (2021) tarafından 50-100°C kurutma sıcaklığı aralığında $1,15x10^{-9}$-$5,08x10^{-9}$ m^2/s olarak bulunmuştur. Elde edilen değerler, diğer literatür çalışmalarıyla uyumlu bir şekilde bulunmuştur.

6.1.5 Aktivasyon enerjilerinin hesaplanması

Kabin kurutucuda kurutulan armut dilimlerinin aktivasyon enerjisi (E_a) değerleri (5.12) denklemi yardımıyla hesaplanmış ve bu değerlerden yararlanılarak Şekil 6.16'daki 1/(T+273,15)'e karşılık ln (D_{eff}) eğrileri çizilmiştir. Aktivasyon enerjisi (E_a), çizilen bu eğrilerin eğimlerinden hesaplanmıştır. Ayrıca difüzyon ön katsayısı (D_0), eğrilerin kesim noktalarından elde edilmiştir.



Şekil 6.16 Kurutulan armut dilimlerinin efektif difüzyon katsayılarına sıcaklığın etkisi

Aşağıda yer alan denklemlerde SA, SDS ve Kontrol kodlu örnekler için sıcaklığın etkisi belirtilmiştir:

SA:

$$D_{eff} = 4{,}159 \times 10^{-6} exp\left(-\frac{3151{,}6}{(T+273{,}15)}\right) \quad (R^2 = 0{,}9869) \tag{6.1}$$

SDS:

$$D_{eff} = 3{,}658 \times 10^{-7} exp\left(-\frac{2404{,}2}{(T+273{,}15)}\right) \quad (R^2 = 0{,}9905) \tag{6.2}$$

Kontrol:

$$D_{eff} = 3{,}435 \times 10^{-7} exp\left(-\frac{2440{,}1}{(T+273{,}15)}\right) \quad (R^2 = 0{,}9686) \tag{6.3}$$

Denklem (6.1), (6.2) ve (6.3) kullanılarak SA, SDS ve Kontrol kodlu armut dilimlerinin aktivasyon enerjisi değerleri hesaplanmış ve sırasıyla 26,20, 19,98 ve 20,28 kJ/mol olarak bulunmuştur. Ayrıca bulunan bu değerler, armut dilimlerinin kurutulmasında Park vd. (2002) tarafından 29,4-31,2 kJ/mol, Doymaz (2013a) tarafından 34,95-41,00 kJ/mol ve Lutovska vd. (2016) tarafından 28,1-30,5 kJ/mol olarak sunulan değerlerden daha düşüktür.

6.1.6 Renk analizlerinin incelenmesi

Taze ve kurutulmuş armut dilimlerinin renk parametreleri Tablo 6.7'de verilmektedir. Örneklerin renk değerleri (L, a ve b parametreleri) taze örneklere göre daha yüksek bulunmuştur. Bunun nedeni, suyun azalması sonucu pigment konsantrasyonunun artmasından kaynaklanabilir.

Tablo 6.7 Renk parametreleri bakımından taze ve kurutulmuş armut dilimlerinin karşılaştırılması

Grup	Sıcaklık	L	a	b	C	ΔE
Taze	-	70,31	-4,8	10,45	11,50	-
SA	40°C	73,53	1,10	25,43	25,45	16,42
	50°C	71,7	1,35	23,63	23,67	14,61
	60°C	70,54	2,15	23,46	23,56	14,75
	70°C	69,93	2,95	21,37	21,57	13,40
SDS	40°C	81,38	-5,84	16,08	17,10	12,46
	50°C	80,88	-5,53	15,56	16,51	11,76
	60°C	80,52	-4,88	14,31	15,12	10,92
	70°C	80,38	-3,92	14,16	14,69	10,77
Kontrol	40°C	71,9	1,86	27,65	27,71	18,51
	50°C	70,97	2,46	23,95	24,08	15,34
	60°C	68,57	2,77	23,12	23,29	14,86
	70°C	67,73	3,02	22,58	22,78	14,66

Tablo 6.7 incelendiğinde, kabin kurutucuda kurutma sıcaklığının artmasıyla SA, SDS ve Kontrol kodlu armut dilimlerinin L değerlerinde azalma meydana gelmiştir. Ön işlemin etkisi incelendiğinde SDS kodlu örneklerin en yüksek L değerlerine sahip olduğu görülmüştür. Bunun yanı sıra, kurutma sıcaklığının artmasıyla örneklerin a değerleri artmıştır. Ön işlemin etkisi incelendiğinde SDS kodlu örneklerin en düşük a değerine sahip olduğu görülmüştür. Buna ek olarak, kurutma sıcaklığı arttıkça örneklerin b değerleri de azalmıştır. Ön işlemlerin etkisi incelendiğinde SDS kodlu örneklerin en düşük b değerine sahip olduğu görülmüştür. Tüm bu değerler ışığında, kurutma sıcaklığı arttıkça SA, SDS ve Kontrol kodlu numunelerin C değeri azalış göstermiştir. Ön işlemlerin etkisi incelendiğinde, Kontrol kodlu örnekler en yüksek C değerine sahiptir. Taze örneğin C değerine en yakın değer ise SDS kodlu örneklerde görülmüştür. Örneklerde meydana gelen toplam renk değişimi (ΔE) değeri incelendiğinde ise sıcaklığın artmasıyla örneklerin ΔE değerlerinde azalma meydana gelmiştir. En düşük ΔE değeri SDS kodlu örneklerde görülmüştür. Sonuç olarak, sodyum disülfit çözeltisi ile ön muamelenin, armut dilimlerinin orijinal renginin korunmasına yardımcı olduğunu ve renk değişimindeki kayıpları en aza indirgediğini göstermiştir. Sodyum disülfit çözeltisi ile ön muamele yöntemini farklı meyvelerde uygulayan Akanbi vd. (2006) ve Jiang vd. (2017) rengin korunmasında olumlu etki yarattığını açıklamışlardır.

6.2 İnfrared Kurutucuda Yapılan Çalışmalar

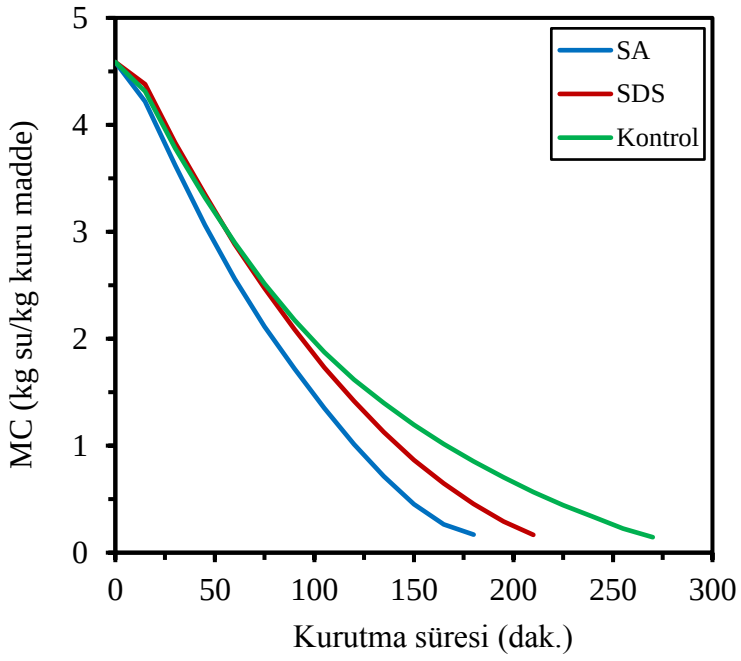
6.2.1 Ön işlemin ve IR güç seviyesinin kuruma süresine etkisi

İnfrared kurutucuda armut dilimleri ön işlemsiz ve bazı ön işlemler uygulandıktan sonra farklı IR güç seviyeleri ile (38-50-62-74-88 W) yaklaşık %15 nem içeriğine kadar kurutulmuşlardır. Deneyler sırasında her 15 dakika aralıklarda örnekler tartımı yapılmış ve elde edilen bu verilerden hareket ederek kurutma süresine karşılık nem içeriği grafikleri çizilmiştir. Tablo 6.8'de farklı infrared güç seviyelerinde kurutulan armut dilimlerinin kuruma süreleri yer almaktadır. Tablodaki verilere göre, son nem içeriğine ulaşıncaya kadar kurutulan armut dilimlerinin kuruma süreleri infrared güç seviyesi arttıkça azalmaktadır. Buna ek olarak, en kısa kuruma süresi SA grubunda ve en uzun kuruma süresi ise Kontrol grubunda gözlenmektedir.

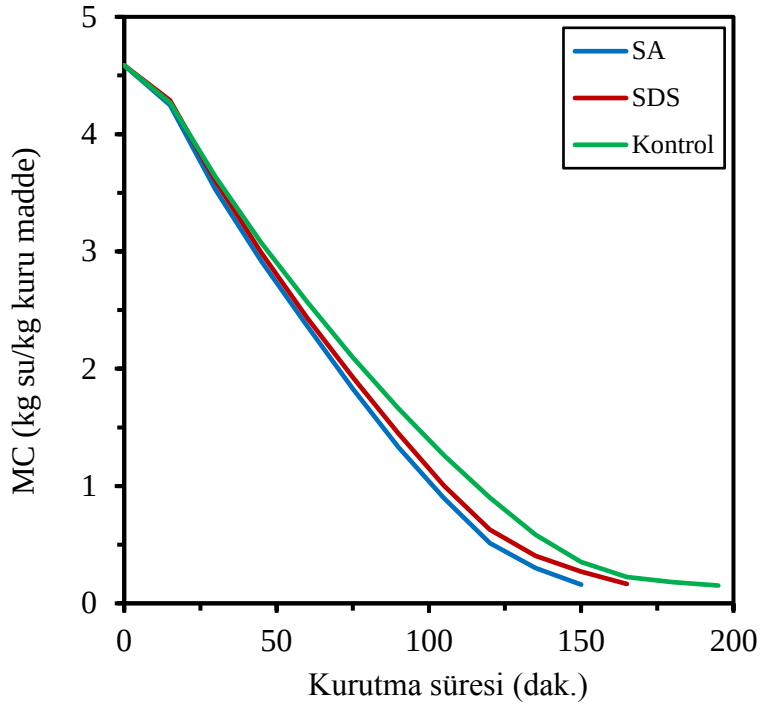
Tablo 6.8 Farklı infrared güç seviyelerinde kurutulan armut dilimlerinin kuruma süreleri

Güç seviyesi (W)	Kurutma Süresi (dakika)		
	SA	**SDS**	**Kontrol**
38	180	210	270
50	150	165	195
62	120	135	150
74	105	120	135
88	90	105	120

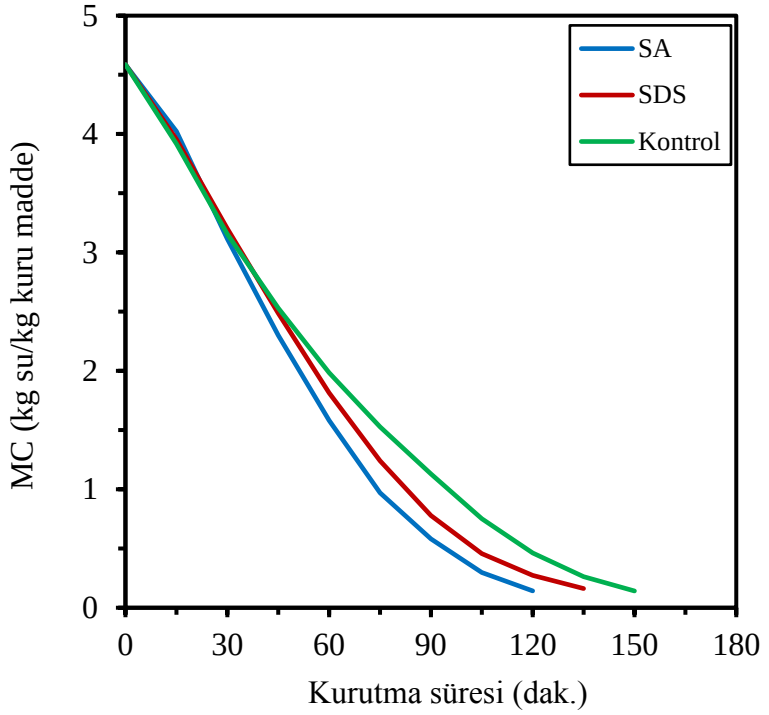
Yapılan denemeler sonucunda kurutma süresi ve nem içeriği arasındaki ilişki Şekil 6.17-6.21 grafikleriyle gösterilmiştir. Şekillerdeki eğriler incelendiğinde, infrared güç seviyesinin artmasıyla kurutma sürelerin de azalma meydana gelmektedir. En kısa kurutma süresinin ise 88 W güç seviyesindeki SA kodlu armut dilimlerinde gerçekleştiği görülmektedir. Bu grubu sırasıyla SDS ve Kontrol kodlu örnekler takip etmektedir. Buna ek olarak, kurutmanın gerçekleştiği tüm infrared güç seviyelerinde SA kodlu ürünler Kontrol grubuna oranla kurutma süresini %20-33,3 ve SDS kodlu ürünler ise Kontrol grubuna oranla kurutma süresini %10-22,2 azalttığı görülmektedir.



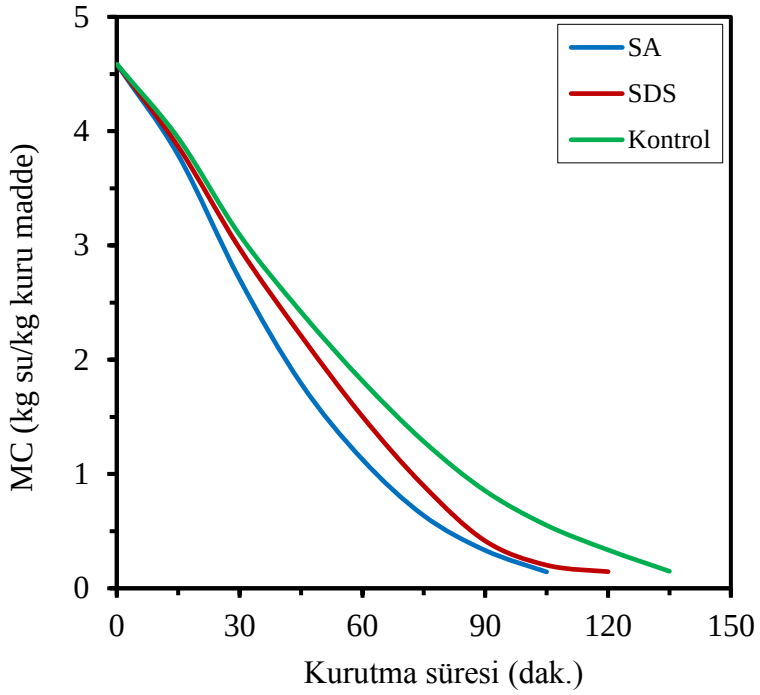
Şekil 6.17 Kurutma süresine bağlı olarak değişen nem içeriği: 38 W 'ta kurutulan armut dilimlerinin analizi



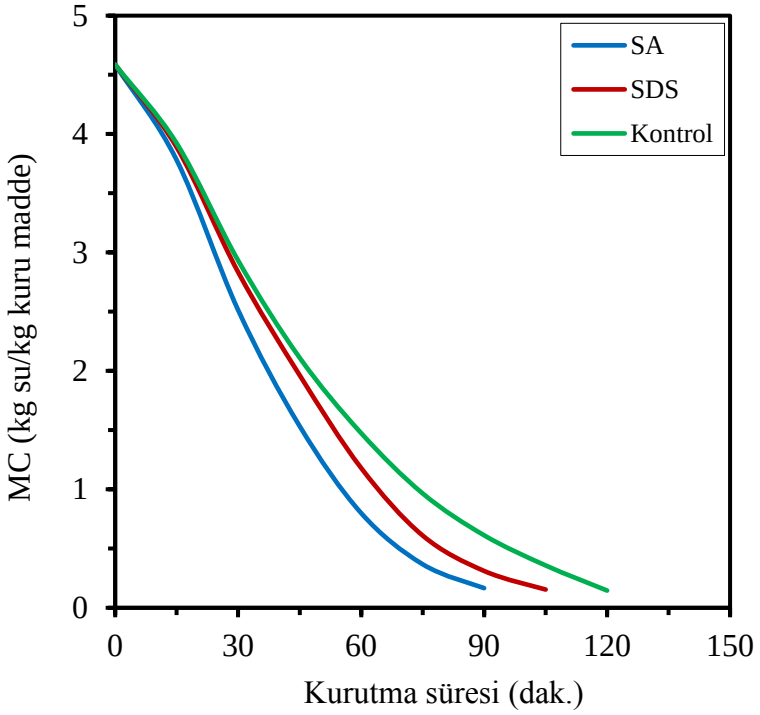
Şekil 6.18 Kurutma süresine bağlı olarak değişen nem içeriği: 50 W 'ta kurutulan armut dilimlerinin analizi



Şekil 6.19 Kurutma süresine bağlı olarak değişen nem içeriği: 62 W 'ta kurutulan armut dilimlerinin analizi



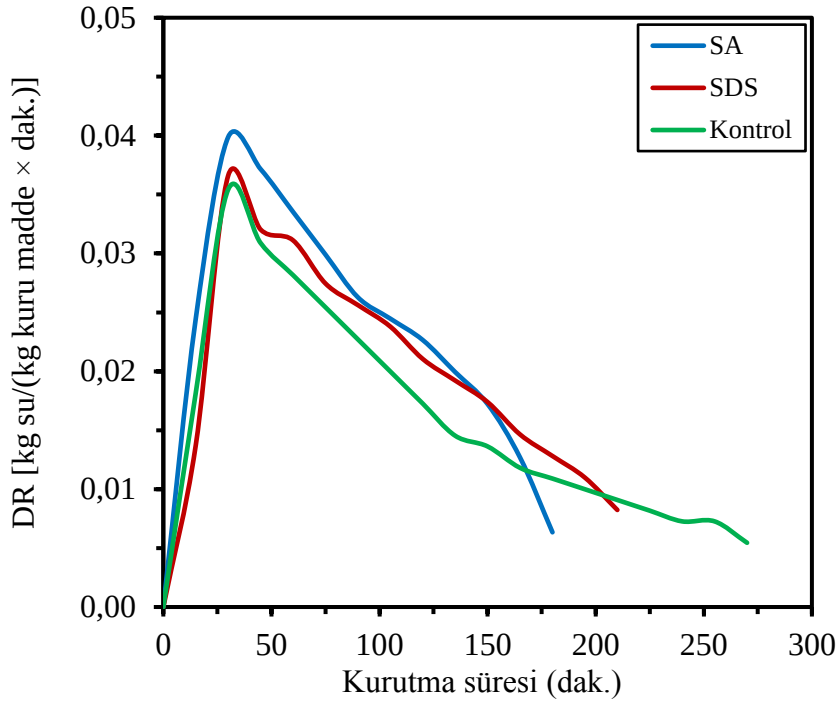
Şekil 6.20 Kurutma süresine bağlı olarak değişen nem içeriği: 74 W 'ta kurutulan armut dilimlerinin analizi



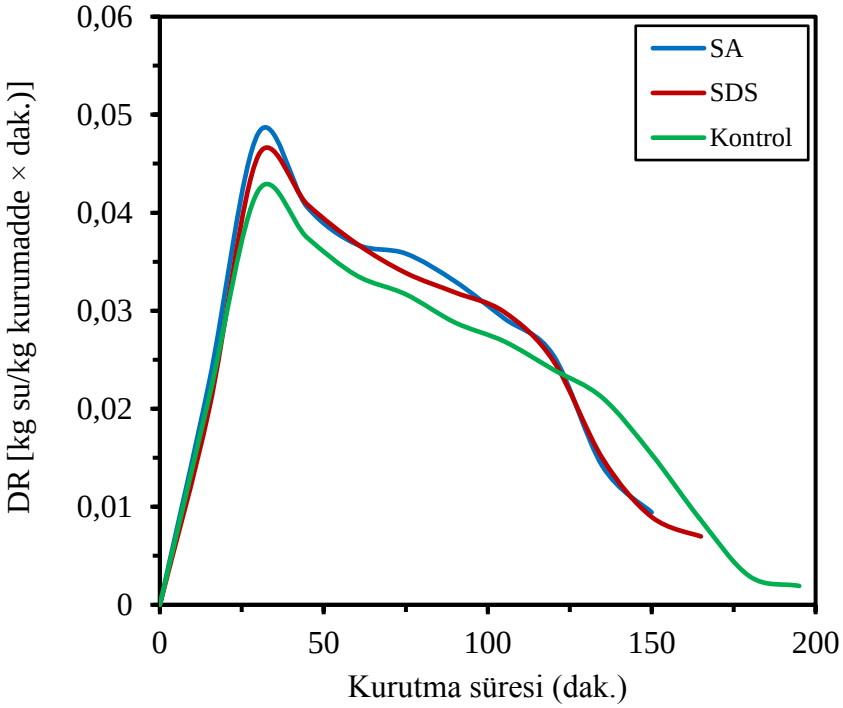
Şekil 6.21 Kurutma süresine bağlı olarak değişen nem içeriği: 88 W 'ta kurutulan armut dilimlerinin analizi

6.2.2 Kurutma hızı ile kuruma süresinin değişimi

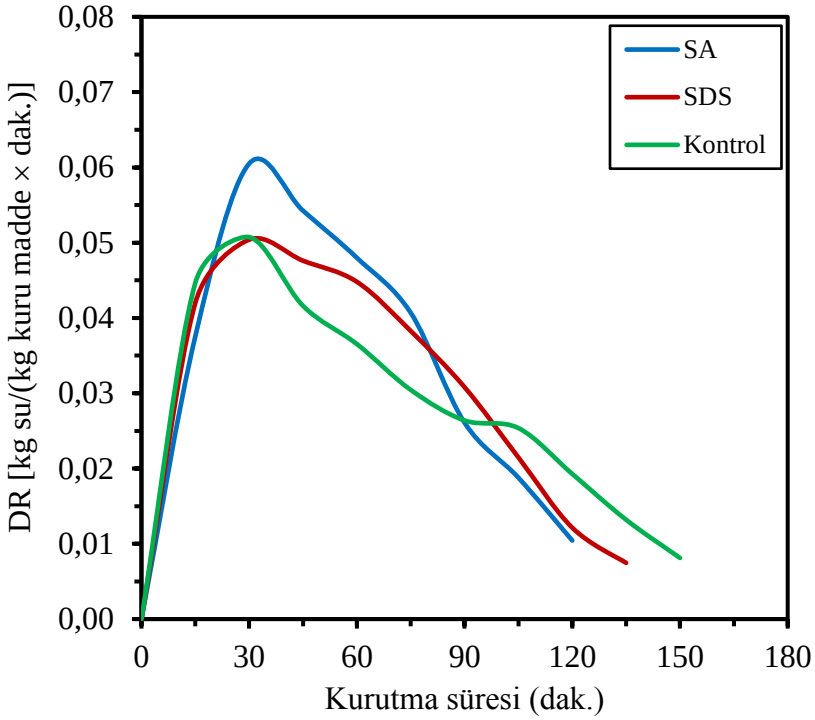
Farklı güç seviyelerinde ve ön işlemlerle infrared kurutucuda kurutulan armut dilimlerinin kurutma hızının (DR) kuruma süresi ile değişimi Şekil 6.22-6.26'da görülmektedir.



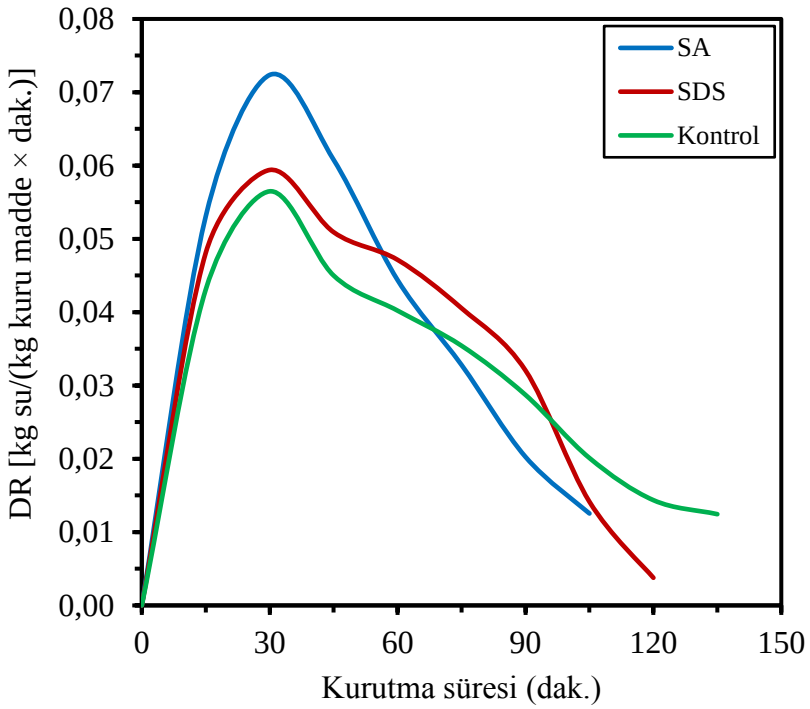
Şekil 6.22 Kurutma süresine bağlı olarak değişen kurutma hızı: 38 W'ta kurutulan armut dilimlerinin analizi



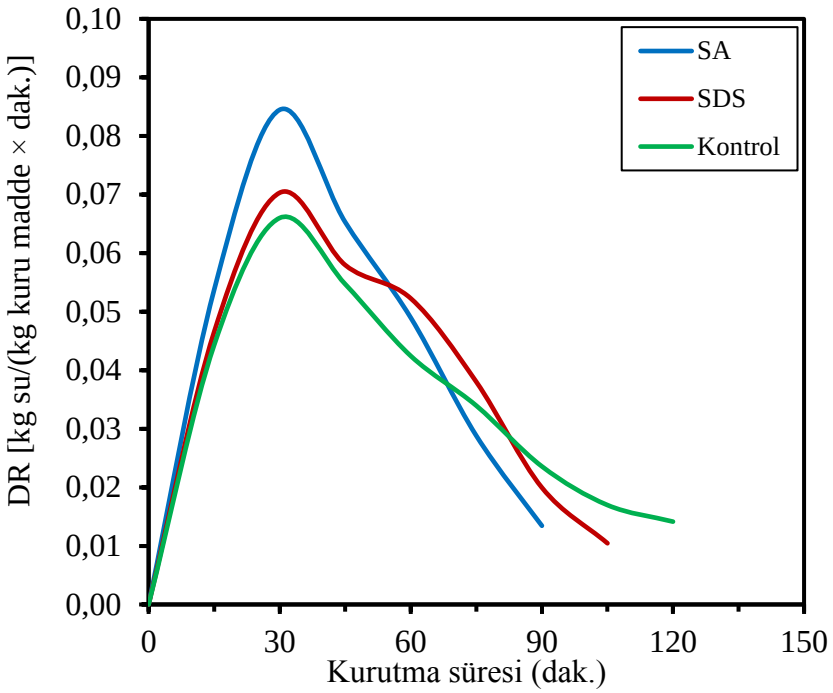
Şekil 6.23 Kurutma süresine bağlı olarak değişen kurutma hızı: 50 W'ta kurutulan armut dilimlerinin analizi



Şekil 6.24 Kurutma süresine bağlı olarak değişen kurutma hızı: 62 W'ta kurutulan armut dilimlerinin analizi



Şekil 6.25 Kurutma süresine bağlı olarak değişen kurutma hızı: 74 W'ta kurutulan armut dilimlerinin analizi



Şekil 6.26 Kurutma süresine bağlı olarak değişen kurutma hızı: 88 W'ta kurutulan armut dilimlerinin analizi

Şekillerdeki eğriler incelendiğinde, farklı infrared güç seviyelerinin kurutma hızı üzerindeki etkisi belirgin bir şekilde görülmektedir. İnfrared üç seviyesinin artması ile birlikte kurutma hızı artmakta ve dolayısı ile kurutma süresi azalmaktadır. Kurutma işleminin başlangıcında kurutma hızı ani bir şekilde artmaktadır. Bunun sebebi üründeki nem kaybının başlangıçta yüksek olmasıdır ve sonrasında nem içeriği azaldıkça su hareketi yavaşlamakta ve böylece kuruma hızı da düşmektedir. İnfrared güç seviyesinin artmasıyla kurutma hızının arttığı ve buna bağlı olarak kurutma süresinin azaldığı, literatürde Lech vd. (2016) ve Çelen vd. (2017) tarafından yapılan çalışmalarla benzerlik görülmektedir.

Farklı güç seviyelerinde kurutulan dilimlerin kurutma işlemi sonunda aynı nem içeriğine ulaştıklarında en yüksek kurutma hızının SA kodlu dilimlerde olduğu görülmektedir. Bunu SDS kodlu örnekler takip etmekte ve en düşük kurutma hızına ise Kontrol kodlu dilimlerin sahip olduğu görülmektedir.

Sonuç olarak, sitrik asit çözeltisi ile gerçekleştirilen ön işlemin kurutma hızını artırmada diğer işlemlerden daha etkili bir yöntem olduğu görülmektedir. SA kodlu ön işlemin kuruma süresini önemli ölçüde azalttığı ise literatürdeki farklı kurutma çalışmalarında da görülmektedir (Doymaz ve Aktaş, 2018; Tarhan vd., 2009; Yıldız, 2021).

6.2.3 Kuruma eğrilerinin matematiksel modellenmesi

Farklı infrared güç seviyelerinde kurutulan armut dilimlerinin deneysel sonuçlarından yararlanılarak Tablo 6.9-6.13'te verildiği gibi Logaritmik, Aghbashlo vd., Lewis, Henderson & Pabis ve Vega-Galvez I matematiksel modelleri uygulanmış ve R^2, χ^2 ve RMSE değerleri hesaplanmıştır.

Tablo 6.9-6.13'te görüldüğü gibi, bütün modellerin sonuçlarında R^2, χ^2 ve RMSE değerleri sırasıyla, 0,9456 ile 0,9996, 0,000115 ile 0,006506 ve 0,013060 ile 0,230213 arasında değişmektedir. Aghbashlo vd. modeli, diğer modellere kıyasla daha yüksek R^2, daha düşük χ^2 ve RMSE değerlerine sahiptir. Aghbashlo vd. modelinin R^2, χ^2 ve RMSE değerleri sırasıyla 0,9955-0,9996, 0,000039-0,000753 ve 0,014681-0,047682 arasındadır. Hesaplanan bu verilere göre Aghbashlo vd. modeli, armudun kurutma karakteristiğini diğer modellerden daha iyi açıklamaktadır. Şekil 6.27-6.29'da da Aghbashlo vd. modeli ile oluşturulan tahmini nem oranı ve deneysel nem oranı karşılaştırılmıştır ve modelin uygunluğu açıkça görülmektedir.

Tablo 6.9 Seçilen modellerin 38 W güç seviyesinde istatistiksel analiz sonuçları

p (W)	***Kod***	***Model***	***R^2***	***χ^2***	***RMSE***
38	SA	Logaritmik	0,9975	0,000323	0,044832
		Aghbashlo vd.	**0,9989**	**0,000126**	**0,022850**
		Vega-Galvez I	0,9730	0,003214	0,167210
		Henderson & Pabis	0,9730	0,003214	0,167210
		Lewis	0,9619	0,004158	0,193657
	SDS	Logaritmik	0,9970	0,000345	0,051890
		Aghbashlo vd.	**0,9977**	**0,000256**	**0,035837**
		Vega-Galvez I	0,9735	0,003041	0,172962
		Henderson & Pabis	0,9735	0,003041	0,172962
		Lewis	0,9591	0,004371	0,214947
	Kontrol	Logaritmik	0,9986	0,000147	0,031006
		Aghbashlo vd.	**0,9983**	**0,000171**	**0,037540**
		Vega-Galvez I	0,9908	0,000924	0,101735
		Henderson & Pabis	0,9908	0,000924	0,101735
		Lewis	0,9845	0,001477	0,135226

Tablo 6.10 Seçilen modellerin 50 W güç seviyesinde istatistiksel analiz sonuçları

p (W)	*Kod*	*Model*	R^2	χ^2	*RMSE*
50	SA	Logaritmik	0,9946	0,000804	0,067211
		Aghbashlo vd.	**0,9979**	**0,000278**	**0,031874**
		Vega-Galvez I	0,9604	0,005259	0,198152
		Henderson & Pabis	0,9604	0,005259	0,198153
		Lewis	0,9456	0,006506	0,223832
	SDS	Logaritmik	0,9925	0,001087	0,085371
		Aghbashlo vd.	**0,9967**	**0,000425**	**0,045824**
		Vega-Galvez I	0,9640	0,004737	0,200948
		Henderson & Pabis	0,9640	0,004737	0,200948
		Lewis	0,9487	0,006141	0,228450
	Kontrol	Logaritmik	0,9926	0,001024	0,092711
		Aghbashlo vd.	**0,9977**	**0,000285**	**0,039084**
		Vega-Galvez I	0,9694	0,003879	0,195386
		Henderson & Pabis	0,9694	0,003879	0,195386
		Lewis	0,9562	0,005122	0,230213

Tablo 6.11 Seçilen modellerin 62 W güç seviyesinde istatistiksel analiz sonuçları

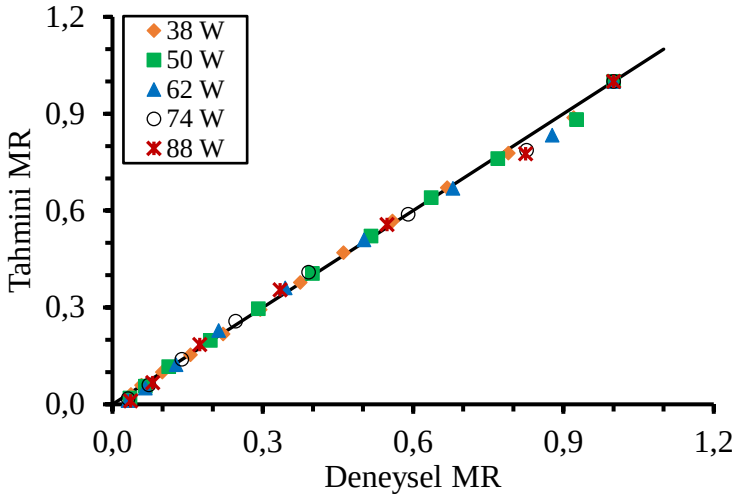
p (W)	*Kod*	*Model*	R^2	χ^2	*RMSE*
62	SA	Logaritmik	0,9919	0,001380	0,079791
		Aghbashlo vd.	**0,9969**	**0,000454**	**0,043776**
		Vega-Galvez I	0,9648	0,005173	0,178668
		Henderson & Pabis	0,9648	0,005173	0,178668
		Lewis	0,9541	0,005910	0,187356
	SDS	Logaritmik	0,9940	0,000927	0,072792
		Aghbashlo vd.	**0,9985**	**0,000192**	**0,032108**
		Vega-Galvez I	0,9715	0,003875	0,164446
		Henderson & Pabis	0,9715	0,003875	0,164444
		Lewis	0,9631	0,004468	0,177305
	Kontrol	Logaritmik	0,9988	0,000164	0,028439
		Aghbashlo vd.	**0,9996**	**0,000039**	**0,014681**
		Vega-Galvez I	0,9822	0,002171	0,126296
		Henderson & Pabis	0,9822	0,002172	0,126298
		Lewis	0,9772	0,002497	0,137021

Tablo 6.12 Seçilen modellerin 74 W güç seviyesinde istatistiksel analiz sonuçları

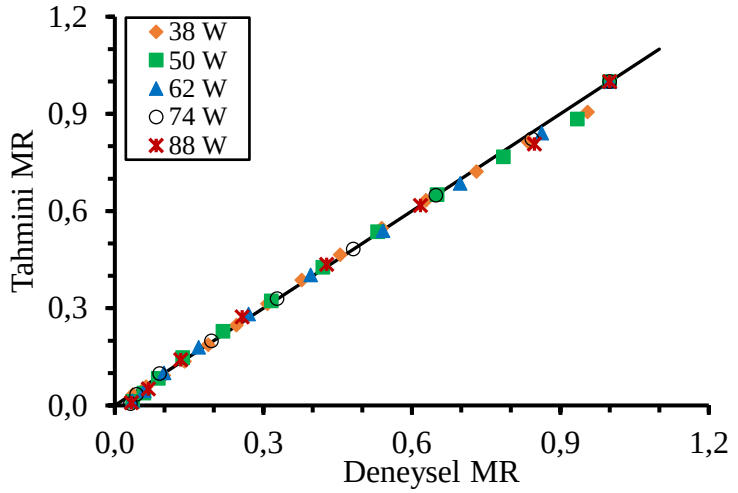
p (W)	*Kod*	*Model*	R^2	χ^2	*RMSE*
74	SA	Logaritmik	0,9934	0,001186	0,067776
		Aghbashlo vd.	**0,9973**	**0,000397**	**0,034899**
		Vega-Galvez I	0,9741	0,003923	0,142111
		Henderson & Pabis	0,9741	0,003923	0,142111
		Lewis	0,9676	0,004217	0,144358
	SDS	Logaritmik	0,9926	0,001262	0,078051
		Aghbashlo vd.	**0,9988**	**0,000174**	**0,024007**
		Vega-Galvez I	0,9672	0,004816	0,173832
		Henderson & Pabis	0,9672	0,004816	0,173832
		Lewis	0,9594	0,005223	0,179586
	Kontrol	Logaritmik	0,9971	0,000421	0,047372
		Aghbashlo vd.	**0,9991**	**0,000115**	**0,019573**
		Vega-Galvez I	0,9793	0,002691	0,135201
		Henderson & Pabis	0,9793	0,002691	0,135199
		Lewis	0,9727	0,003146	0,146593

Tablo 6.13 Seçilen modellerin 88 W güç seviyesinde istatistiksel analiz sonuçları

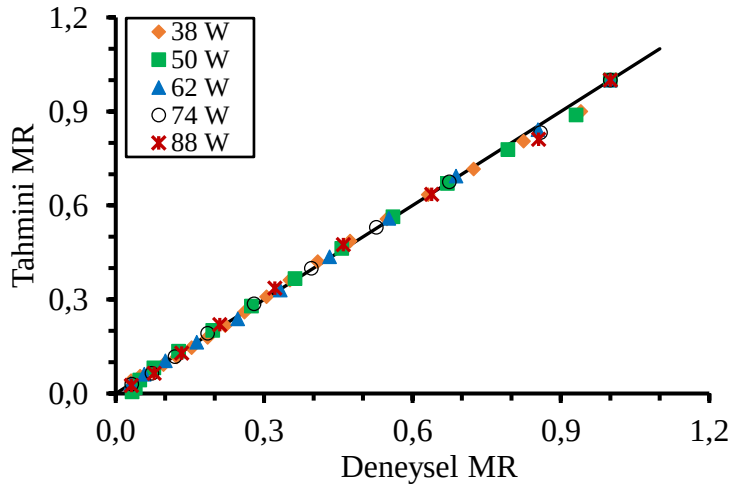
p (W)	*Kod*	*Model*	R^2	χ^2	*RMSE*
88	SA	Logaritmik	0,9893	0,002247	0,083935
		Aghbashlo vd.	**0,9955**	**0,000753**	**0,047682**
		Vega-Galvez I	0,9641	0,006067	0,158736
		Henderson & Pabis	0,9641	0,006067	0,158738
		Lewis	0,9564	0,006141	0,155488
	SDS	Logaritmik	0,9908	0,001725	0,080755
		Aghbashlo vd.	**0,9969**	**0,000478**	**0,040092**
		Vega-Galvez I	0,9645	0,005551	0,173567
		Henderson & Pabis	0,9645	0,005551	0,173564
		Lewis	0,9557	0,005950	0,177050
	Kontrol	Logaritmik	0,9948	0,000838	0,060408
		Aghbashlo vd.	**0,9972**	**0,000385**	**0,036839**
		Vega-Galvez I	0,9777	0,003109	0,133789
		Henderson & Pabis	0,9777	0,003109	0,133789
		Lewis	0,9706	0,003594	0,139723



Şekil 6.27 SA kodlu dilimler için Aghbashlo vd. modeli kullanılarak elde edilen deneysel ve tahmin edilen nem oranlarının karşılaştırılması



Şekil 6.28 SDS kodlu dilimler için Aghbashlo vd. modeli kullanılarak elde edilen deneysel ve tahmin edilen nem oranlarının karşılaştırılması



Şekil 6.29 Kontrol kodlu dilimler için Aghbashlo vd. modeli kullanılarak elde edilen deneysel ve tahmin edilen nem oranlarının karşılaştırılması

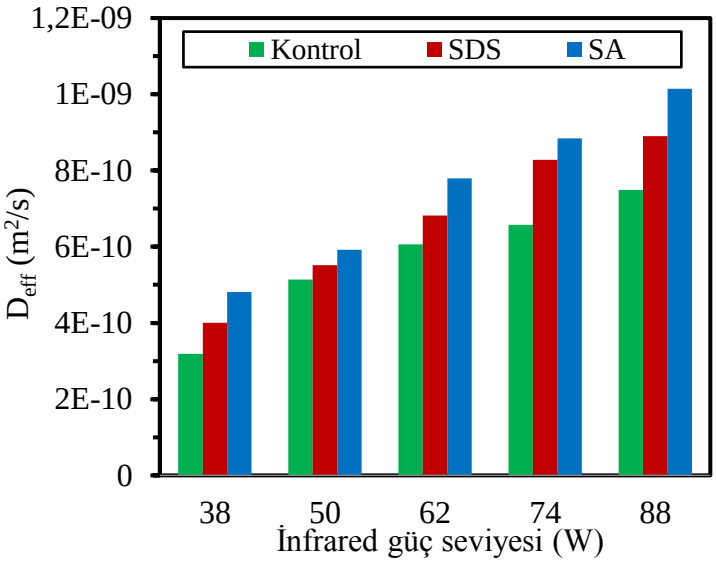
6.2.4 Efektif difüzyon katsayılarının hesaplanması

İnfrared kurutucuda kurutulan armut dilimlerinin farklı güç seviyelerindeki D_{eff} değerleri, (5.10) denklemi ile hesaplanmış ve bu değerler Tablo 6.14'te ve Şekil 6.30'da gösterilmiştir.

Tablo 6.14 Armut dilimlerinin farklı güç seviyelerindeki efektif difüzyon katsayıları

Güç Seviyeleri (W)	Efektif difüzyon katsayısı (m^2/s)		
	SA	**SDS**	**Kontrol**
38	$4{,}814\times10^{-10}$	$4{,}002\times10^{-10}$	$3{,}191\times10^{-10}$
50	$5{,}923\times10^{-10}$	$5{,}517\times10^{-10}$	$5{,}138\times10^{-10}$
62	$7{,}789\times10^{-10}$	$6{,}815\times10^{-10}$	$6{,}058\times10^{-10}$
74	$8{,}844\times10^{-10}$	$8{,}276\times10^{-10}$	$6{,}572\times10^{-10}$
88	$1{,}014\times10^{-9}$	$8{,}898\times10^{-10}$	$7{,}491\times10^{-10}$

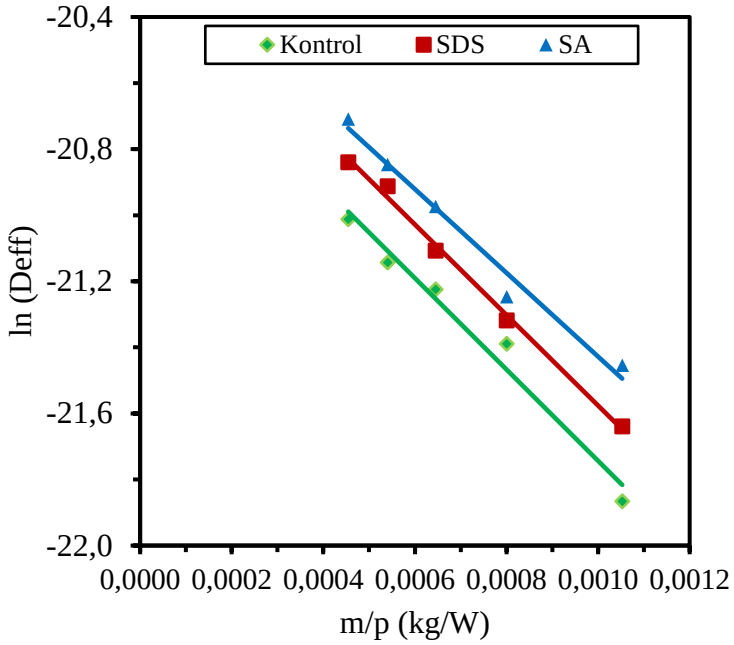
Sonuç olarak Tablo 6.14'e bakıldığında, infrared güç seviyesindeki değişim ve ön işlem uygulaması efektif difüzyon katsayısını etkilemektedir. SA ve SDS kodlu armut dilimlerinin D_{eff} değerleri, Kontrol kodlu örneklere göre daha yüksektir. Bununla birlikte, infrared güç seviyesinin artması ile birlikte D_{eff} değerleri de artmaktadır.



Şekil 6.30 Farklı infrared güç seviyelerinde kurutulan armut dilimlerinin efektif difüzyon katsayıları

6.2.5 Aktivasyon enerjilerinin hesaplanması

İnfrared kurutucuda kurutulan armut dilimlerinin aktivasyon enerji (E_a) değerleri (5.12) denklemi yardımıyla hesaplanmış ve bu değerlerden yararlanılarak Şekil 6.31'deki m/p'e karşılık ln (D_{eff}) eğrileri çizilmiştir. Bu eğrilerin eğiminden E_a değeri hesaplanmıştır. D_0 ise eğrilerin kesim noktasından bulunmuştur.



Şekil 6.31 Efektif difüzyon katsayısı üzerindeki infrared güç seviyelerinin etkisi

Aşağıda verilen denklemlerde infrared güç seviyesinin SA, SDS ve Kontrol kodlu örneklere etkisi gösterilmiştir:

SA:

$$D_{eff} = 1{,}754 \times 10^{-9} exp\left(-\frac{1267{,}3m}{P}\right) \quad (R^2 = 0{,}9790) \qquad (6.4)$$

SDS:

$$D_{eff} = 1{,}677 \times 10^{-9} exp\left(-\frac{1370{,}3m}{P}\right) \quad (R^2 = 0{,}9955) \qquad (6.5)$$

Kontrol:

$$D_{eff} = 1{,}436 \times 10^{-9} exp\left(-\frac{1382{,}5m}{P}\right) \quad (R^2 = 0{,}9748) \qquad (6.6)$$

Denklem (6.4), (6.5) ve (6.6)'den yararlanılarak SA, SDS ve Kontrol kodlu dilimler için E_a değerleri hesaplanmıştır. Bu değerler, SA, SDS ve Kontrol kodlu dilimler için sırası ile 1,267, 1,370 ve 1,382 kW/kg olarak bulunmuştur.

Hesaplanan E_a değerleri incelendiğinde en düşük E_a değeri SA kodlu dilimlerde görülmüştür. Bu örneklerde kurutma işlemi daha hızlı gerçekleşmekte ve böylece aktivasyon enerjisi değeri düşük kalmaktadır.

6.2.6 Renk analizlerinin incelenmesi

Farklı infrared güç seviyelerinde kurutulan armut dilimlerinin renk parametreleri Şekil 5.10'da gösterilen renk cihazı ile ölçülmüştür. Bu değerler ise Tablo 6.15'te verilmiştir.

Tablo 6.15 Taze ve kurutulmuş armut dilimlerine ait renk parametreleri

Grup	Güç seviyesi	L	a	b	C	ΔE
Taze	-	70,31	-4,80	10,45	11,50	-
SA	38 W	63,95	4,97	23,38	23,90	17,40
	50 W	63,57	5,17	22,97	23,54	17,36
	62 W	62,72	5,55	22,05	22,73	17,30
	74 W	62,05	5,73	21,05	21,81	17,07
	88 W	61,55	6,08	20,13	21,02	16,99
SDS	38 W	83,14	-6,42	24,25	25,08	18,91
	50 W	81,53	-6,17	22,37	23,20	16,42
	62 W	80,69	-5,35	21,78	22,42	15,37
	74 W	78,50	-4,14	21,5	21,89	13,77
	88 W	76,53	-3,68	19,44	19,78	10,98
Kontrol	38 W	63,61	5,26	23,37	23,95	17,69
	50 W	63,06	5,43	22,02	22,67	17,06
	62 W	62,01	5,49	21,12	21,82	16,98
	74 W	61,55	5,83	20,28	21,10	16,92
	88 W	60,85	6,02	19,32	20,23	16,88

Tablo 6.15 incelendiğinde, güç seviyesinin artmasıyla birlikte SA, SDS ve Kontrol kodlu armut dilimlerinin L değerlerinde azalma meydana gelmektedir. Ön işlemlerin etkisi incelendiğinde ise SDS kodlu örneklerin en yüksek L değerine sahip olduğu görülmüştür. Diğer bir yandan, güç seviyesinin artmasıyla SA, SDS ve Kontrol kodlu armut dilimlerinin a değerlerinde artış görülmüştür.

Ön işlemlerin etkisi incelendiğinde ise SDS kodlu örneklerin en düşük a değerine sahip olduğu görülmüştür. Son olarak, güç seviyesinin artmasıyla SA, SDS ve Kontrol kodlu örneklerin b değerlerinde azalma meydana gelmiştir. Ön işlemlerin etkisi incelendiğinde ise en yüksek b değerine 38 W IR güç seviyesindeki SDS kodlu armut dilimlerinin sahip olduğu görülmüştür.

Tüm bu değerler ışığında, güç seviyesi arttıkça SA, SDS ve Kontrol kodlu tüm armut dilimlerinin C değerleri azalma göstermiştir. Ön işlemlerin etkisi incelendiğinde ise, en düşük C değeri 88 W IR güç seviyesindeki SDS kodlu dilimlerde görülmüştür. Toplam renk değişimi (ΔE) değeri incelendiğinde ise, güç seviyesinin artmasıyla SA, SDS ve Kontrol kodlu tüm dilimlerde azalma görülmüştür. Ön işlemlerin etkisi incelendiğinde ise, en düşük ΔE değeri 88 W IR güç seviyesindeki SDS kodlu dilimlerde görülmüştür. Sonuç olarak uygulanan SDS ön işlemi Deveci armudunun renk değişimindeki kayıpları en aza indirgemektedir.

6.3 Kombine Kurutucuda (İnfrared+Kabin) Yapılan Çalışmalar

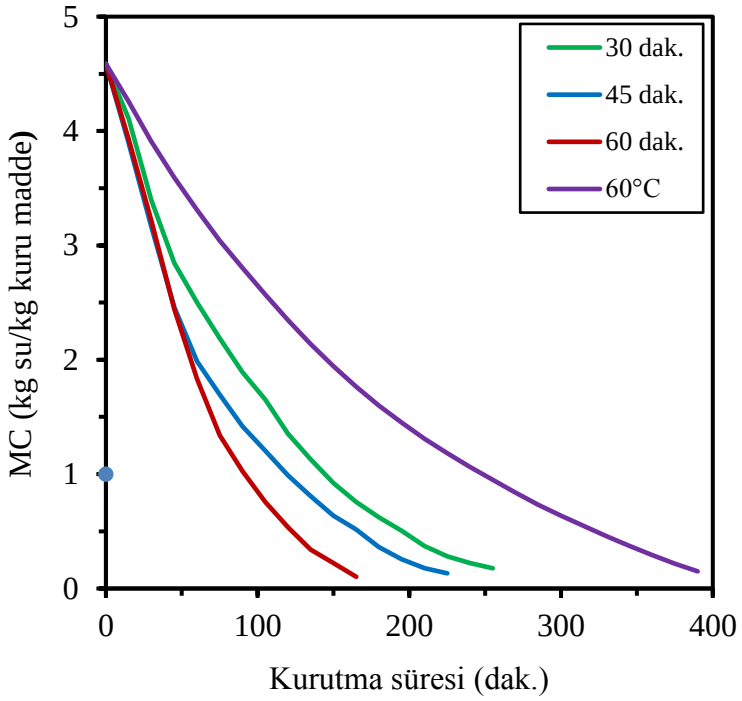
Son zamanlarda, IR-sıcak hava, IR-vakum, IR-mikrodalga vb. birçok IR destekli kurutma yöntemi, hızlı kuruma özelliğinden dolayı gıdaların kurutulmasında kullanılmaktadır. IR kurutmanın diğer kurutma yöntemleri ile kombinasyonu hem kurutma hızını arttırmakta hem de gıda kalitesini korumaktadır (Delfiya vd., 2021).

Kombine IR ve sıcak hava kurutma yönteminde, IR radyasyonu yüzeye doğru nem hareketini hızlandırır, yüzey üzerindeki sıcak hava akışı ise konveksiyon yolu ile nemi giderir ve ayrıca yüzeyden kütle transferine yardımcı olur. Böylelikle kombine yöntem ile, gıda maddeleri daha hızlı ısınır, daha kısa kuruma süresi sağlanır ve yüksek kaliteli ürünler elde edilir (Delfiya vd., 2021).

Kombine kurutma (infrared + kabin) yönteminin kurutma süresine etkisini incelemek için ön işlemsiz armut dilimleri 62 W infrared güç seviyesi ile infrared kurutucuda 30, 45, 60 dakika kurutulduktan sonra kabin kurutucuda 60°C hava sıcaklığı ile %15 nem içeriğine kadar kurutulmuştur.

Kombine kurutma ile kurutulan armut dilimlerinin kurutma süreleriyle nem içeriği arasındaki değişimi gösteren grafiği Şekil 6.32'de yer almaktadır.

Tablo 6.1'de görüldüğü gibi kabin kurutucuda 60°C'de ön işlemsiz kurutulan armut dilimlerin kuruma süresi 390 dakikadır. Şekil 6.32'deki eğriler incelendiğinde ise, %15 nem içeriğine ulaşmak için kabin kurutucu öncesi kullanılan infrared kurutucunun kurutma süresini azalttığı görülmektedir. İnfrared kurutucuda geçen kurutma süresinin artması ile toplam kurutma süresinin azaldığı görülmektedir.



Şekil 6.32 Kombine kurutma yöntemi ile kurutulan armut dilimlerinin kurutma süresi ile nem içeriğinin değişimi

Kabin kurutucuda 60°C sıcaklıkta kurutulan armut dilimlerinin kurutma süresi ile, infrared kurutucuda 30, 45 ve 60 dakika kurutulan ve ardından kabin kurutucuda kurutulan örneklerin toplam kuruma süreleri karşılaştırılırsa kurutma sürelerinde sırasıyla %34,62, %42,31 ve %57,70 oranında bir azalma meydana gelmiştir. En etkili kombine yöntemin 62 W IR (60 dak.) + 60°C kabin kurutucu olduğu tespit edilmiştir.

Sonuç olarak, kombine kurutma yöntemi kabin kurutucuda gerçekleşen kurutma işleminden daha kısa kurutma süresi sağlamıştır. Böylece daha etkili bir yöntem olduğu görülmüştür. Benzer sonuçlar literatürdeki yer alan yapılan farklı çalışmalarda da beyan edilmiştir (Nuthong vd., 2011; Chayjan vd., 2014; Adak vd., 2017).

7
SONUÇ

Bu çalışmada, üç farklı kurutma sistemi ile gerçekleştirilen kurutma işlemlerinin armut dilimlerinin kurutma davranışları üzerindeki etkileri incelenmiştir. Armut dilimlerinin kurutma sistemlerinde kurutulması sonucunda kurutma süresi, kurutma hızı, ön işlem çözeltilerinin etkileri tespit edilmiş, aktivasyon enerjisi ve efektif difüzyon katsayısı değerleri hesaplanmıştır. Bununla birlikte deneysel verilerden yararlanılarak matematiksel modelleme çalışmaları yapılmıştır. Ayrıca kurutma koşullarının kurutulan örneklerinin renk parametrelerine etkisi de incelenmiştir. Elde edilen sonuçlar aşağıda verilmiştir:

- Kabin ve infrared kurutucuda gerçekleştirilen kurutma işlemlerinde armut dilimlerinin kuruma süreleri analiz edilmiştir. Kurutma sıcaklığı ve IR güç seviyesinin artışı ile birlikte kurutma hızının arttığı böylelikle kuruma süresinin azaldığı gözlenmiştir. Diğer bir yandan, sitrik asit ve sodyum disülfit çözeltileriyle uygulanan ön işlemler, kuruma sürelerini ön işlem görmemiş örneklerden daha kısa hale getirmiştir. Kurutma sıcaklığı ve IR güç seviyesindeki artış ve ön işlem uygulamasının kurutma süresini azalttığı sonucuna varılmıştır.
- Her iki kurutma yönteminde yapılan deneyler sonucunda kurutma sıcaklığının ve IR güç seviyesinin artmasıyla birlikte SA, SDS ve Kontrol kodlu dilimlerin D_{eff} değerleri artmıştır. En yüksek D_{eff} değerleri ise SA kodlu dilimlerde görülmüştür. Ayrıca aktivasyon enerjisi değerleri hesaplanmış ve bu değerler kabin kurutucu için 19,98 ile 26,20 kJ/mol ve infrared kurutucu için 1,267 ile 1,382 kW/kg arasında değişmiştir.
- Her iki kurutma yönteminin birlikte kullanılması yani kombine sisteminin etkinliğini belirlemek için armut dilimleri kurutulmuştur. İnfrared kurutucuda 30, 45 ve 60 dakika kurutulan örneklerin kurutma işlemlerine daha sonra 60°C'deki kabin kurutucu ile devam edilmiştir. Örneklerin toplam kuruma süreleri 60°C'de kabin kurutucuda kurutulan örneklerle karşılaştırıldığında sırasıyla %34,62, %42,31 ve %57,70 oranında azalmıştır. Ayrıca infrared kurutucuda geçen kurutma süresinin artmasıyla örneklerin toplam kuruma

süreleri azalmıştır. Sonuç olarak, kombine kurutma yöntemi, sıcak hava ile gerçekleşen kurutma işlemine göre daha kısa bir kurutma süresi sağlamış ve bu nedenle daha etkili bir yöntem olarak gözlemlenmiştir.

- Farklı sıcaklık ve infrared güç seviyelerinde kurutulan armut dilimlerinin deneysel sonuçlarına Logaritmik, Aghbashlo vd., Lewis, Henderson & Pabis ve Vega-Galvez I matematiksel modelleri uygulanarak istatiksel analiz yapılmıştır. Beş matematiksel model için R^2, χ^2 ve RMSE değerleri hesaplanmıştır. Bu verilerden yararlanarak Aghbashlo vd. ve Logaritmik kurutma modellerinin kuruma davranışlarını diğer modellerden daha iyi açıkladıkları belirlenmiştir.
- Son olarak kurutma sıcaklığının ve IR güç seviyesinin artmasıyla SA, SDS ve Kontrol kodlu dilimlerin a değerlerinde artış, b ve L değerlerinde azalma meydana gelmiştir. Tüm bu değerler ışığında, kurutma sıcaklığı ve IR güç seviyesi arttıkça SA, SDS ve Kontrol kodlu dilimlerin C değerleri azalış göstermiştir. En düşük C değeri 88 W IR güç seviyesindeki SDS kodlu dilimlerde görülmüştür. Armut dilimlerinde meydana gelen toplam renk değişimi (ΔE) değeri incelendiğinde ise, sıcaklığın ve IR güç seviyesinin artmasıyla SA, SDS ve Kontrol kodlu dilimlerde azalma meydana gelmiştir. En düşük ΔE değeri 88 W IR güç seviyesindeki SDS kodlu dilimlerde görülmüştür. Sonuç olarak sodyum disülfit çözeltisi ile uygulanan ön işlem Deveci armudunun renk değişimindeki kayıpları en aza indirgemektedir.

KAYNAKÇA

Abano E. E. ve Sam-Amoah L. K. (2011). Effect of different pretreatments on drying characteristics of banana slices. *ARPN Journal of Engineering and Applied Sciences*, 6(3), 121-129.

Adak, N., Heybeli, N. ve Ertekin, C. (2017). Infrared drying of strawberry. *Food Chemistry*, 219, 109–116.

Adiletta, G., Russo, P., Senadeera, W. ve Di Matteo, M., (2016). Drying characteristics and quality of grape under physical pretreatment. *Journal of Food Engineering*, 172, 9–18.

Ahmed, N., Singh, J., Chauhan, H., Gupta, P., Anjum, A., ve Kour, H. (2013). Different drying methods: Their applications and recent advances. *International Journal of Food Nutrition and Safety*, 4(1), 34–42.

Akanbi, C. T., Adeyemi, R. S. ve Ojo, A. (2006). Drying characteristics and sorption isotherm of tomato slices. *Journal of Food Engineering*, 73(2), 157–163.

Aktaş, M., İlbaş, M., Yalçın, A. ve Şahin, M. (2013). Kızılötesi ışınımlı bir kurutucuda kuruma davranışlarının deneysel incelenmesi. *Journal of the Faculty of Engineering and Architecture of Gazi University*, 28(4), 767–775.

Antal, T., Tarek-Tilistyák, J., Cziáky, Z., ve Sinka, L. (2017). Comparison of drying and quality characteristics of pear (Pyrus Communis L.) using mid-infrared-freeze drying and single stage of freeze drying. *International Journal of Food Engineering*, 13(4), 20160294.

Arısoy, İ. (2010). *Vişne ve kirazın kuruması sırasında büzülmenin incelenmesi*. Yüksek Lisans Tezi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Afyon Kocatepe Üniversitesi, Afyonkarahisar.

Bayhan, H. A. (2011). *Kabin tipi bir kurutucuda kurutma sürecini etkileyen parametrelerin deneysel olarak incelenmesi*. Yüksek Lisans Tezi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Süleyman Demirel Üniversitesi, Isparta.

Berk, Z. (2009). *Food Process Engineering and Technology*. In Food Process Engineering and Technology, 22, 459-521.

Chayjan, R. A., Bahrabad, S. M. T. ve Rahimi Sardari, F. (2014). Modeling infrared-convective drying of pistachio nuts under fixed and fluidized bed conditions. *Journal of Food Processing and Preservation*, 38(3), 1224–1233.

Chayjan, R. A., Kaveh, M. ve Khayati, S. (2014). Modeling some drying characteristics of sour cherry (prunus cerasus l.) under infrared radiation using mathematical models and artificial neural networks. *Agricultural Engineering International: CIGR Journal*, 16(1), 265–279.

Chua, K. J. ve Chou, S. K. (2003). Low-cost drying methods for developing countries. *In Trends in Food Science and Technology*, 14(12), 519–528.

Çelen, S., Akyol, U. ve Kuş, S. (2017). Moisture and color change of the pear (Deveci) dried in the conveyor belt microwave dryer. *International Journal of Current Research*, 9(2), 46632-46635.

Çakır, M. T. (2015). Güneş enerjisinden yararlanarak tarım ürünlerinin kurutulması. *Gazi Journal of Engineering Sciences*, *1*(1), 41–56.

De Araujo, M. E. V., Barbosa, E. G., Lopes, R. P. and Corrêa, P. C. (2021). Infrared drying of pear slices: Drying kinetics, energy, and exergy analysis. *Journal of Food Process Engineering*, 44(12), e13915.

Delfiya, D. S. A., Prashob, K., Murali, S., Alfiya, P. V., Samuel, M. P. and Pandiselvam, R. (2021). Drying kinetics of food materials in infrared radiation drying: A review. *Journal of Food Process Engineering*, 1-19.

Demiray, E. (2009). *Kurutma işleminde domatesin likopen, β-karoten, askorbik asit ve renk değişim kinetiğinin belirlenmesi*. Yüksek Lisans Tezi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Pamukkale Üniversitesi, Pamukkale.

Denge, A. (2011). *Ayvanın kuruması sırasında yapısında meydana gelen fiziksel değişimlerin incelenmesi*. Yüksek Lisans Tezi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Afyon Kocatepe Üniversitesi, Afyonkarahisar.

Doymaz, İ. (2004). Convective air drying characteristics of thin-layer carrots. *Journal of Food Engineering*, 61, 359-364.

Doymaz, İ. (2013a). Experimental study on drying of pear slices in a convective dryer. *International Journal of Food Science and Technology*, 19(2013), 44-53.

Doymaz, İ. (2013b). Determination of infrared drying characteristics and modelling of drying behaviour of carrot pomace. *Journal of Agricultural Sciences*, 61, 359-364.

Doymaz, İ. ve Aktaş, C. (2018). Patlıcan dilimlerinin kurutma ve rehidrasyon karakteristiklerinin belirlenmesi. *Gazi Üniversitesi Mühendislik Mimarlık Fakültesi Dergisi*, 33(3), 833-841.

Doymaz, İ. ve İsmail, O. (2012) Experimental characterization and modelling of drying of pear slices. *Food Science Biotechnology*, 21(5), 1377-1381.

Elangovan, E. ve Natarajan, S. K. (2021). Effect of pretreatments on drying of red dacca in a single slope solar dryer. *Journal of Food Process Engineering*, 44(10), 1-15.

FAO (Birleşmiş Milletler Gıda ve Tarım Örgütü) (2020). *FAO istatistikleri*. http://www.fao.org/faostat/en/?#data/QC

Gonzalez-Martinez, C., Chafer, M., Xue, K., ve Chiralt, A. (2006). Effect of the osmotic pre-treatment on the convective air drying kinetics of pear Var. Blanquilla. *International Journal of Food Properties*, 9(3), 541–549.

Güler, H. Ö., Tuncer, A. D., Şirin, C. Ve Usta, H. (2019). Effect of forced convection drying on the thin layer characteristics of 'Deveci' pear (Pyrus Communis L.), *3rd International Conference on Agriculture, Food, Veterinary and Pharmacy Sciences*, 94-101.

Güngör, H. G. (2019). *Farklı kurutma koşullarının armutların kalitesine etkisi*. Yüksek Lisans Tezi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Afyon Kocatepe Üniversitesi, Afyonkarahisar.

İzli, G., (2018). Farklı kurutma uygulamalarının armut meyvesinin bazı kalite özellikleri üzerine etkileri. *Türk Tarım-Gıda Bilim ve Teknoloji Dergisi*, 6(4): 479-485.

Jayaraman, K. S. ve Das Gupta, D. K. (2006). *Drying of fruits and vegetables*. In A. S. Mujumdar (Ed.), Handbook of Industrial Drying, 3, 606–631.

Jiang, G. H., Nam, S. H., ve Eun, J. B. (2017). Effects of peeling, drying temperature, and sodium metabisulfite treatment on physicochemical characteristics and antioxidant activities of Asian pear powders. *Journal of Food Processing and Preservation*, 42(2), e13526.

Karaaslan, S. (2012). Meyve ve sebzelerin mikrodalga destekli kurutma sistemleri ile kurutulması. *SDÜ Ziraat Fakültesi Dergisi*, 7(2), 123–129.

Karacabey, E., ve Buzrul, S. (2017). Modeling and predicting the drying kinetics of apple and pear: Application of the Weibull model. *Chemical Engineering Communications*, 204(5), 573–579.

Kaya, Z. G. (2019). *Ultrases ön işlemiyle sıcak hava ve mikrodalga sistemlerinde kurutulan elma dilimlerinin kalite özelliklerinin belirlenmesi.* Yüksek Lisans Tezi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Süleyman Demirel Üniversitesi, Isparta.

Kayran, S. and Doymaz, İ. (2021). Drying of cataloglu apricots: The effect of sodium metabisulfite solution on drying kinetics, diffusion coefficient, and color parameters. *International Journal of Fruit Science*, 21(1), 270–283.

Kingsly, R.P., Goyal, R.K., Manikantan, M.R. and Ilyas, S.M. (2007). Effects of pretreatments and drying air temperature on drying behaviour of peach slice. *International Journal of Food Science and Technology*, 42, 65-69.

Kocayiğit, F. (2010). *Bazı sebzelerin kurutma karakteristiklerinin incelenmesi*. Yüksek Lisans Tezi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Yıldız Teknik Üniversitesi, İstanbul.

Lahsasni, S., Kouhila, M., Mahrouz, M., ve Jaouhari, J. T. (2004). Drying kinetics of prickly pear fruit (Opuntia ficus indica). *Journal of Food Engineering*, 61(2), 173–179.

Lech, K., Siudek, M., Michalska, A., ve Figiel, A. (2016). Drying kinetics and textural properties of pears dehydrated by combined method with application of vacuum-microwaves. *Zeszyty Problemowe Postępów Nauk Rolniczych*, 586, 11–18.

Lingayat, A. B., Chandramohan, V. P., Raju, V. R. K., ve Meda, V. (2020). A Review on ındirect type solar dryers for agricultural crops–Dryer setup, its performance, energy storage and important highlights. *Applied Energy*, 258, 114005.

Liu, Y., Zeng, Y., Wang, Q., Sun, C., ve Xi, H. (2019). Drying characteristics, microstructure, glass transition temperature, and quality of ultrasound-strengthened hot air drying on pear slices. *Journal of Food Processing and Preservation*, 43, e13899.

Lutovska, M., Mitrevski, V., Pavkov, I., Mijakovski, V., ve Radojcin, M. (2016). Mathematical modeling of thin layer drying of pear. *Chemical Industry and Chemical Engineering Quarterly*, 22, 191–199.

Maftoonazad, N., Dehghani, M. R. ve Ramaswamy, H. S. (2022). Hybrid microwave-hot air tunnel drying of onion slices: Drying kinetics, energy efficiency, product rehydration, color, and flavor characteristics. *Drying Technology*, 40(5), 966–986.

Ni, J., Ding, C., Zhang, Y., ve Song, Z. (2020). Impact of different pretreatment methods on drying characteristics and microstructure of goji berry under electrohydrodynamic (EHD) drying process. *Innovative Food Science and Emerging Technologies*, 61, 102318.

Nuthong, P., Achariyaviriya, A., Namsanguan, K., ve Achariyaviriya, S. (2011). Kinetics and modeling of whole longan with combined infrared and hot air. *Journal of Food Engineering*, 102, 233–239.

Önal, B., Adiletta, G., di Matteo, M., Russo, P., Ramos, I. N., ve Silva, C. L. M. (2021). Microwave and ultrasound pre-treatments for drying of the "Rocha" pear: Impact on phytochemical parameters, color changes and drying kinetics. *Foods*, 10, 853.

Özaydın, A. G. ve Özçelik, S. (2014). Ankara armudunun bazı fizikokimyasal özellikleri üzerine fırında kurutma işleminin etkisi. *Akademik Gıda*, 12(4), 17-26.

Özbilir, V. (2006). *Konya Bölgesi'nde yetiştirilen havucun kontrollü şartlar altında kurutma karakteristiklerinin belirlenmesi*. Yüksek Lisans Tezi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Selçuk Üniversitesi, Konya.

Öztekin, Y. B. ve Sacilik, K. (2020). Drying characteristics of 'Ankara' pear slices. *Italian Journal of Food Science*, 32(1), 251–264.

Park, K. J., Bin, A., ve Brod, F. P. R. (2002). Drying of pear d'Anjou with and without osmotic dehydration. *Journal of Food Engineering*, 56, 97–103.

Polat, A., ve Izli, N. (2022). Drying characteristics and quality evaluation of 'Ankara' pear dried by electrohydrodynamic-hot air (EHD) method. *Food Control*, 134(108774).

Polatçı, H., Taşova, M., ve Saraçoğlu, O. (2020). Armut (Pirus communis L.) posasının bazı kalite değerleri açısından uygun kurutma sıcaklığının belirlenmesi. *Academic Platform Journal of Engineering and Science*, 8(3), 540–546.

Rahman, M. S. (2007). *Handbook of food preservation*. In Journal of Chemical Information and Modeling, 18:403-433.

Riadh, M. H., Ahmad, S. A. B., Marhaban, M. H., ve Soh, A. C. (2014). Infrared heating in food drying: An overview. *Drying Technology*, *33*(3), 322–335.

Sanjuán, N., Lozano, M., García-Pascual, P. ve Mulet, A. (2003). Dehydration kinetics of red pepper (Capsicum annuum L var Jaranda). *Journal of the Science of Food and Agriculture*, 83(7), 697–701.

Sharma, A., Chen, C. R., ve Vu Lan, N. (2009). Solar-energy drying systems: A review. *Renewable and Sustainable Energy Reviews, 13*, 1185–1210.

Sokhansanj, S., ve Jayas, D. S. (2006). Drying of foodstuffs. *In A. S. Mujumdar (Ed.), Handbook of Industrial Drying, 21*, 522-545.

Šumić, Z., Tepić, A., Vidović, S., Jokić, S. ve Malbaša, R. (2013). Optimization of frozen sour cherries vacuum drying process. *Food Chemistry,* 136, 55–63.

Tarhan, S., Ergüneş, G., Güneş, M. ve Mutlu, A. (2009). Farklı kurutma koşullarının amasya elmasının kuruma süresi ve kalitesi üzerine etkileri. *Tarım Bilimleri Araştırma Dergisi*, 2(2), 1-6.

Tarımsal Ekonomi ve Politika Geliştirme Enstitüsü (TEPGE) (2021). *Tarım Ürünleri Piyasa Raporu*. Erişim tarihi: 10.02.2022 https://arastirma.tarimorman.gov.tr/tepge/Menu/27/Tarim-Urunleri-Piyasalari

Ulusal Gıda Kompozisyon Veri Tabanı (Türkomp) (2022). Erişim tarihi: 17.02.2022 http://www.turkomp.gov.tr/food-armut-kislik-deveci-cesidi-357

Uysal, Ş. (2019). *Vakumlu emdirim işleminin armudun kalite özellikleri ve kuruma davranışı üzerine etkisinin incelenmesi.* Yüksek Lisans Tezi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Ege Üniversitesi, İzmir.

Vengaiah, P.C. ve Pandey, J.P. (2007). Dehydration kinetics of sweet pepper (Capsicum annum L.). *Journal of Food Engineering*, 81, 282-286.

Wojdyło, A., Figiel, A., Lech, K., Nowicka, P. ve Oszmiański, J. (2014). Effect of convective and vacuum-microwave drying on the bioactive compounds, color, and antioxidant capacity of sour cherries. *Food and Bioprocess Technology*, 7(3), 829–841.

Yıldız, D. (2019). *Balkabağı dilimlerinin farklı kurutma yöntemleri ile kurutulmasında ön işlem olarak ultrases destekli ozmotik kurutma kullanımı*. Yüksek Lisans Tezi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Ordu Üniversitesi, Ordu.

Yıldız, Z. (2021). Termal ön işlemin güneş enerjili raflı bir kurutucuda muz cipsi üretimine etkisi. *Adnan Menderes Üniversitesi Ziraat Fakültesi Dergisi*, 18 (1), 1-6.

[1] Gençcelep, H. (2011). *Temel işlemler*. Erişim tarihi: 14.03.2022 https://avys.omu.edu.tr/storage/app/public/hgenccelep/135861/TEMEL%20%C4%B0%C5%9ELEMLER-%2011.%20Hafta.pdf

[2] *Deveci armudu*. Erişim tarihi: 13.02.2022 https://www.onurmarket.com/-m-armut-deveci-kg--7975

[3] Tek Fidan. *Deveci armut fidanı*. Erişim tarihi: 13.02.2022 https://www.tekfidan.com/product-page/deveci-armut-fidan%C4%B1

TEZDEN ÜRETİLMİŞ YAYINLAR

Konferans Bildirisi

C. Demirtas ve İ. Doymaz, "Evaluation of Drying Process on Pear Drying Kinetics and Color Parameters", Cukurova 10th International Scientific Researches Conference April 2-4, Adana, 2023.