T.C.

YILDIZ TEKNİK ÜNİVERSİTESİ

FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

FARKLI KURUTMA YÖNTEMLERİNİN AYVA MEYVESİNİN KURUTMA KİNETİĞİ, FENOLİK, ANTİOKSİDAN VE RENK DEĞERLERİ ÜZERİNE ETKİSİ

Özge ŞEKERCİ

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

FARKLI KURUTMA YÖNTEMLERİNİN AYVA MEYVESİNİN KURUTMA KİNETİĞİ, FENOLİK, ANTİOKSİDAN VE RENK DEĞERLERİ ÜZERİNE ETKİSİ

Özge ŞEKERCİ 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 - Cerrahpaşa _____

Danışmanım Prof. Dr. İbrahim DOYMAZ sorumluluğunda tarafımca hazırlanan "Farklı kurutma yöntemlerinin ayva meyvesinin kurutma kinetiği, fenolik, antioksidan ve renk değerleri üzerine etkisi" 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.

Özge ŞEKERCİ

İmza

TEŞEKKÜR

Yüksek lisans tez çalışmamın her aşamasında yanımda olan, değerli bilgi birikimleriyle desteğini hiçbir zaman esirgemeyen ve bu çalışma için sabrıyla büyük emek harcayan danışman hocam Sayın Prof. Dr. İbrahim DOYMAZ'a katkılarından dolayı teşekkür ederim.

Hayatım boyunca maddi ve manevi destekleriyle her zaman arkamda olan ve tüm kararlarımı destekleyen aileme sonsuz sevgi ve teşekkürlerimi sunuyorum.

Son olarak hayatımın her aşamasında olduğu gibi bu zorlu süreçte de her zaman beni destekleyen ve yanımda olan eşim Berkay ŞEKERCİ'ye sevgi ve teşekkürlerimi sunuyorum.

Özge ŞEKERCİ

İÇİNDEKİLER

SİMGE LİSTESİ ..... **vi**
KISALTMA LİSTESİ ..... **viii**
ŞEKİL LİSTESİ ..... **x**
TABLO LİSTESİ ..... **xiii**
ÖZET ..... **xv**
ABSTRACT ..... **xvii**
1 GİRİŞ **1**
1.1 Literatür Çalışması 1
1.2 Tezin Amacı 2
1.3 Hipotez 2
2 KURUTMA **4**
2.1 Kurutma 4
2.2 Kurutmaya Etki Eden Faktörler 7
2.3 Kurutmada Meydana Gelebilecek Değişimler 9
2.4 Kurutma Metotları 10
2.5 Kurutucular 14
3 AYVA **19**
4 AYVANIN KURUTULMASI İLE İLGİLİ YAPILAN BAZI ÇALIŞMALAR **23**
5 MATERYAL VE YÖNTEM **33**
5.1 Materyal 33
5.2 Deneylerde Kullanılan Cihazlar 33
5.3 Yöntemler 38
6 DENEYSEL BULGULAR ve TARTIŞMA **46**
6.1 Kabin Tipi Kurutucuda Kurutma 46
6.2 İnfrared Kurutucuda Kurutma 68
6.3 Kombine Kurutma 90
7 SONUÇ **92**
KAYNAKÇA **95**
TEZDEN ÜRETİLMİŞ YAYINLAR **102**

SİMGE LİSTESİ

a	Kırmızılık
a, b, c, k, n	Kurutma modellerindeki sabitler ve katsayılar
a_w	Su aktivitesi
b	Sarılık
D_0	Sonsuz sıcaklıkta difüzyon katsayısına eşdeğer bir sabit (m^2/s)
D_{eff}	Efektif difüzyon katsayısı (m^2/s)
E_A	Aktivasyon enerjisi (kJ/mol)
K	Kelvin
L	Örnek diliminin yarı kalınlığı, parlaklık
ln	Doğal logaritma
m	Örnek ağırlığı (kg)
M	Nem içeriği (kg su/kg kuru madde)
M_0	Kurutma öncesi örnekteki su miktarı (kg su/kg kuru madde)
m_0	Örnek kabının ağırlığı (g)
m_1	Örnek kabının ve örneğin kurutma işlemi öncesindeki toplam ağırlıkları (g)
m_2	Örnek kabının ve örneğin kurutma işlemi sonrasındaki toplam ağırlıkları (g)
m_d	Kuru madde miktarı (kg)
M_e	Kurutma sırasında havanın denge su miktarı (kg su/kg kuru madde)
mol	Moleküler ağırlık birimi
MR_{exp}	Deneysel nem oranı
MR_{pre}	Tahmin edilen nem oranı
M_t	Örneğin t anındaki nem içeriği (kg su/kg kuru madde)
$M_{t+\Delta t}$	Örneğin t+Δt anındaki nem içeriği (kg su/kg kuru madde)
m_w	Su miktarı (kg)
n	Denklemdeki katsayı sayısı
N	Deneysel veri sayısı
p	Vurgulama seviyesi
P_0	Aynı sıcaklıktaki saf suyun buhar basıncı

P_A	Gıdadaki suyun buhar basıncı
R	İdeal gaz sabiti
r	Pearson korelasyon katsayısı
R^2	Regresyon katsayıları
RMSE	Tahminin standart hatası
T	Kurutma sıcaklığı (°C)
t	Zaman (dakika)
W_1	Kuru madde miktarı
W_2	Ürün miktarı
Δt	Zaman (dakika)
χ^2	Khi-kare
°C	Santigrat derece

KISALTMA LİSTESİ

AA	Antioksidan aktivitesi
cm	Santimetre
dak.	Dakika
DPPH	2,2-difenil-1-pikrilhidrazil
FAO	Food and Agriculture Organization (Gıda ve Tarım Kuruluşu)
g	Gram
GAE	Gallik asit eşdeğeri
HMF	Hidroksimetilfurfural
IR	İnfrared (kızılötesi)
IRK	İnfrared kurutma
KH	Kurutma hızı (kg su/kg kuru madde×dakika)
kJ	Kilojoule
KK	Kabin tipi kurutma
KM	Kuru madde miktarı
kPa	Kilopaskal
kW	Kilowatt
LDPE	Düşük yoğunluklu polietilen
m	Metre
mbar	Milibar
mg	Miligram
ml	Mililitre
mm	Milimetre
MR	Nem oranı
nm	Nanometre
Pa	Paskal

pH	Potansiyel hidrojen
POTAS	Potasyum karbonat
RK	Rehidrasyon kapasitesi (g su/g kuru madde)
rpm	Revolutions per minute (Dakikadaki devir sayısı)
RSM	Response surface methodology (Yanıt yüzey yöntemi)
s	Saniye
SA	Sitrik asit
SEM	Scanning electron microscope (Taramalı elektron mikroskobu)
SMBS	Sodyum metabisülfit
TE	Trolox eşdeğeri
TFM	Toplam fenolik madde
TÜİK	Türkiye İstatistik Kurumu
USDA	Amerika Birleşik Devletleri (ABD) Tarım Dairesi
UV/VIS	Ultraviolet/visible spectrophotometry (Ultraviyole/görünür spektrofotometre)
vb	Ve benzeri
vd	Ve diğerleri
W	Watt
µg	Mikrogram
µm	Mikrometre

ŞEKİL LİSTESİ

Şekil 2.1 Gıdalarda kurutma prosesi şematik gösterimi....**4**
Şekil 2.2 Su aktivitesine göre gıdalarda meydana gelen bozulmalar....**5**
Şekil 2.3 Kurutma debisi eğrisi....**6**
Şekil 2.4 Kuruma hızı-nem içeriği eğrisi....**7**
Şekil 2.5 Güneşte kurutulan üzümler....**11**
Şekil 2.6 İnfrared kurutma sistemi....**12**
Şekil 2.7 Mikrodalga destekli hava kurutma sistemi....**12**
Şekil 2.8 Dondurarak kurutma prensibi....**13**
Şekil 2.9 Ozmotik kurutma....**14**
Şekil 2.10 Kabin tipi kurutucu....**15**
Şekil 2.11 Paralel ve ters akışlı kurutucu....**16**
Şekil 2.12 Akışkan yatağın şematik gösterimi....**17**
Şekil 2.13 Sprey kurutucu ünitesinin şeması....**17**
Şekil 2.14 Liyofilizatör....**18**
Şekil 3.1 Taze ayva....**18**
Şekil 5.1 Deneylerde kullanılan ayva meyvesi....**31**
Şekil 5.2 Kabin tipi kurutucu....**34**
Şekil 5.3 İnfrared kurutucu....**34**
Şekil 5.4 Terazi....**35**
Şekil 5.5 Etüv....**35**
Şekil 5.6 Desikatör....**36**
Şekil 5.7 Hassas terazi....**36**
Şekil 5.8 Düşük yoğunluklu polietilen (LDPE) kapatma makinesi....**37**
Şekil 5.9 Renk ölçüm cihazı....**37**
Şekil 5.10 Kabin tipi kurutucuda kurutulan ayva dilimleri....**39**
Şekil 5.11 Kurutulmuş ayva dilimi örneklerinde rehidrasyon işlemi....**44**
Şekil 6.1 45°C'de kurutulan ayva dilimlerinin nem içeriği-kurutma zamanı grafiği....**47**
Şekil 6.2 55°C'de kurutulan ayva dilimlerinin nem içeriği-kurutma zamanı grafiği....**47**
Şekil 6.3 65°C'de kurutulan ayva dilimlerinin nem içeriği-kurutma zamanı grafiği....**48**
Şekil 6.4 75°C'de kurutulan ayva dilimlerin nem içeriği-kurutma zamanı grafiği....**48**

Şekil 6.5 55°C'de kurutulan Kontrol kodlu ayva dilimlerinin farklı kalınlıkta nem içeriği-kurutma zamanı grafiği **50**

Şekil 6.6 45°C'de kurutulan ayva dilimlerinin kurutma hızı-kurutma zaman grafiği **51**

Şekil 6.7 55°C'de kurutulan ayva dilimlerinin kurutma hızı-kurutma zaman grafiği **51**

Şekil 6.8 65°C'de kurutulan ayva dilimlerinin kurutma hızı-kurutma zamanı grafiği ... **52**

Şekil 6.9 75°C'de kurutulan ayva dilimlerinin kurutma hızı-kurutma zaman grafiği **52**

Şekil 6.10 SA kodlu örneklere ait Midilli & Küçük modeli ile hesaplanmış tahmini verilerin deneysel verilerle karşılaştırılması..... **57**

Şekil 6.11 Farklı sıcaklıklarda kurutulmuş ayva dilimlerinin efektif difüzyon katsayıları..... **58**

Şekil 6.12 Sıcaklık ile efektif difüzyon katsayısı arasındaki ilişki **59**

Şekil 6.13 45°C'de kurutulan ayva dilimlerinde rehidrasyon kapasitesi **61**

Şekil 6.14 55°C'de kurutulan ayva dilimlerinde rehidrasyon kapasitesi **61**

Şekil 6.15 65°C'de kurutulan ayva dilimlerinde rehidrasyon kapasitesi **62**

Şekil 6.16 75°C'de kurutulan ayva dilimlerinde rehidrasyon kapasitesi **62**

Şekil 6.17 SA kodlu örneklerin renk analizi **64**

Şekil 6.18 SMBS kodlu örneklerin renk analizi **65**

Şekil 6.19 Kontrol kodlu örneklerin renk analizi **66**

Şekil 6.20 50 W güç seviyesinde kurutulan ayva dilimlerinin nem içeriği-kurutma zamanı grafiği **69**

Şekil 6.21 62 W güç seviyesinde kurutulan ayva dilimlerinin nem içeriği-kurutma zamanı grafiği **69**

Şekil 6.22 74 W güç seviyesinde kurutulan ayva dilimlerinin nem içeriği-kurutma zamanı grafiği **70**

Şekil 6.23 88 W güç seviyesinde kurutulan ayva dilimlerinin nem içeriği-kurutma zamanı grafiği **70**

Şekil 6.24 50 W güç seviyesinde kurutulan ayva dilimlerinin kurutma hızı-kurutma zamanı grafiği **72**

Şekil 6.25 62 W güç seviyesinde kurutulan ayva dilimlerinin kurutma hızı-kurutma zamanı grafiği **72**

Şekil 6.26 74 W güç seviyesinde kurutulan ayva dilimlerinin kurutma hızı-kurutma zamanı grafiği **73**

Şekil 6.27 88 W güç seviyesinde kurutulan ayva dilimlerinin kurutma hızı-kurutma zamanı grafiği **73**

Şekil 6.28 SA kodlu örneklere ait Midilli & Küçük modeli ile hesaplanmış tahmini verilerin deneysel verilerle karşılaştırılması..... **79**

Şekil 6.29 Farklı güç seviyelerinde kurutulmuş ayva dilimlerinin efektif difüzyon katsayıları **80**

Şekil 6.30 İnfrared güç seviyesi ve efektif difüzyon katsayısı arasındaki ilişki.....**81**

Şekil 6.31 50 W infrared güç seviyesinde kurutulan ayva dilimlerinde rehidrasyon kapasitesi **83**

Şekil 6.32 62 W infrared güç seviyesinde kurutulan ayva dilimlerinde rehidrasyon kapasitesi **83**

Şekil 6.33 74 W infrared güç seviyesinde kurutulan ayva dilimlerinde rehidrasyon kapasitesi **84**

Şekil 6.34 88 W infrared güç seviyesinde kurutulan ayva dilimlerinde rehidrasyon kapasitesi **84**

Şekil 6.35 SA kodlu örneklerin renk analizi.....**86**

Şekil 6.36 SMBS kodlu örneklerin renk analizi **87**

Şekil 6.37 Kontrol kodlu örneklerin renk analizi **88**

Şekil 6.38 Kombine kurutma ile kurutulan ayva dilimlerinin nem içeriği-kurutma zamanı grafiği **91**

TABLO LİSTESİ

Tablo 3.1 Son 3 yıla ait ayva üretim, tüketim, ithalat ve ihracat miktarları **20**

Tablo 3.2 2021 yılına ait en yüksek ayva üretimi yapan ülkeler **20**

Tablo 3.3 Taze ayvanın besin değerleri **21**

Tablo 5.1 Kuruma eğrilerinin modellenmesinde kullanılan matematiksel modeller..... **41**

Tablo 6.1 Farklı sıcaklıklarda ve farklı ön işlemler ile kurutulan ayva dilimlerinin kurutma zamanları **46**

Tablo 6.2 55°C'de kurutulan Kontrol kodlu ayva dilimlerinin farklı kalınlıklardaki kurutma süreleri **49**

Tablo 6.3 45°C sıcaklıkta yapılan kurutmanın istatistiksel analiz sonuçları **53**

Tablo 6.4 55°C sıcaklıkta yapılan kurutmanın istatistiksel analiz sonuçları **54**

Tablo 6.5 65°C sıcaklıkta yapılan kurutmanın istatistiksel analiz sonuçları **55**

Tablo 6.6 75°C sıcaklıkta yapılan kurutmanın istatistiksel analiz sonuçları **56**

Tablo 6.7 Kabin tipi kurutucuda kurutulmuş ayva dilimlerinde efektif difüzyon katsayıları **58**

Tablo 6.8 Kabin tipi kurutucuda kurutulmuş SA kodlu ayva dilimlerinin renk sonuçları **63**

Tablo 6.9 Kabin tipi kurutucuda kurutulmuş SMBS kodlu ayva dilimlerinin renk sonuçları **64**

Tablo 6.10 Kabin tipi kurutucuda kurutulmuş Kontrol kodlu ayva dilimlerinin renk sonuçları **65**

Tablo 6.11 Taze ve kuru ayvaların TFM ve DPPH değerleri **67**

Tablo 6.12 Farklı güç seviyelerinde ve farklı ön işlemler ile kurutulan ayva dilimlerinin kurutma zamanları **68**

Tablo 6.13 50 W güç seviyesinde yapılan kurutma işleminin istatistiksel analiz sonuçları **75**

Tablo 6.14 62 W güç seviyesinde yapılan kurutma işleminin istatistiksel analiz sonuçları **76**

Tablo 6.15 74 W güç seviyesinde yapılan kurutma işleminin istatistiksel analiz sonuçları **77**

Tablo 6.16 88 W güç seviyesinde yapılan kurutma işleminin istatistiksel analiz sonuçları **78**

Tablo 6.17 İnfrared kurutucuda kurutulmuş ayva dilimlerinde efektif difüzyon katsayıları **80**

Tablo 6.18 İnfrared kurutucuda kurutulmuş SA kodlu ayva dilimlerinin renk sonuçları **85**

Tablo 6.19 İnfrared kurutucuda kurutulmuş SMBS kodlu ayva dilimlerinin renk sonuçları **87**

Tablo 6.20 İnfrared kurutucuda kurutulmuş Kontrol kodlu ayva dilimlerinin renk sonuçları **88**

Tablo 6.21 Taze ve kuru ayvaların TFM ve DPPH değerleri **89**

Tablo 6.22 Kombine kurutma yöntemi ile kurutulan ayva dilimlerinin kurutma süreleri **90**

ÖZET

Farklı Kurutma Yöntemlerinin Ayva Meyvesinin Kurutma Kinetiği, Fenolik, Antioksidan ve Renk Değerleri Üzerine Etkisi

Özge ŞEKERCİ

Kimya Mühendisliği Anabilim Dalı
Kimya Mühendisliği Programı

Yüksek Lisans Tezi

Danışman: Prof. Dr. İbrahim DOYMAZ

Bu çalışmada, 5 mm kalınlığındaki ayva meyvesi konvektif kurutma, infrared kurutma ve kombine kurutma (konvektif + infrared kurutma) yöntemleri kullanılarak kurutulmuştur. Konvektif kurutmada değişken sıcaklıklarda (45, 55, 65 ve 75°C) ve infrared kurutucuda değişken güç seviyelerinde (50, 62, 74 ve 88 W) ayva dilimleri kurutulmuştur. Örneklerin bir kısmı ön işlem uygulandıktan sonra, bir kısmı ise natürel kurutulmuştur. Kombine kurutmada ise 50 W güç seviyesinde infrared kurutma (30-60-90 dakika) + 55°C'de natürel konvektif kurutma işlemi uygulanmıştır. Dilim kalınlıklarının etkisini gözlemleyebilmek için 5, 7 ve 9 mm kalınlığındaki ayva dilimleri 55°C'de natürel kurutulmuştur. Konvektif ve infrared kurutmadan önce ön işlem olarak %2'lik sitrik asit (SA) ve %1'lik sodyum metabisülfit (SMBS) çözeltisine 2 dakika boyunca daldırma işlemleri uygulanmıştır. Sonuçlara göre kurutma havasının sıcaklığı arttıkça kurutma zamanı kısalmıştır. Ayrıca ön işlem uygulanan örneklerde de kurutma zamanında bir azalma meydana gelmiştir.

Kurutma işleminde modelleme yapılırken literatürdeki 8 farklı kurutma modeli (Midilli & Küçük, Wang & Singh, Logaritmik, Vega & Lemus, Page, Vega-Galvez-I, Henderson & Pabis ve Aghbasha vd.) kullanılmıştır. En uygun modelin en düşük χ^2 ve RMSE, en yüksek R^2 değerlerine sahip Midilli & Küçük modeli olduğuna karar verilmiştir. Kurutma işlemi bittikten sonra efektif difüzyon katsayısı (D_{eff}), aktivasyon enerjisi (E_A), renk değeri, rehidrasyon kapasitesi, toplam fenolik madde miktarı (TFM) ve antioksidan aktivitesi (DPPH) hesaplanmıştır. Kurutulan örneklerin L ve b değerleri sıcaklığın ve güç seviyesinin artmasıyla azalmış, a değerleri ise artmıştır. Kabin tipi kurutucuda kurutulmuş ayva dilimleri için en yüksek rehidrasyon kapasitesi değeri 75°C'de kurutulan SA kodlu örneklerde gözlenmiştir. Kabin tipi kurutucuda kurutulan örneklerde en yüksek TFM değeri en yüksek kurutma sıcaklığı olan 75°C'de ölçülmüştür. Örneklerin en yüksek DPPH değeri yine 75°C'de tespit edilmiştir. İnfrared kurutma yöntemi ile kurutulan örneklerde en yüksek TFM değeri 88 W güç seviyesinde elde edilmiştir. Örneklerin en yüksek DPPH değeri yine 88 W'ta tespit edilmiştir.

Anahtar Kelimeler: Ayva, konvektif kurutma, infrared kurutma, renk analizi, antioksidan aktivitesi

---

ABSTRACT

The Effect of Different Drying Methods on Drying Kinetics, Phenolic, Antioxidant and Color Values of Quince Fruit

Özge ŞEKERCİ

Department of Chemical Engineering

Master of Science Thesis

Supervisor: Prof. Dr. İbrahim DOYMAZ

In this study, 5 mm thickness quince fruits were dried using convective, infrared and combined drying (convective + infrared) methods. Studies have been carried out with several temperatures (45, 55, 65 and 75°C) in convective drying and 4 different powers (50, 62, 74 and 88 W) in the infrared dryer. While some of samples were pre-treated, some of them were dried natural. In combined drying, using 50 W at infrared (30-60-90 minutes) + convective drying process without pre-treatment at 55°C. To observe the effect of slice thickness, quinces with 5, 7 and 9 mm thickness was dried natural at 55°C. Immersion process was applied for 2 minutes in a solution of 2% of citric acid (CA) and 1% of sodium metabisulfite (SMBS) as a pre-treatment. When increasing the temperature of the drying air reduces the drying time. The drying time was reducing in pre-treatment samples. Eight different drying models in the literature (Midilli & Kucuk, Wang & Singh, Logaritmik, Vega & Lemus, Page, Vega-Galvez-I, Henderson & Pabis ve Aghbasha vd.) are used. The most suitable model was the Midilli & Küçük model with the lowest χ^2 and RMSE, the highest R^2 values. The effective diffusion coefficient (D_{eff}), activation energy, color, rehydration, total phenolic substance

(TPS) and antioxidant activity values (DPPH) were investigated. The L and b values decreased with the increase of temperature and infrared power, while a value increased. The highest rehydration value was observed in CA coded samples dried in cabin dryer at 75°C. The highest TPS value was found at 75°C, samples that were dried with cabinet dryer. The highest antioxidant value was determined for 75°C. In the samples dried by infrared drying method, the highest TPS value was obtained at the highest power level 88 W. The highest antioxidant value was determined for 88 W.

Keywords: Quince, convective drying, infrared drying, color analysis, antioxidant activity

1
GİRİŞ

1.1 Literatür Çalışması

Yüksek oranda su içeren meyve ve sebzeler kimyasal ve mikrobiyolojik yönden bozulmaya elverişli gıdalardır (Yıldız ve İzli, 2020).

Bozulma zamanı kısa olan bu ürünlerin uzun süre kullanılmasını sağlamak amacıyla raf ömrünü uzatmak ve besin değerini koruyabilmek büyük önem taşımaktadır. Raf ömrünü uzatmak için birçok yöntem kullanılmaktadır. Soğukta muhafaza, dondurma, reçel yapımı, konserveleme, ısıl işlem uygulama, kurutma, kimyasal kullanımı ve modifiye atmosferde saklama gibi farklı yöntemler kullanılmaktadır. Bunlar çoğu insanın doğadan öğrendiği ve ilk çağlardan beri uygulanan yöntemlerdir. Kurutma bu yöntemler arasında sıklıkla kullanılmaktadır. Kurutma yöntemlerinin gıdalara uygulanması, gıdanın karmaşık yapısından ve kurutma sırasında meydana gelen değişimler nedeniyle zor olmaktadır. Bu sebepten birçok araştırmacı meyve ve sebzelerin kurutulmasındaki değişimleri gözlemleyebilmek amacıyla birçok girişimde bulunmuşlardır (Barroca ve Guiné, 2012).

Kurutma işlemi ilk başlarda geleneksel yöntem olan ürünlerin açık alana serilmesiyle yani doğal konveksiyonla gerçekleştirilirken, zaman içerisinde teknolojik gelişmeler sayesinde bu yöntemin yerini daha hijyenik, homojen ve hızlı kurutma sağlayan uygulamalar almıştır. Şimdiye kadar meyve sebzelerin raf ömrünü uzatmak için en çok kullanılan yöntem konvektif kurutmadır (Yıldız ve İzli, 2020).

Son yıllarda tüketicilerin tercihleri özellikle meyve ve sebze atıştırmalıklarına yönelmiştir (Yıldız ve İzli, 2020). Ayva, zengin besin değeri ve tedavi edici özelliği sayesinde tüketimi önerilen bir meyvedir. İçeriğinin %83,8'i su, %15,3'ü karbonhidrat, %0,4'ü protein ve %0,1'i yağlardan oluşmaktadır (İzli ve Polat, 2019).

Zengin içeriği ve kanıtlanmış faydaları sayesinde ayvanın kurutma yöntemleri ile raf ömrünün uzatılması ve tüketiminin artırılması önemli hale gelmiştir.

1.2 Tezin Amacı

Yapılan çalışma ile ayva meyvesinin kurutma karakteristikleri ele alınıp irdelenecektir. Kurutma yöntemi olarak konvektif kurutma (kabin tipi kurutucu), infrared kurutma (kızılötesi kurutucu) ve kombine kurutma (infrared kurutucu + kabin tipi kurutucu) kullanılacaktır. Ön işlem olarak ayva dilimleri 2 farklı çözeltiye daldırılarak 2 dakika beklenecektir (%1'lik sitrik asit çözeltisi ve %2'lik sodyum metabisülfit çözeltisi). Dilim kalınlığının kurutma hızına etkisini gözlemleyebilmek için 5, 7 ve 9 mm kalınlığındaki örnekler ön işlemsiz sıcak hava ile kurutulacaktır. Çalışmanın diğer aşamasında ise kurutulmuş örneklerde renk analizi, rehidrasyon çalışması, antioksidan tayini ve toplam fenolik madde miktarı ölçümü yapılacaktır. Çalışma sonrası elde edilen veriler ile kurutma eğrileri çizilip, difüzyon katsayıları ve aktivasyon enerjileri hesaplanacaktır. Son olarak da farklı kurutma modelleri kullanılarak matematiksel modelleme çalışmaları yapılacaktır.

1.3 Hipotez

Literatürde yapılan çalışmalara bakıldığında ayva meyvesi birçok farklı kurutma yöntemiyle (güneş altında kurutma, konvektif kurutma, infrared kurutma, mikrodalga ile kurutma, dondurarak kurutma ve kombine kurutma gibi) kurutulmuştur. Bu çalışmada ayva meyvesi 45, 55, 65 ve 75°C'de kabin tipi kurutucu ile; 50, 62, 74 ve 88 W gibi değişken güç seviyelerinde infrared kurutucu ile ön işlemli ve ön işlemsiz olacak şekilde kurutulmuştur. Ön işlem olarak %1'lik sitrik asit çözeltisi ve %2'lik sodyum metabisülfit çözeltisinde 2 dakika daldırma işlemi uygulanmıştır. Kontrol kodlu örneklerin kurutma karakteristikleri ile ön işlem uygulanan SA ve SMBS kodlu örnekler kıyaslanmıştır. Ön işlem uygulanan örneklerde kurutma zamanının azalması amaçlanmıştır. Deneysel verilerden yararlanılarak her kabin kurutma ve infrared kurutma tipi için kurutma kinetiği, efektif difüzyon katsayısı (D_{eff}) ve aktivasyon enerjileri (E_A) hesaplanmıştır. Hesaplanan değerlerin literatür ile uyumlu olup olmadığı analiz edilmiştir. Çalışmalar sonucunda literatürdeki 8 farklı kurutma modeli kullanılarak hesaplamalar yapılıp, en uygun model seçilmiştir. Kullanılan hava sıcaklığının, ön işlem uygulamalarının ve kurutma tipinin nihai üründeki renk parametreleri, rehidrasyon kapasitesi, antioksidan ve toplam fenolik madde

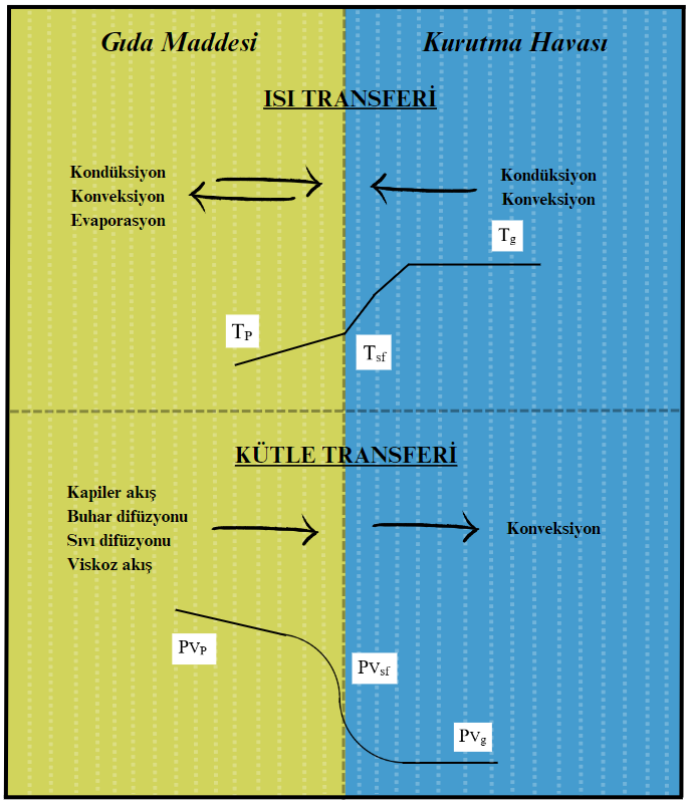
miktarına etkisi incelenmiştir. Elde edilen sonuçların kuru meyve sektörüne katkı sağlaması hedeflenmektedir.

2
KURUTMA

2.1 Kurutma

Kurutma, dünyada kullanılan en eski gıda koruma yöntemi olarak bilinmektedir (Dikbasan, 2007). Kurutma, genel olarak gıdalarda bulunan suyun uzaklaştırılması olarak tanımlanmaktadır (İçier vd., 2013). Gıdada bulunan suyun sıcak hava ile uzaklaştırılmasını sağlayarak mikroorganizmaların gelişmesine engel olmaktadır (Dikbasan, 2007).

Gıdanın kurutulmasındaki amaç, gıdanın sahip olduğu su aktivitesini düşürerek ürünün enzimatik, mikrobiyolojik ve kimyasal değişimlere karşı direnç oluşturmasını sağlamaktır (Demiray ve Tülek, 2012).



Şekil 2.1 Gıdalarda kurutma prosesi şematik gösterimi (Çolak Güneş, 2009)

Şekil 2.1'de gösterildiği gibi kurutma, kütle ve ısı transferinin eş zamanlı olarak gerçekleşmesi ile meydana gelmektedir (Kaya vd., 2007). İlk aşama enerjinin (ısının), nemi buharlaştırmak üzere çevreden gıdaya aktarılmasıdır. İkinci aşama

ise gıda içerisinde bulunan nemin katının yüzeyine aktarılmasıdır (Dikbasan, 2007). Gıdanın kuruması, buharlaşma gizli ısısına maruz kalan su moleküllerinin gıdadan havaya iletilmesiyle meydana gelmektedir.

2.1.1 Su Aktivitesi

Gıda içerisinde bulunan suyun buhar basıncının aynı sıcaklıktaki saf suyun buhar basıncına oranıdır. Su aktivitesi (a_w) değeri 0-1 arasında değişmektedir (Aksoy, 2019).

$$a_w = \frac{P_A}{P_0} = \frac{\%\ Bağıl\ nem}{100} \quad (2.1)$$

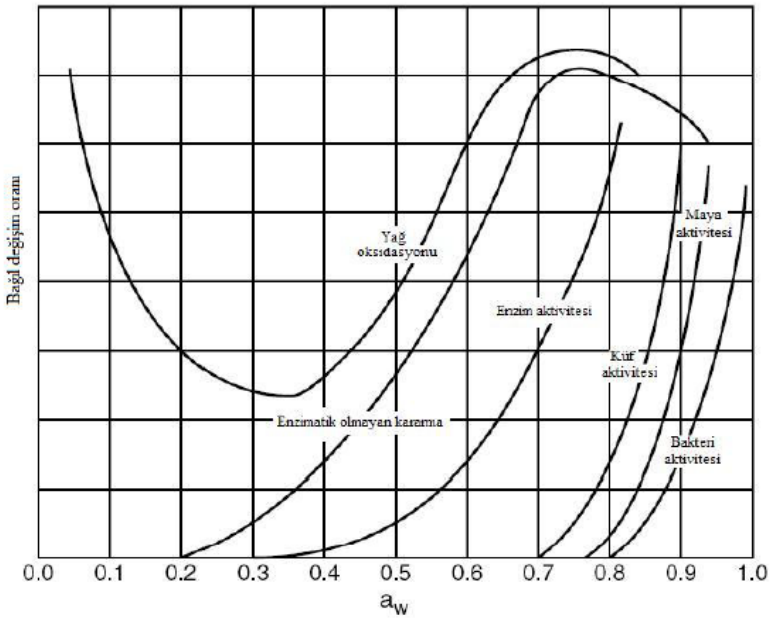
Bu formülde;

P_A: Gıdadaki suyun buhar basıncı

P_0: Aynı sıcaklıktaki saf suyun buhar basıncı

Bağıl nem: Gıdaların atmosferden aldığı veya verdiği suyun nispi nem dengesini ifade etmektedir (Ayhan, 2000).

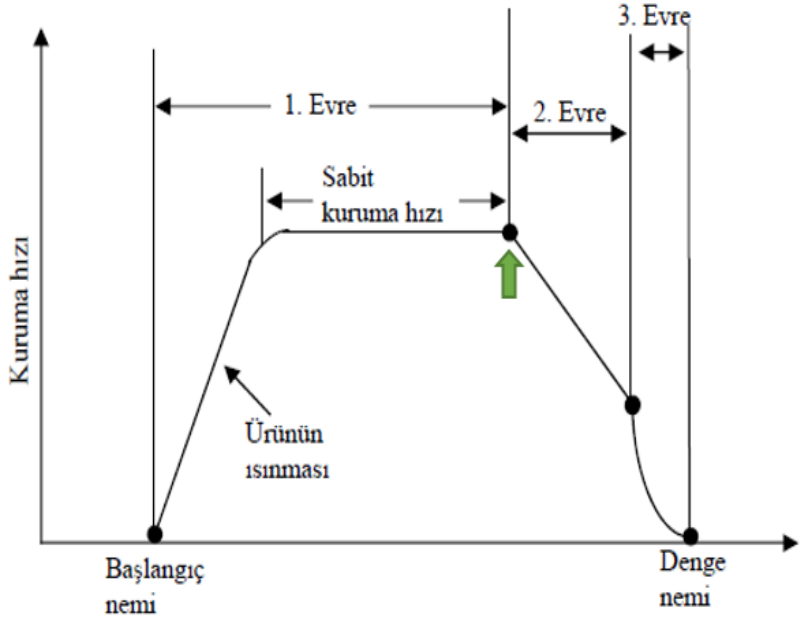
Şekil 2.2'de su aktivitesine göre gıdalarda meydana gelen bozulmalar görülmektedir.



Şekil 2.2 Su aktivitesine göre gıdalarda meydana gelen bozulmalar (Çolak Güneş, 2009)

2.1.2 Kurutma Evreleri

Bir gıdanın kurutulması sırasında geçen zamana bağlı olarak değişen nem düzeyine ve kuruma hızına göre Şekil 2.3-2.4 çizilmektedir. Bu eğrilere göre kurutma prosesi 3 aşamada gerçekleşmektedir.

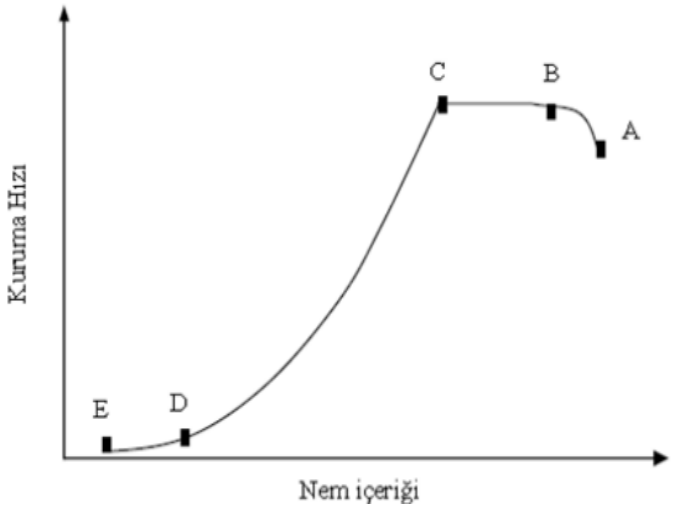


Şekil 2.3 Kurutma debisi eğrisi (Çolak Güneş, 2009)

Şekil 2.3'te belli bir nem oranına sahip olan gıda ısınarak sabit kuruma evresine ulaşmaktadır (Birinci evre). Bu evrede bulunan gıdanın yüzeyindeki buharlaşma, gıdaya olan nem transferinden daha yavaş gerçekleşmektedir. Birinci evreden ikinci evreye geçiş noktası kritik nem miktarını göstermektedir (Çolak Güneş, 2009). Bu noktadan sonra gıdanın yüzeyi kurumaya başlamaktadır. Bu nedenle buharlaşma iç kısımlarda gerçekleşir (Tüfekçi, 2014).

İkinci evreye geçildiğinde kurutma azalan hızda gerçekleşir. Yani kurutmanın gerçekleştiği tabaka iç kısımlara doğru ilerler ve gıdanın yüzeyindeki buharlaşma gıdaya olan nem transferinden daha hızlı gerçekleşmeye başlar (Aktaş, 2015; Çolak Güneş, 2009).

Üçüncü evrede ise buharlaşması daha zor olan kılcal borulardaki nem uzaklaşmaktadır. Bu aşamada kurutma hızı azalmaktadır. Gıdadan uzaklaşan nem miktarı azalırken, kurutma zamanı git gide uzamaktadır. Belli bir süre sonra dengeye ulaşmaktadır.



Şekil 2.4 Kuruma hızı-nem içeriği eğrisi

Şekil 2.4'te A-B bölgesi bütün kuruma prosesinin çok küçük bir alanını oluşturmaktadır. Bu bölgede gıdanın yüzeyindeki değişiklikler sıcaklığın etkisiyle dengeye gelmekte ve kuruma hızı artmaktadır. B-C bölgesi kuruma prosesinin sabit kuruma bölümüdür. Bu bölgede ısı transferi ve kütle transferi denge halinde olup kurutulmakta olan gıdanın yüzeyi su ile doygun haldedir. Gıdanın iç kısmından yüzeyine difüzyon yardımıyla gelen suyun oranı buharlaşma ile gıdanın yüzeyinden uzaklaştırılan suyun oranından fazladır. C-D bölgesinde kuruma hızı gıdanın iç kısmından difüzyon ile gelen suyun hızını aşmaktadır. Bu durumda kuruma hızı düşüşe geçmekte ve bu kısımdaki nem düzeyi kritik nem olarak adlandırılmaktadır. Her gıdanın bileşimine bağlı olarak kritik nem değeri farklılık göstermektedir (Tüfekçi, 2014).

2.2 Kurutmaya Etki Eden Faktörler

Bir gıda maddesinin yüzeyindeki suyun uzaklaştırılmasında etkili olan birçok faktör bulunmaktadır. Bunlar, kurutulacak olan gıdanın kimyasal özelliği (şeker, tuz içeriği gibi) ve su içeriği, kurutma havasının sıcaklığı, hızı, nem oranı, kurutulan gıdanın yüzey alanı ve ön işlem uygulamaları gibi faktörlerdir (Aktaş, 2015).

Havanın hızı: Gıdalarda kurutma hızını etkileyen faktörlerden biri kurutma havasının hızıdır. Havanın hareket halinde olması kurutma zamanını

etkilemektedir (Yüce, 2019). Havanın hızı sayesinde ısı ve kütle transferi daha hızlı gerçekleşeceğinden yüksek hızlı kurutma havası kullanıldığında kuruma hızı da belli bir değere kadar artmaktadır. Kurutma hızının 5 m/s'yi aşması durumunda kurutma hızının etkilenmediği görülmüştür (Aksoy, 2019).

Kurutma havasının hızı arttığında, kurutma hızının belli bir değere kadar artması sağlanmaktadır. Yapılan çalışmalarda kurutma hızı 5 m/s üzerinde iken kurutma hızını etkilemediği tespit edilmiştir. Kurutma prosesinin başında hava hızı etkili iken, sonraki bölümlerde hava hızının etkisi azalmaktadır.

Havanın sıcaklığı: Kurutma sırasında kullanılan sıcak havanın derecesi arttıkça kurutma hızı da artar. Buna bağlı olarak gıdanın sıcaklığının da düşük olması tercih edilir (Yüce, 2019). Fakat her gıdanın çıkabileceği maksimum sıcaklık derecesi olduğundan üzerine çıkıldığında olumsuz renk değişimleri veya çatlamalar meydana gelebilmektedir.

Yapılan çalışmalarda, gıdalara uygulanan sıcaklık ve gıdaların sıcaklığa maruz bırakılma süresi ile gıdalarda zararlı madde oluşumu arasında paralellik olduğu belirtilmektedir (İnce, 2008).

Havanın nemi: Kurutulan gıdanın nem içeriği ortam havasının nem miktarına göre değişebilmektedir. Kurutulan gıda ile ortam havasının nemi arasında denge oluştuğunda kurutma sona erer.

Gıdanın geometrik şekli: Kurutma hızı gıdanın özelliklerine, boyutuna ve şekline bağlıdır (Konak vd., 2009). Kurutulan gıdanın yüzey alanı arttıkça kurutma daha hızlı gerçekleşirken, kalınlık arttıkça kurutma hızı yavaşlar. Gıdanın boyutlarını küçültmek için ürün kesildiğinde bağlı suyun ortaya çıkması kurutma hızının artmasına yardımcı olmaktadır (Yüce, 2019).

Gıdanın kimyasal bileşimi: Gıdaların kimyasal bileşimleri birbirinden farklıdır ve kurutma prosesi boyunca değişiklik gösterebilmektedir. Çözünmüş maddeler suyun buhar basıncını düşürdüğünden dolayı buharlaşma işlemini geciktirmektedir. Tuz, şeker ve benzeri maddelerce zengin bir gıdanın, daha az tuz şeker vb. içeren gıdalara göre daha zor kuruduğu tespit edilmiştir. Nişasta ve pektin bakımından zengin gıdaların da içeriğinden kaynaklı kurumaları oldukça zordur. Benzer şekilde ortamda yağ oranının fazla olması da kurutmayı geciktiren faktörlerden birisidir. Yağ molekülleri suyun etrafını sardığı için gıdadan suyun

uzaklaşması zorlaşmaktadır. Tam tersi duruma örnek verecek olursak özellikle sebzelerde ön işlem olarak sıklıkla tercih edilen haşlama, hücreler arasındaki suyu uzaklaştırdığından kuruma kolaylaşmaktadır (Yüce, 2019; Aksoy, 2019).

2.3 Kurutmada Meydana Gelebilecek Değişimler

2.3.1 Fiziksel Değişimler

Kabuk oluşumu: Genelde ilk kurutma sıcaklığının yüksek derecede olması kabuk oluşumuna sebep olmaktadır. Kurutmadan dolayı büzüşmesi gereken yüzey büzüşemeyince alt tabakalara baskı yapar. Kabuk oluşumu ile kurutma hızının düştüğü yapılan çalışmalarda ispatlanmıştır (Yüce, 2019).

Rehidrasyon kapasitesi: Bir gıdanın kurutulduktan sonra içerisine tekrar su çekebilme yeteneğine rehidrasyon denir. Kurutulan bir gıda, kaybetmiş olduğu suyu ne kadar içerisine çekebilirse bu gıdanın rehidrasyon kapasitesinin o kadar yüksek olduğu kabul edilmektedir (Aktaş, 2015). Birçok gıdada dondurarak kurutma ile kurutulmuş ürünlerde rehidrasyon seviyesinin yüksek olduğu tespit edilmiştir (Yüce, 2019).

Yüzeyde kuru madde birikimi: Kurutma esnasında önce yüzeydeki su gıdadan uzaklaşmaktadır. Buna bağlı olarak da iç kısımlarda bulunan su molekülleri dış yüzeye doğru hareket etmeye başlarlar. Su molekülleri ile kuru maddeler de gıdanın yüzeyine doğru hareket ettiğinde, buharlaşmadan sonra kuru madde yüzeyde birikir (Yüce, 2019).

2.3.2 Kimyasal Değişimler

Besin değerinde oluşan kayıplar: Kurutmanın türü, kurutulacak olan gıdanın türü ve çalışma koşulları besin değerine etki eden önemli unsurlardır. Örneğin riboflavin kurutma devam ederken aşırı doygunluğa ulaşıp çökme yapabilir ve böylece kayıp azalır. Diğer yandan C vitamini ısı ve oksidasyondan kolay etkilenebilir ve kayıp artar (Yüce, 2019).

Lipid oksidasyonu: Kurutma sırasında ortamda bulunan yağın acılaşması ile istenmeyen tat değişimleri meydana gelmektedir (Yüce, 2019).

Esmerleşme reaksiyonları: Kurutma prosesi boyunca gıdalarda enzimatik olan ve enzimatik olmayan esmerleşme reaksiyonları olarak meydana gelebilmektedir**.**

Meyvelerde sıklıkla görülen enzimatik olmayan esmerleşme reaksiyonlarına engel olmak için genellikle kükürt kullanılmaktadır (Yüce, 2019).

Çözünebilme kabiliyeti: Genellikle kurutulduktan sonra toz haline getirilmiş olan taneli yapıdaki gıdaların kalite parametreleri arasındadır. Yüksek sıcaklık uygulandığında proteinlerin denatüre olmasıyla birlikte çözünürlük azalmaktadır (Yüce, 2019).

2.4 Kurutma Metotları

2.4.1 Güneş Altında Kurutma

Güneş altında kurutma bilinen en eski kurutma metodudur. Güneş ışınlarından faydalanılarak gıdanın su oranının azaltılmasına yönelik kullanımı tercih edilmektedir. Doğal kurutma olarak da adlandırılmaktadır.

İklim koşullarının uygun olduğu bölgelerde enerji maliyeti gerekmeden kurutma yapılabilmektedir. Burada en önemli etken havanın sıcaklığıdır (İzgi, 2012).

Gıdanın içerisinde bulunan nem ancak havanın yüksek sıcaklığı ile dışarı aktarılabilmektedir. Yüksek su içeriğine sahip gıdalarda enerji maliyeti gerektirmediği için avantajlıdır. Fakat son ürünün kalitesi değerlendirildiğinde, ürünlerin açık alanda kurutuluyor olması toz, toprak, böcek vb. birçok dış faktörün gıdayı tehdit etmesi ile dezavantajlıdır. Yapay sistemler ile kıyaslandığında kurutma zamanı daha uzun olmakla birlikte son üründe %15 su oranından daha aşağıya inilememektedir (İzgi, 2012).

Uygulamanın yapıldığı bölgelerde, hava durumunun uygun olmadığı durumda kurutma yapılamamaktadır. Kurutma için oldukça geniş bir alana ihtiyaç duyulmaktadır (Dikbasan, 2007). Şekil 2.5'te güneş altında kurutulan üzümler gösterilmektedir.



Şekil 2.5 Güneşte kurutulan üzümler (Akdeniz, 2011)

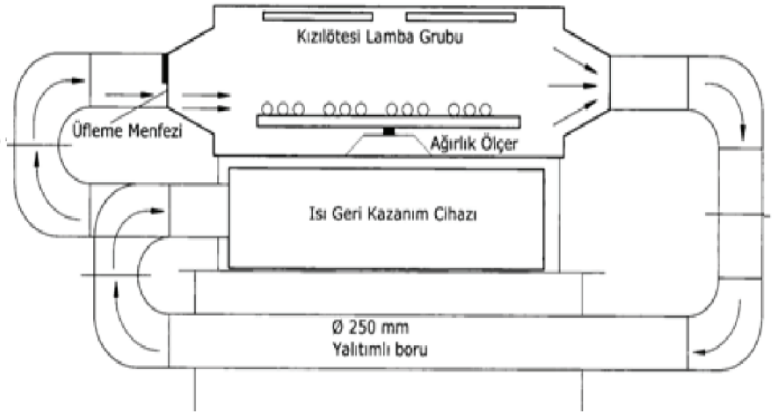
2.4.2 Konvektif Kurutma

Konvektif kurutma işleminde, gıdanın yüzeyinden veya içinden geçirilen sıcak hava sayesinde ısı, ortamdan gıdaya konveksiyonla aktarılmış olur. Gıda içerisindeki nemin buharlaşması sonucu gıda yüzeyinde kısmi buhar basıncı yüksek, suya doygun ince bir katman oluşur. Bu katmanın gıdanın kurumasını engelleyici bir etkisi vardır. Gıdadan buharlaşan nemin ortamdan uzaklaşma hızında havanın hızı önemli bir belirleyicidir ve kurutma işleminin ilk kısımlarında daha etkilidir. Ancak bu hızın gıdanın kurutulmasındaki etkisi belli bir değerle sınırlıdır. Kurutmanın gittikçe azaldığı aşamada kurutma hızı, gıdadan difüzyon ile yüzeye taşınan nemin hızına bağlıdır. Bu periyotta sıcaklığın etkisi hava hızının etkisinden yüksektir (Yağcıoğlu, 1999).

Genellikle %20'den fazla su içeriğine sahip ürünlerin kurutulmasında konvektif kurutmanın daha etkili olduğu görülmüştür (Yıldız ve İzli, 2020).

2.4.3 İnfrared (Kızılötesi) Kurutma

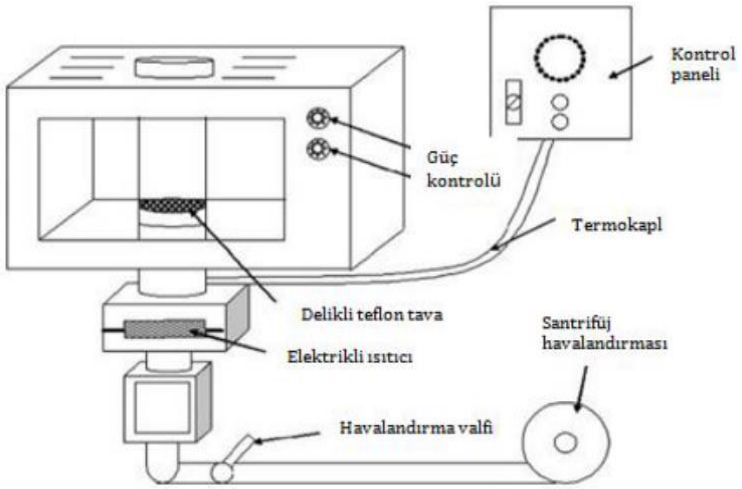
İnfrared kurutma (IRK), hızlı olması ve yüksek enerji verimliliği, daha kısa kurutma zamanı, çok yönlülük, ekipmanın basitliği ve düşük sermaye maliyeti gibi avantajları ile son zamanlarda tahıl, un, sebze, makarna, et ve balık gibi gıdaların kurutulmasında büyük ilgi görmüştür. IRK sırasında, çevredeki hava ısıtılmadan, ısıtma elemanından ürün yüzeyine radyoaktif enerji aktarılır. İnfrared kurutma sistemine örnek Şekil 2.6'da gösterilmiştir. Havuç, sarımsak, patates, şeftali, elma, muz ve tatlı patates dilimleri, çeltik ve yarı haşlanmış pirinç veya soğan dilimleri dahil olmak üzere farklı tarım ürünlerinin ve gıdaların kurutulmasıyla çeşitli deneysel çalışmalar da yapılmıştır (Domínguez, 2011).



Şekil 2.6 İnfrared kurutma sistemi

2.4.5 Mikrodalga ile Kurutma

Diğer bir yöntem olan mikrodalga ile kurutmada konveksiyon ile ısıtma yerine gıdanın içerisinde bulunan suyun ısıtılıp, buharlaştırılması yöntemi kullanılmaktadır. Mikrodalga destekli hava kurutma sistemi Şekil 2.7'de gösterilmiştir. En önemli avantajı kurutmanın kontrollü şartlarda ve daha hızlı gerçekleşebilmesidir. Ayva dilimlerinin kurutulması için kullanılan mikrodalga enerjisi ne kadar artarsa kurutma zamanı da o kadar azalma göstermektedir (Karaaslan vd., 2016).



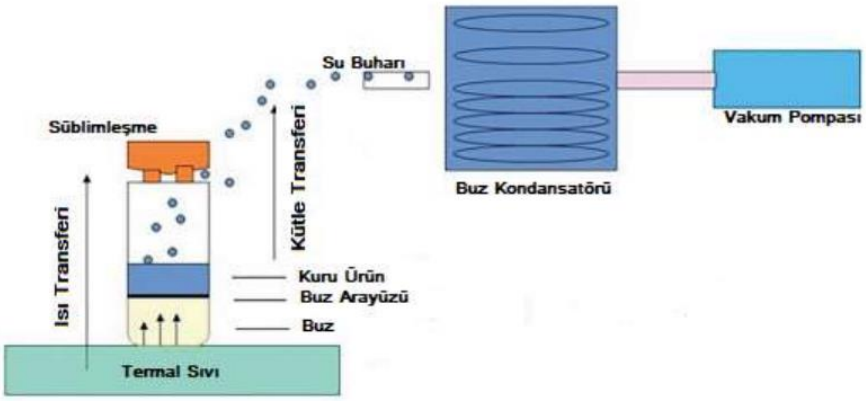
Şekil 2.7 Mikrodalga destekli hava kurutma sistemi (Reyes vd., 2007)

2.4.6 Vakum Kurutma

Vakumlu kurutmanın temel amacı, gıdadaki nemin vakum altında, daha düşük sıcaklık ve oksijen bulunan ortamda uzaklaştırılmasını sağlamaktır. Bu nedenle vakumla kurutma, ısıya ve oksijene duyarlı malzemeler için uygundur. Vakumla kurutma sırasında, suyun kaynama noktası düştüğü için buharlaşma hızı (sabit bir sıcaklıkta) artar. Ayrıca vakum altında bir malzemenin efektif hidrolik iletkenliği artar, dolayısıyla ürün yüzeyindeki kütle transferine karşı direnç azalır. Sonuç olarak, vakumla kurutma, konvektif kurutmadan daha az kurutma zamanı gerektirir ve çoğu durumda daha yüksek kalitede kurutulmuş bir ürün elde edilir (Ngamwonglumlert ve Devahastin, 2018).

2.4.7 Dondurarak Kurutma

Dondurarak kurutma veya liyofilizasyon olarak adlandırılan yöntemde 3 aşama bulunmaktadır. Birinci aşamada gıdanın içerisinde bulunan su çok düşük sıcaklık kullanılarak katı hale getirilirken, ikinci aşamada su direkt katı formdan gaz forma dönüşmektedir. Buna süblimasyon denmektedir. Üçüncü aşamada ise suyun uzaklaştırılması ile kurutma işlemi gerçekleşmektedir. Yapılan çalışmalarda ayva dilimlerinin konvektif kurutulması yerine dondurarak kurutma ile daha kaliteli ürün elde edilebileceği sonucuna varılmıştır (Adhami vd., 2013). Şekil 2.8'de dondurarak kurutma prensibi gösterilmektedir.

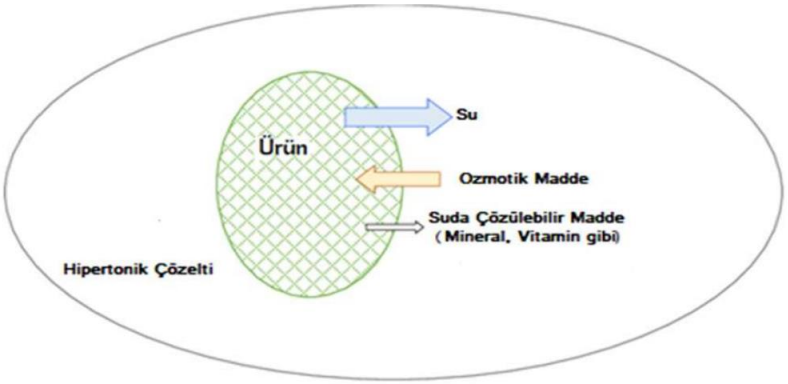


Şekil 2.8 Dondurarak kurutma prensibi (Kumar vd., 2011)

2.4.8 Ozmotik Kurutma

Ozmotik kurutma prosesinin temeli ozmotik dehidrasyon işlemine dayanmaktadır. Kurutulmuş meyve ürünlerinin kalitesini artırmaya yönelik alternatif bir yöntem olarak kabul görülen ozmotik dehidrasyon, ürünü hipertonik bir çözeltiye koyarak

üründen suyun uzaklaştırıldığı işlemdir. Şekil 2.9'da görüldüğü gibi ozmotik basınçtaki farktan kaynaklanan üç tür karşı akım kütle transferi vardır. Bunlar; üründen çözeltiye su çıkışı, çözeltiden ürüne çözünen madde transferi ve nihai ürünün bileşimi üzerinde etkisi olan ürünlerin kendi çözünen maddelerinin (şekerler, organik asitler, mineraller, vitaminler, vb.) dışarı sızmasıdır (Raoult-Wack vd., 1994).



Şekil 2.9 Ozmotik kurutma (Guiamba, 2016)

2.5 Kurutucular

2.5.1 Konvektif Kurutucular

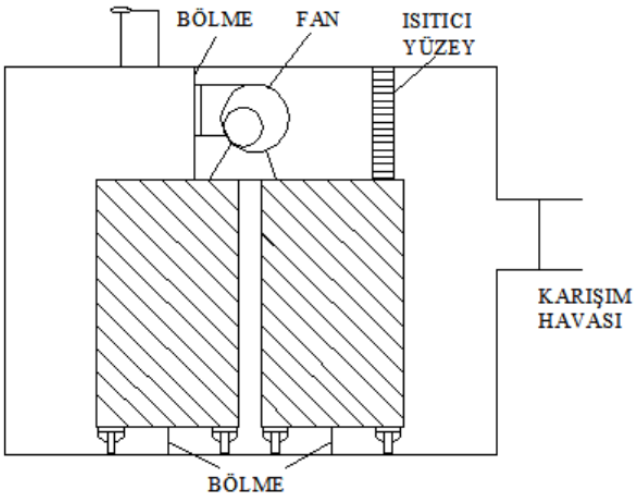
2.5.1.1 Fırın Kurutucular

Fırın kurutuculardа ürünlerin kurutulması, alttan fırın veya brülör vasıtasıyla ısınan havanın ızgaralı bir tabanı olan ikinci kata gelmesiyle gerçekleşir ve en basit hava taşınımlı kurutucu çeşididir. Elma dilimlerini kurutma sırasında sıkça kullanılır ve ürünün nem oranı %10'dan aşağıya düşürülemez (Saldamlı ve Saldamlı, 2004). Fırın tipi kurutucular kesikli kurutuculardır ve ürün kurutucuya aktarıldıktan sonra sistem çalıştırılır, ürün kuruyunca dışarı alınır (Özdeş, 2013). Bir fırın kurutucu tipi olan etüvde kurutma (105°C'de 24 saat), bağlı olmayan suyu tamamen uzaklaştırmak için en etkili standart yöntemdir. Aynı zamanda mikro yapıya en çok bu yöntemin zarar verdiği de bildirilmektedir (Galle, 2001; Juenger ve Jennings, 2001).

2.5.1.2 Kabin Tipi Kurutucular

Kabin tipi kurutucular (Şekil 2.10), fırın kurutucuların geliştirilmiş bir tipi olup daha çok meyve ve sebze dilimleri, jelatin, tahıl taneleri, nişasta ve maya benzeri

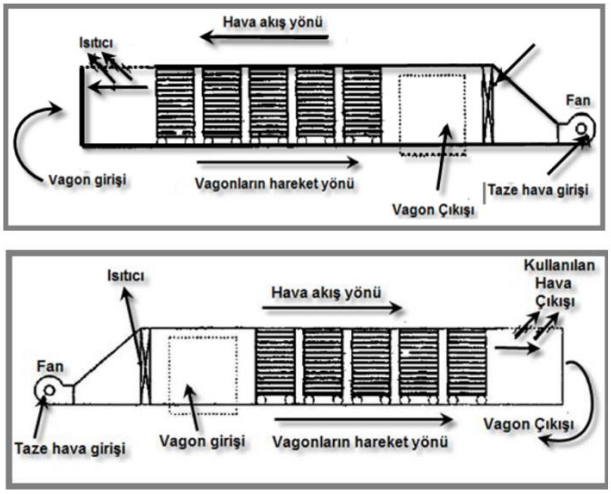
ürünleri kurutmak için kullanılır. Kabin tipi kurutucular çok yönlü olup farklı ürünlerin de kurutulmasında kolayca kontrol edilebilir ve uyarlanabilir (Saldamlı ve Saldamlı, 2004). Bu kurutuculardа kurutma prosesi, ürünün ızgaralı sepetlerde beslenmesiyle ve kabin içinde bulunan sıcak hava akımının üründe nem kaybını sağlamasıyla gerçekleşir. Bu tip kurutuculardа ürün beslemesi kurutma prosesi boyunca sabit kalır. Kurutucu sistemindeki ana bileşenler; ürün besleme sistemi, sıcak hava ısıtıcısı, fan ve toplayıcıdır (Vega-Mercado vd., 2001). Kabin tipi kurutuculardaki en önemli problem, ürünlerin sıcak havanın girdiği ilk kısımda daha hızlı, diğer kısımlarda ilk kısımdakilere göre daha yavaş kurumasıdır. Bunun sebebi havanın sıcaklığının ve hızının ürünün tüm yüzeylerinde farklı düzeyde olmasından kaynaklanır.



Şekil 2.10 Kabin tipi kurutucu (Ashrae, 2003)

2.5.1.3 Tünel Kurutucular

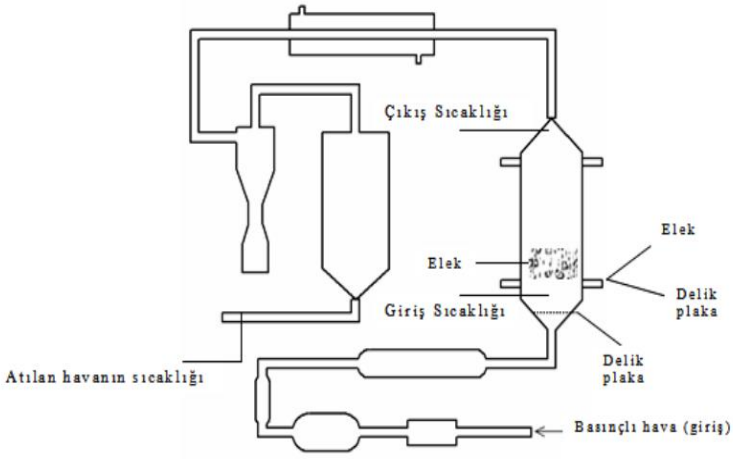
Tünel kurutucular; kabin tipi kurutuculara ek olarak ürün besleme kısmı hareketli vagonlardan oluşan, farklı çeşitleri bulunan (sürekli çalışan ve atmosfer basıncı ya da vakum altında çalışan), elektrik, gaz veya buhar yoluyla ısıtma yapılabilen kurutuculardır. Bu kurutucu çeşitlerinden en sık kullanılan sürekli çalışan tiptir (Saldamlı ve Saldamlı 2004). Bunların haricinde hava ve ürün beslemenin hareket yönlerine göre paralel, çapraz ya da ters akışlı olarak da isimlendirilen tünel kurutucular bulunmaktadır (Tan, 2023). Şekil 2.11'de paralel ve ters akışlı kurutucu için örnek gösterilmiştir.



Şekil 2.11 Paralel ve ters akışlı kurutucu

2.5.1.4 Akışkan Yataklı Kurutucular

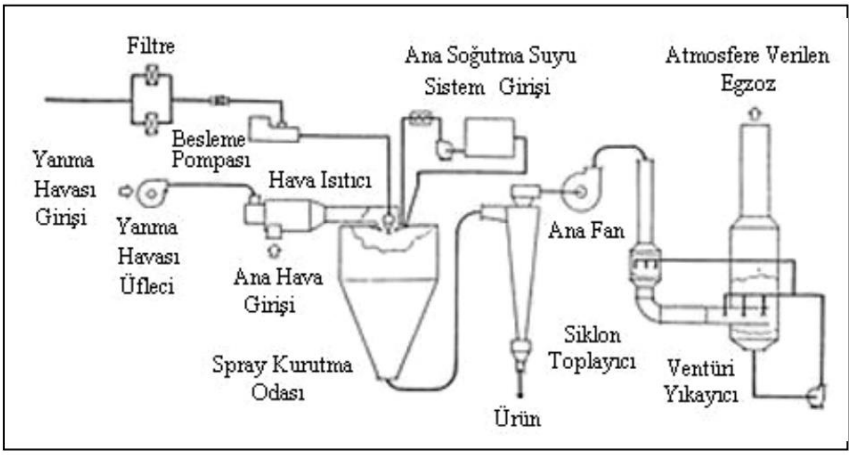
Akışkan yataklı kurutucularda (Şekil 2.12), ürünün her bir yüzeyinin, büyük hacimli bir hava akımında kalmasıyla, tepsili kurutucu veya vakum kurutuculara göre oldukça hızlı bir kurutma işlemi gerçekleşir (Vojtec ve Drbohlay, 1966; Deniz, 2010). Böylece ısının ürüne geçişi taşınım ile olur. Ürünlerde eşit ve sabit bir kuruma sağlanması için girişteki hava hızının iyi ayarlanması gerekir. Bu kurutuculardа dikey ve yatay olmak üzere iki çeşit akışkan yataklı kurutucu vardır. Kurutma işlemi ise sürekli veya süreksiz olarak yapılabilir. Süreksiz kurutmada, ıslatılmış hava bir fan vasıtasıyla, kurutma odasında alttan tel örgüyle desteklenen nemli ürünün arasından yukarıya doğru çıkar. Ürün taneleri sabit kalır ve nem oranı istenilen düzeye geldiğinde hava akımının kurutucuya girişi kesilerek ürün kurutucudan çıkarılır. Akışkan yataklı kurutucularda sürekli kurutma yapılırken kurutucu hiç durdurulmaz ve nemli gıda sürekli kurutucuya beslenir; nem oranında istenen düzeye ulaşan ürünler ise kurutucudan çıkarılır. Akışkan yataklı kurutucuların temel özelliği, kurutucu içerisindeki havanın hızının, katıların karışarak gaz taneleriyle sürekli temasta olmasını sağlayacak şekilde ayarlanmasıdır (Deniz, 2010).



Şekil 2.12 Akışkan yatağın şematik gösterimi (Akçay vd., 1996)

2.5.1.5 Sprey Kurutucular

Püskürtmeli kurutucular olarak da bilinen sprey kurutucular (Şekil 2.13), sıvı ve yarı sıvı ürünleri kurutmak için kullanılır. Akışkan olan ürünün kurutma alanına beslenmesi, kurutucunun ürünü damlacık haline getiren özel aparatlarıyla yapılır. Yüzey alanı çok geniş olan kurutma alanına püskürtülen ürün damlacıkları içerisindeki nem, hızlı bir şekilde buharlaşır ve çözünürlüğü yüksek olan yeni bir ürün elde edilir. Bu kurutucu tipinin kullanım alanları gıda, ilaç ve kimya sanayisidir. Gıda sanayisinde genellikle süt, çocuk maması, yumurta, maya, balık unu, meyve ve sebze gibi ürünlerin toz hallerini elde etmek için kullanılır. (TMMOB Gıda Mühendisleri Odası, 2023)

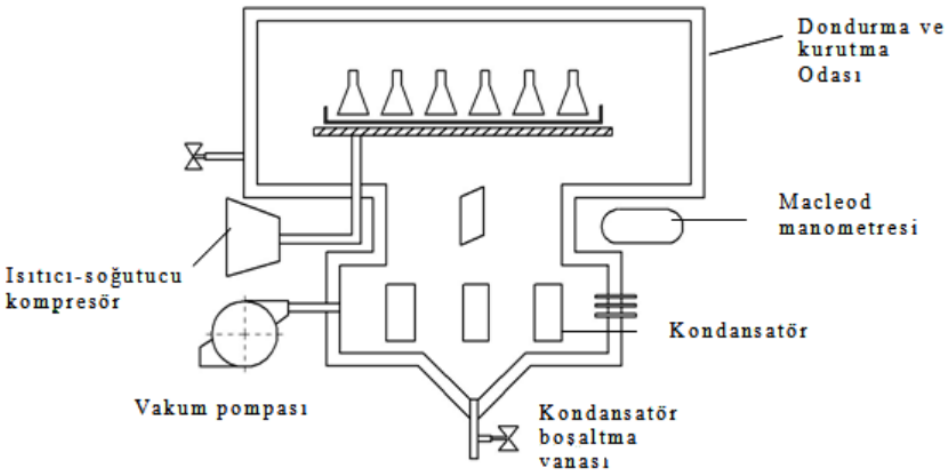


Şekil 2.13 Sprey kurutucu ünitesinin şeması (Mujumdar, 2000)

2.5.2 Dondurarak Kurutucular (Liyofilizatörler)

Dondurarak kurutma işleminde düşük basınçtaki doygun çözeltiden, çözücü ve bağlı su uzaklaştırılır. Bu prosesin, eczacılık (virüs ve bakterilerin kültürleri, serumlar, aşılar, eczacılık ürünleri) ve gıda sektöründe (çay ve kahve esansları, sebzeler, deniz ürünleri, et, süt ve meyve suları) geniş bir kullanım alanı mevcuttur. Dondurarak kurutucular (liyofilizatörler) üç ana bölümden oluşur. Bu bölümler; dondurma odası ve kurutma odası, yoğunlaştırıcı (kondansatör) ve vakum pompasıdır. Bunların dışında liyofilizatörlerde ısıtma ve soğutma proseslerinin gerçekleşmesini sağlayan kompresörler ve ısıtıcılar vardır (Doğanay, 2009). Şekil 2.14'te dondurarak kurutucu örneği gösterilmiştir.

Bu kurutucu tipinde ürün ilk olarak dondurulur, daha sonra sıcaklığı düşük olan yoğuşturucuya veya kimyasal kurutucuya bağlı yüksek vakumlu ortama aktarılır. Isı donmuş ürüne kızılötesi ışıkla iletilir ve gaz haline gelen su yoğuşur ya da kimyasal kurutucuyla soğurulur. Dondurucu kurutma işlemlerinin birçoğunda basınç düşük tutulur ve sıcaklıklar 40°C ve -10°C arasında iken kurutma işlemi gerçekleştirilir. Isıya duyarlı olan ürünler için bu yöntem fazlasıyla uygun olsa da pahalı ve yavaş olması göz ardı edilemez (Günerhan, 2005).



Şekil 2.14 Liyofilizatör (Ashrae, 2003)

3
AYVA

Ayva meyvesi *Rosaceae* familyasına ve *Cydonia* cinsine ait çok eski bir meyvedir ve Şekil 3.1'de gösterilmiştir. Latince adı *Cydonia Oblonga* olarak geçmektedir. Zengin besin değeri ve tedavi edici özelliği sayesinde çok yararlı bir üründür. Hemen hemen dünyanın her ülkesinde yetiştirilmektedir (Bilaloğlu, 2019).



Şekil 3.1 Taze ayva

Türkiye ayva yetiştiriciliğinde ön sıradadır. Çin, Özbekistan, Arjantin, Fas ve Azerbaycan da ayva yetiştiriciliğini yapan diğer ülkelerin başında gelmektedir (Doymaz vd., 2015). Bu ülkeler Dünya'daki toplam ayva üretiminin %50'sini gerçekleştirmektedir (İzli ve Polat, 2019). Dünyadaki ayva üretimi 2021 yılında 559 metrik ton iken, Türkiye'deki ayva üretimi 127.767,00 metrik tondur (FAO, 2022). Tablo 3.1'de görüldüğü gibi Türkiye'de 2020 yılında 189.251,00 metrik ton, 2021 yılında 192.012,00 metrik ton ayva üretilmiştir (TÜİK, 2022). Tablo 3.2'de ise Dünya genelindeki 2021 yılı sonu toplam ayva üretim miktarı ise 697.562,60 metrik ton olarak verilmiştir (FAO, 2022).

Tablo 3.1 Son 3 yıla ait ayva üretim, tüketim, ithalat ve ihracat miktarları (Türkiye) (TÜİK, 2022)

Yıllar	Üretim (Ton)	İthalat (Ton)	İthalat AB (Ton)	İhracat (Ton)	İhracat AB (Ton)	İnsani tüketim (Ton)
2022/23	197.503,00	3	3	16.493,00	7.423,00	140.962,00
2021/22	192.012,00	67	45	17.133,00	6.955,00	136.918,00
2020/21	189.251,00	-	-	22.236,00	7.961,00	132.104,00

Tablo 3.2 2021 yılına ait en yüksek ayva üretimi yapan ülkeler (FAO, 2022)

Ülkeler	Üretim (Ton)
Türkiye	192.012,00
Çin	111.377,40
Özbekistan	97.536,00
İran	90.564,52
Fas	54.641,00
Azerbaycan	42.065,20
Arjantin	28.808,29
Sırbistan	10.428,00
Cezayir	8.538,00
Rusya	7.900,00

İçeriğinin yaklaşık %83'ü su olan ayva, pektin ve diyet lifi kaynağı olduğundan yüksek miktarda polisakkarit içermektedir (İzli ve Polat, 2019).

USDA Gıda Veri Tabanı bilgilerine göre Tablo 3.3'te verilen 100 g taze ayvanın besin değerleri aşağıdaki gibidir.

Tablo 3.3 Taze ayvanın besin değerleri (100 g için)

(USDA Food Data Central, 2022)

Bileşen	**Değer**	**Birim**
Su	83,8	g
Enerji	57	kCal
Enerji	238	kJ
Protein	0,4	g
Toplam yağ	0,1	g
Kül	0,4	g
Karbonhidrat	15,3	g
Lif	1,9	g
Kalsiyum	11	mg
Demir	0,7	mg
Magnezyum	8	mg
Fosfor	17	mg
Potasyum	197	mg
Sodyum	4	mg
Çinko	0,04	mg
Selenyum	0,6	µg
Vitamin C	15	mg
Vitamin A	2	µg

Ayva meyvesi yüksek oranda C vitamini ve lif içermektedir. Demir, fosfor, kalsiyum, potasyum, A vitamini ve B6 vitamini açısından da oldukça zengindir. 100 gram ayva günlük C vitamini ihtiyacımızın %4'ünü ve A vitamini ihtiyacımızın ise %1'ini karşılamaktadır (Bilaloğlu, 2019).

Ayva ile ilgili daha önce yapılmış çalışmalarda sağlığa yararlı özellikleri kanıtlanmıştır. Fenolik bileşen ve antioksidan değeri yüksektir. Serbest radikalleri yakalama özelliği sayesinde güçlü antioksidan özellik göstermektedir. Pektin ve diyet lifi kaynağı olduğundan yüksek miktarda polisakkarit içermektedir (Elmizadeh vd., 2018).

Ayva, sert ve lifli yapısı, acılığı ve özellikle burukluğu nedeniyle tazeyken çok tercih edilmemektedir. Fakat olgunlaştıktan sonra marmelat, reçel, jöle ve kek üretimi endüstrisinde çokça tercih edilmektedir. Ayva düşük yağ içeriğine sahiptir. Fenolik bileşikler gibi yararlı organik asit, şeker, ham lif ve mineralce zengindir. Bunlar kalp ve beyin için hipoglisemik, antiflammatuar, antikanserojen ve antialerjik özellik göstermektedir (Szychowski vd., 2018).

Ayva, sitrik asit ve askorbik asit ile antioksidan kapasitesine katkıda bulunan fenolik bileşiklere sahiptir. Fenolik bileşikler sayesinde sahip olduğu karakteristik kokusuyla birlikte raf ömrünün uzamasına yardımcı olur (Gheisari ve Abhari, 2014).

Askorbik asidin yanı sıra, oksalik asit, malik asit, kinik asit ve fumarik asit türevlerini de içermektedir. Meyvenin pulp ve kabuklarında aspartik ve glutamik asit, sistein ve hidroksiprolin bolca bulunurken, çekirdek kısmı glutamik ve aspartik asitlerce zengindir (Gironés-Vilaplana vd., 2014).

Organik asitlerden daha çok malik asit ve kinik asit ayvanın karakteristik özelliklerini ortaya çıkarmaktadır. Şekerlerden ise glikoz, früktoz, maltoz ve sükrozu barındırmaktadır. Yapılan çalışmalarda 85 uçucu yağın ayvanın bünyesindeki eşsiz kokunun ortaya çıkmasında rol aldığı belirtilmiştir. (Hernández-García ve Carbonell-Barrachina, 2020).

Birçok çalışma ayvanın flavanoidler ve fenolik asitler bakımından doğal ve en ucuz antioksidan kaynağı olduğunu göstermektedir. Fenolik bileşikler meyvede eşit oranda dağılmazlar, genellikle kabuk kısımları etli bölüme oranla en az 2 kat daha fazla fenolik bileşik içermektedir. Kabuk kısmı kanser hücrelerine karşı daha yüksek aktiviteye sahip antioksidan içermektedir (Gheisari ve Abhari, 2014).

Ayva, son 10 yıldır bilim adamları ve beslenme uzmanları tarafından büyük ilgi görmektedir. Etli kısım, kabuk, çekirdek ve pulp olmak üzere farklı bölgelerde 27 polifenolik bileşik tanımlanmıştır (Hernández-García ve Carbonell-Barrachina, 2020).

Ayvanın buruk tadı ve kumsu yapısı nedeniyle taze olarak tüketimi çok tercih edilmemektedir. Bunun yerine reçel, püre, marmelat yapımı, kurutma, şurup yapımı, pastörize meyve suyu yapımı ve aroma malzemesi olarak farklı şekillerde yaygın olarak tüketilmektedir (Gironés-Vilaplana vd., 2014).

4
AYVANIN KURUTULMASI İLE İLGİLİ YAPILAN BAZI ÇALIŞMALAR

Bu bölümde seçilen kurutma çeşitleri ve ayva meyvesiyle ilgili daha önce yapılmış olan çalışmalar özetlenmiştir.

Kaya vd. (2007), ayva meyvesi dilimlerinin kurutma kinetiğini incelemişlerdir. Deney 3 farklı sıcaklık (35, 45 ve 55°C'de), 3 farklı hava hızı (0,2, 0,4 ve 0,6 m/s) ve 3 farklı bağıl nemde (%40, %55 ve %70) gerçekleştirilmiştir. Ayvalar 4 mm kalınlığında dilimler halinde kesilmiştir. Taze ayva dilimlerinin nem içeriği %82,5 olarak ölçülmüştür. Denemeler en az 3 tekrar olacak şekilde gerçekleştirilmiştir. Sonuç olarak, sıcaklığın veya kurutma hızının artması kurutma zamanını düşürmektedir. Sıcaklığı 35°C'de ve %40 bağıl nemde hava hızı 0,2 m/s'den 0,6 m/s'ye çıktığında toplam kurutma zamanının %18,9 azaldığı gözlenmiştir. Kurutma havasının hızı 0,2 m/s ve %40 bağıl nemde iken sıcaklık 35°C'den 55°C'ye çıktığında kurutma zamanının %55 azaldığı gözlenmiştir. Sıcaklığı 35°C'de ve 0,2 m/s kurutma havası hızında iken bağıl nem %70'ten %40'a düşürüldüğünde toplam kurutma zamanı da %64,4 oranında azalma göstermiştir. Bununla birlikte sabit su aktivitesi değerinde, sıcaklığın artmasıyla nem içeriğinin azaldığı tespit edilmiştir. Sabit sıcaklıkta ise su aktivitesinin artmasıyla nem içeriği de artmıştır.

Koç vd. (2008), farklı kurutma metotları ile kurutulan ayva dilimlerinin yoğunluğunun, gözenek yapısının ve büzülme davranışının modellenmesi üzerine çalışmışlardır. Ayva dilimlerinin kurutulmasında 4 farklı metot kullanılmıştır. Bunlar, akışkan yataklı ve tepsili kurutuculardaki konvektif kurutma, hava destekli infrared kurutma, geleneksel kuruma yöntemi ile kombine edilmiş osmotik kurutma ve dondurarak kurutmadır. Konvektif kurutma 1,4 m/s hava hızında, 70°C'de gerçekleşmiştir. Hava destekli infrared kurutma için laboratuvar tipli kurutucu kullanılmıştır. Sıcaklık 70°C'de sabitlenmiştir. Geleneksel kurutma ile kombine ozmotik kurutma yönteminde, geleneksel kurutmadan önce ayva dilimi örnekleri 40°C'de %50'lik sükroz çözeltisi içerisinde 6 saat bekletilmiştir. Daha sonra konvektif kurutmada olduğu gibi 70°C'de ve 1,4 m/s hava hızında kurutma devam etmiştir. Ayva dilimlerinin ozmotik dehidrasyon aşamasında %40-45

oranında su kaybettiği tespit edilmiştir. Dondurarak kurutmada ise 0,014 mbar basınçta ve –50°C'de kurutma gerçekleştirilmiştir. Sonuç olarak kurutma yönteminde sadece yoğunluk etkilenmemiştir. Dondurarak kurutulmuş ayva dilimleri en yüksek gözenekliliğe sahipken, ozmotik kurutulmuş ayva dilimlerinin en düşük gözeneklilik değerine sahip olduğu tespit edilmiştir. Büzülme katsayısı nem içeriği azaldıkça azalmıştır. Dondurarak kurutulmuş ayva dilimlerinde sınırlı büzülme olduğu gözlenmiştir.

Barroca ve Guiné (2012), ayva meyvesinin kurutulmasında hava sıcaklığının ve hızının kurutma kinetiğine olan etkisini incelemişlerdir. Ayvalar 0,3 mm kalınlığında dilimlenmiştir. Kurutma işlemi için ızgaralı sepeti olan standart bir kurutucu kullanılmıştır. Hava akışı örneklerin kuruma yüzeylerine paralel olacak şekilde ayarlanmıştır. Kurutma sıcaklıkları 40, 50 ve 60°C iken, hava hızı 0,7, 0,9 ve 1,2 m/s'dir. Kurutma sıcaklığının 40°C'den 60°C'ye yükselmesi kurutma zamanını %30 azalttığı gözlenmiştir. Sıcaklığın artmasıyla kurutma zamanının azaldığı gözlenmiştir. Ayva dilimlerinin kurutma zamanları 40°C'de 8,2 saat, buna karşılık 60°C'de 6 saat olduğu saptanmıştır. Sıcaklık 60°C'de sabitken, hava hızının 0,7'den 1,2 m/s'ye yükselmesi ile daha yüksek bir kurutma hızı ortaya çıkmıştır. Kurutma kinetiğini tanımlamak için kullanılan modellerden en uygun modelin Modified Page olduğu tespit edilmiştir.

Adhami vd. (2013) yaptıkları çalışmada ise, ayvaları püre haline getirdikten sonra dondurarak kurutucuda kurutarak ürünün nem içeriğinin ve cihaz gücünün kurutma hızı ve performansı üzerine etkilerini incelemişlerdir. Nem miktarının deneysel verileri doğrusal olmayan bir regresyon ile ilişkilendirilip uygun bir matematiksel model elde edilmiştir. Deney sonunda ısı yükünün kurutma hızına en çok etki eden parametre olduğu belirlenmiştir. Isı yükü arttıkça kurutma zamanı azalmıştır. Başlangıç nem içeriği yüksek olan örneklerin kuruma zamanının daha fazla olduğu tespit edilmiştir. Sıcaklık-zaman grafiği incelendiğinde kurutma prosesinin başında eğri bir miktar düşme göstermiştir. Sebebinin yüksek süblimasyondan dolayı ürün sıcaklığında ani düşmelerin olmasından kaynaklandığı ileri sürülmüştür.

Aktaş vd. (2013), infrared ışınımlı bir kurutucu tasarımı yapıp, ayva dilimlerinin kurutulmasında enerji geri kazanımı, cihazın verimi ve kurutma zamanı gibi parametreleri incelemişlerdir. Ayvalar 4-5 mm kalınlığında dilimlendikten sonra

kurutulmuştur. Başlangıçta 3,89 g su/g kuru madde neme sahip olan ayva dilimleri 0,16 g su /g kuru maddeye kadar kurutulmuştur. Ayva dilimleri 35°C ve 40°C olmak üzere 2 farklı sıcaklıkta kurutulmuşlardır. Kurutma havası hızı ise 1,22 m/s, 1,83 m/s ve 2,45 m/s olmak üzere 3 farklı hızda ayarlanmıştır. Deney sonucunda en kısa kurutma zamanı 40°C'de ve 1,22 m/s hava hızında 240 dakika iken en uzun kurutma zamanı ise 35°C'de 2,45 m/s hava hızında 390 dakika hesaplanmıştır. Ayva dilimleri başlangıç nem miktarından son nem miktarına toplamda 315 dakika sonra ulaşmıştır. Ortalama geri kazanım %37,5 olarak hesaplanmıştır.

İçier vd. (2013), ayva dilimlerinin elektriksel ve ultrasonik ön işlemler uyguladıktan sonra ozmotik kurutulmasını incelemişlerdir. Çalışmada kurutma sonucu özellikle renk, doku ve su aktivitesi irdelenmiştir. Ayvalar 6×40 ×10 mm boyutlarında kesilmiştir. Ozmotik çözelti olarak %50'lik sakkaroz çözeltisi kullanılmıştır. Ayvalar dilimlendikten sonra %1 askorbik asit ve %0,2 sitrik asit içeren çözeltiye 5 dakika daldırılmıştır. Örneklerden biri ön işlem uygulanmadan sakkaroz çözeltisi içerisinde ozmotik kurutmaya bırakılmıştır. Kalan örneklerin yarısı ultrasonik ön işlemden geçmektedir. Örneklere 195 W güç seviyesinde, 30°C'de 15 s ultrasonik ön işlem uygulandıktan sonra kurutmaya geçilmiştir. Elektriksel ön işlem yapılmak istendiğinde ise 60 W/s'de 15 s boyunca uygulandıktan sonra ozmotik kurutma yapılmıştır Ön işlem aşamaları %50'lik sakkaroz çözeltisi ile birlikte bittikten sonra kurutma gerçekleştirilmiştir. Sonuç olarak, ozmotik kurutma öncesi uygulanan ön işlemler sayesinde su kaybının arttığı gözlenmiştir. Ön işlemler kıyaslandığında ise ultrasonik ön işlemin elektriksel ön işleme göre daha fazla su kaybına sebep olduğu görülmüştür. Elektriksel ön işlemin renk parametreleri üzerinde ultrasonik ön işleme göre daha fazla değişim gösterdiği görülmüştür. Doku özelliklerinin ise ultrasonik ön işlem görmüş örnek ile taze örneğin birbirine en yakın olduğu tespit edilmiştir.

Gheisari ve Abhari (2014), yaptıkları çalışmada ayva meyvesini 2 farklı kurutma yöntemi ile kurutup toplam fenolik bileşen ve antioksidan aktivitesini analiz etmişlerdir. Ayva tedarik edildikten sonra 2'ye bölünüp, yarısının kabukları soyulup, etli kısım ile kabuk kısmı ayrılmıştır. Kalan kısmın da yarısı güneşte, diğer yarısı ise fırında kurutularak analiz edilmiştir. Küçük parçalar halinde kesilen ayvaların bir kısmı 28°C'de 30 saat boyunca gün ışığında kurutulurken,

kalanı 50°C'de 5 saat boyunca fırında kurutulmuştur. Sonuç olarak, fırında kurutulan ayva dilimi örneklerinde ve taze ayva kabuklarındaki fenolik bileşiklerin güneşte kurutulan ayva dilimlerinden ve taze ayvanın etli kısmından daha yüksek olduğu gözlenmiştir. Antioksidan aktivitesi en yüksek olan örnek ise fırında kurutulan ayva dilimi örneği olmuştur.

Tzempelikos vd. (2014), ayva dilimlerinin konvektif kurutulmasında kurutma havasının etkisini incelemiştir. Kurutma öncesinde temizlenen ayvalar 12 mm kalınlığında kesilmiştir. Deney %10 sabit nemde, 3 farklı sıcaklık (40, 50 ve 60°C) ve 3 farklı hava hızında (1, 2 ve 3 m/s) gerçekleştirilmiştir. Deney sonucunda, kurutma sıcaklığının veya hava hızının artması toplam kurutma zamanını kısaltmıştır. Hızı 2 m/s olan havanın, kurutma sıcaklığının 40°C'den 60°C'ye çıkması toplam kuruma zamanını yaklaşık %54 azaltmıştır. Diğer yandan 60°C sıcaklıkta iken, kurutma zamanı, hava hızının 1 m/s'den 2 m/s'ye çıkması ile yaklaşık %30 azalma göstermiştir. Deneysel veriler kullanılarak difüzyon katsayısı tahmin edildiğinde, kurutma sıcaklığı veya kurutma havası hızı arttığında difüzyon katsayısının da arttığı gözlemlenmiştir. Tahmini aktivasyon enerjisi değerleri literatür araştırmasındaki aralığa uygunken, kurutma hızındaki artışın aktivasyon enerjisini artırdığı tespit edilmiştir.

Doymaz vd. (2015) yaptıkları çalışmada, ayva dilimlerinin kurutulmasında ön işlemin kurutma ve rehidrasyon kapasitesine olan etkisini incelemişlerdir. Ayvalar 5 mm kalınlıkta dilimlenmiştir. Kurutma cihazı olarak kabin tipi kurutucu tercih edilmiştir. Kabin tipi kurutucuda hava hızı 2 m/s'de sabit tutularak 50, 57, 65 ve 71°C sıcaklıklarda kurutma gerçekleştirilmiştir. Ön işlem olarak ise sitrik asitle muamele ve sıcak suya daldırma denenmiştir. Deneme sonucunda ön işlem görmüş olan örneklerin kurutma hızının standart örneğe göre daha kısa olduğu tespit edilmiştir. En yüksek kurutma hızı sitrik asit ile muamele edilen örneklerde gözlenmiştir. Rehidrasyon kapasitesi en iyi sonuç veren ürünün ise haşlama olduğu çalışmalar sonucunda kaydedilmiştir. Ayva dilimlerinin kurutma kinetiğini anlatmak için R^2 ve RMSE değerlerine göre kurutma modelleri karşılaştırılmıştır. Deneysel verilere en uygun sonucu Page modeli vermiştir. Difüzyon katsayısı $6{,}97 \times 10^{-11}$ ile $2{,}38 \times 10^{-10}$ m^2/s arasında hesaplanmıştır. Sitrik asit ile muamele edilmiş örneğin difüzyon katsayısı en yüksek bulunmuştur.

Karaaslan vd. (2016) yaptıkları çalışmada, mikrodalga kurutmanın ayva dilimlerinde nem oranı ve kurutma hızına etkisini incelemiştir. Ayva dilimleri fan destekli mikrodalga fırında kurutulmuştur. Kullanılan mikrodalga güç seviyeleri sırasıyla 180, 360, 540, 720 ve 900 W'tır. Farklı mikrodalga güç seviyelerinin kurutma hızı ve zamanına olan etkisi araştırılmıştır. Ayvalar 5 mm kalınlığında dilimlendikten sonra 3,75 g su/g kuru madde nem içeriğinden 0,12 g su/g kuru madde nem içeriğine kadar kurutulmuştur. Deneyler sonucunda mikrodalga gücü artışının kurutma hızında önemli derecede bir artışa neden olduğu gözlenmiştir. Böylece kurutma zamanının azaldığı tespit edilmiştir. Kurutmadan elde edilen veriler 10 farklı matematiksel modele uygulanmıştır ve en iyi sonucu Midilli & Küçük eşitliği vermiştir.

Kuş (2016), ayva ve armut dilimlerinin laboratuvar tipli mikrodalga kurutucuda gösterdiği kurutma kinetiğini incelemiştir. Armut dilimleri 5 mm kalınlığında, ayva dilimleri ise 4 mm kalınlığında kesilmiştir. Çalışmada 2000 W ve 2800 W olmak üzere 2 farklı mikrodalga gücü, 0,175 m/dak. 0,210 m/dak. ve 0,245 m/dak. olmak üzere 3 farklı bant hızı kullanılmıştır. Çalışma sonucunda kurutma zamanı, renk değişimi ve enerji tüketimi incelenmiştir. Genel olarak bant hızının artmasıyla kurutma zamanının arttığı gözlenmiştir. Mikrodalga gücünün artması enerji değerini artırırken kurutma zamanını azaltmıştır. Fakat ürün kalitesinde herhangi bir etkisi olmadığı görülmüştür. Araştırmada, armut ve ayva dilimlerinin yaklaşık %11 neme ulaşması için en uygun yöntemin 2800 W güç seviyesinde ve 0,175 m/dak. bant hızındaki kurutma olduğu gözlenmiştir. Meyvelerin renkleri değerlendirildiğinde taze ürüne en yakın sonucun armut için 2800 W gücünde ve 0,175 m/dak. bant hızında elde edilirken, ayva dilimleri için 2000 W gücünde ve 0,175 m/dak. bant hızında olduğu gözlemlenmiştir. Çalışmanın sonucu olarak düşük bant hızında çalışmanın kalite kriterleri açısından daha avantajlı olduğu tespit edilmiştir.

Alaei vd. (2018), infrared destekli vakum kurutma teknolojisi kullanarak yakın ve orta infrared radyasyonun ayva dilimlerinin kurutma kinetiği ve bazı kalite parametreleri üzerine etkisini araştırmışlardır. Ayvalar 3 mm kalınlığında ve 28 mm iç çapında silindirik halkalar halinde kesilmiştir. Deneyler 50, 60, 70°C sıcaklıklarda yakın ve orta infrared radyasyon için 20, 40 ve 60 kPa mutlak basınçlarda gerçekleştirilmiştir. Deney sonucunda ayva dilimlerinin kurutma

zamanı sıcaklık arttıkça ve basınç azaldıkça azalmıştır. Orta infrared radyasyon altındaki kurutma zamanının yakın infrared radyasyon altındaki kurutma zamanından 3-28 dakika daha düşük olduğu tespit edilmiştir. Farklı kurutma koşullarında, yakın infrared radyasyon altında toplam renk değişimi ve büzülme değerleri orta infrared radyasyondan az olacak şekilde sırasıyla 5,5 - 25,4 ve %40,4 - 64,5 aralığında bulunmuştur. Bununla birlikte orta infrared radyasyon altında vakum kurutma ile daha kısa sürede kurutma gerçekleştiği için enerji tüketimi düşük olmuştur. Ayva dilimleri kalite açısından değerlendirildiğinde ise yakın infrared radyasyon altında vakum kurutmanın daha iyi sonuçlar verdiği gözlenmiştir.

Elmizadeh vd. (2018), konvektif ve elektrohidrodinamik kurutma yöntemiyle ayva dilimleri kurutulduktan sonra örneklerin absorpsiyon kapasitesi, nem miktarı, renk özellikleri ve büzülme değerlerini incelemiştir. Ayvalar 2 mm kalınlığında dilimlenmiştir. Elektrohidrodinamik kurutma 70°C sabit sıcaklıkta ve 5, 7 ve 9 kW güçte gerçekleştirilmiştir. Konvektif kurutma ise 50, 60 ve 70°C sıcaklıklarda ve 1 m/s hava hızında gerçekleşmiştir. Çalışma sonucunda kurutulan örneklerin absorpsiyon kapasitesi karşılaştırıldığında arada önemli farkların olmadığı gözlenmiştir. Kullanılan gücün artmasıyla absorpsiyon kapasitesi ve renk kalitesi artarken, kesme dayanımının azaldığı gözlenmiştir. Örneklerin 5, 7 ve 9 kW gücünde kurutulması arasında renk farkının çok belirgin olmadığı tespit edilmiştir.

İzli ve Polat (2019) yaptıkları çalışmada, ayva dilimlerinin konvektif ve dondurarak kurutulması arasındaki farklar ve kurutma kinetiği incelenmiştir. Ayvalar 0,7 cm^3'lük küpler halinde kesilmiştir. Konvektif kurutmada 45, 55, 65 ve 75°C sıcaklıklarda kurutma işlemi gerçekleşmiştir. Dondurarak kurutma ise 52 Pa basınçta ve –50°C'de ayva dilimi örneklerine uygulanmıştır. Kurutma sonrası renk parametrelerinden L, a ve b değerleri kaydedilmiştir. Konvektif kurutmada kurutma zamanının sırasıyla 120, 90, 70 ve 50 dakika olduğu gözlenmiştir. Dondurarak kurutmada istenilen nem seviyesine ulaşmak 7 saat sürmüştür. Konvektif kurutmada sıcaklığın 45°C'den 75°C'ye yükselmesiyle kurutma zamanı %58,33 azalmıştır. L ve b değerleri taze örneğe en yakın olan kurutma çeşidi dondurarak kurutma olmuştur. Rehidrasyon değeri ve SEM mikroskobu

görüntülerine bakıldığında yine dondurarak kurutma ile kurutulmuş örneklerin taze örneğe en yakın olduğu görülmüştür.

Szychowski vd. (2018) yaptıkları bir çalışmada, farklı kurutma metotlarının, ayva meyvesinin Leskovač çeşidinde kurutma kinetiği, biyoaktif bileşik miktarı, antioksidan aktivitesi ve duyusal özelliklerine etkisini incelemişlerdir. Kurutmadan önce ayva örnekleri 3 cm kalınlığında dilimlenmiştir. Çalışmada kurutma çeşidi olarak konvektif kurutma, vakum-mikrodalga kurutma, konvektif kurutma destekli vakum-mikrodalga kurutma ve dondurarak kurutma kullanılmıştır. Konvektif kurutma 50, 60 ve 70°C sıcaklıklarda, vakum-mikrodalga kurutma 120, 240, 480 ve 480'den 120 W'a olacak şekilde 5 farklı değerde kurutulmuştur. Kombine kurutmada ön kurutma olarak konvektif kurutma 50, 60 ve 70°C sıcaklıklarda yapıldıktan sonra vakum-mikrodalga kurutma gücü 480 W'tan 120 W'a düşürülerek nem miktarı 0,5 kg/kg (kuru ağırlıkça) a ulaşıncaya kadar kurutma devam etmiştir. Dördüncü kurutma yöntemi olan dondurarak kurutmada ise örnekler –60°C sıcaklık ve 0,960 kPa basınçta kurutulmuştur. Deney sonunda en yüksek antioksidan aktivitesi dondurarak kurutma ile kurutulan örneklerde ölçülmüştür. En düşük antioksidan aktivitesi ise vakum-mikrodalga kurutma ile 480 W-120 W gücünde elde edilmiştir. Kontrol örneğine en yakın tat ve lezzet yine dondurarak kurutmada elde edilirken, 480 W güç seviyesinde vakum mikrodalga kurutma ile en yakın renk elde edilmiştir.

Bilaloğlu (2019) tarafından yapılan çalışmada, farklı kurutma yöntemlerinin ayva meyvesinin kurutma karakteristiğine etkisini incelemiştir. Ayvalar 6 ve 15 mm olmak üzere 2 farklı boyutta kesilmiştir. Ayva dilimlerine herhangi bir ön işlem uygulanmadan 3 farklı kurutma yöntemi ile kurutma denenmiştir. Örneklerin nem miktarları, kurutma efektif difüzyon katsayıları ve kurutma hızları tayin edilmiştir. Kurutma deneyleri için mikrodalga, dondurarak kurutma ve laboratuvar tipli fırın kullanılmıştır. Mikrodalga yöntemiyle kurutmada 120, 350 ve 700 W olmak üzere 3 farklı güç seviyesi kullanılmıştır. Laboratuvar tipli fırında 105, 110 ve 120°C olmak üzere 3 farklı sıcaklık uygulanmıştır. Dondurarak kurutma ise –45°C sıcaklık ve 0,352 torr basınçta gerçekleştirilmiştir. Deney sonuçlarında, mikrodalga güç seviyesinin artmasıyla kurutma zamanının kısaldığı tespit edilmiştir. Örnek kalınlığı azaldıkça nem daha kolay uzaklaşmakta ve kurutma zamanı azalmaktadır. Mikrodalga kurutmada efektif difüzyon katsayısının

$1{,}241 \times 10^{-9}$ ile $1{,}588 \times 10^{-7}$ m^2/s aralığında olduğu gözlenmiştir. Bu verilerin literatürde yapılan çalışmalardan daha yüksek olduğu ortaya çıkmıştır. Laboratuvar tipli fırında, sıcaklık artışına bağlı olarak kurutma zamanı azalırken nem kaybı artmıştır. Kurutma zamanı 50 dakikadan 130 dakikaya kadar değişim göstermiştir. Dondurarak kurutmada ise en yüksek kurutma zamanı 420 dakika olarak tespit edilmiştir. Bu süre sonunda nem %7'ye kadar düşmüştür. Örnek kalınlığının artmasıyla yüzeyden nemin transferi daha zor olmuştur. Sonuç olarak minimum enerji tüketimi ile daha kısa sürede mikrodalga ile kurutma yöntemi sonuç vermiştir.

Turkiewicz vd. (2021), farklı kurutma yöntemleriyle elde edilen Japon ayvası ekstraktının kalite parametrelerini, antioksidan özelliklerini ve bazı biyolojik aktivitelerini incelemişlerdir. Kurutma yöntemi olarak dondurarak kurutma, sprey kurutma ve vakum kurutma çeşitleri kullanılmıştır. Ayvalar tedarik edildikten sonra yıkanıp, parçalanıp püre haline getirilmiştir. Ekstrakt elde edebilmek için püreden pres, santrifüj ve bazı çözücüler kullanılarak organik asit ve şekerler uzaklaştırılmıştır. Ayvadan elde edilen sıvı örnekler, dondurarak kurutma yönteminde 0,220 mbar basınçta ve –30°C sıcaklıkta 24 saat boyunca kurutulurken, sprey kurutmada dakikada 40 ml örnek beslenerek 180°C de kurutma işlemi gerçekleştirilmiştir. Vakum kurutmada ise 1 kPa basınçta 50, 70 ve 90°C de sırasıyla 72, 48 ve 24 saat boyunca kurutma işlemi gerçekleştirilmiştir. Deneyler sonucunda Japon ayva meyvesinden elde edilen ekstraktın özellikle fenolik bileşiklerden flavan-3-ol grubunca zengin olduğu tespit edilmiştir. Bu grup toplam fenolik bileşiklerin %53,4'ünü oluşturmaktadır. Sprey kurutma, dondurarak kurutma ile kıyaslandığında biyoaktif bileşenlerin tutulmasında en yüksek aktiviteyi göstermiştir. Diğer yandan vakum kurutma ile kurutulan örnekler oksidasyon işlemine en düşük duyarlılık gösteren parametreleri sağlamıştır. Özellikle 50 ve 70°C'de vakum kurutma uygulanması yüksek bir antioksidan potansiyeli kapasitesi olduğunu göstermiştir.

Karakaya ve Balta (2021) tarafından yapılan bir çalışmada, Eşme ayva çeşidinin pH, vitamin, renk özelliği, suda çözünebilir kuru madde, toplam fenolik bileşen ve antioksidan aktivitesi gibi bazı özelliklerine farklı kurutma çeşitlerinin etkisi araştırılmıştır. Kurutma işlemi 3 farklı yöntem ile farklı sıcaklıklarda gerçekleşmiştir. Gölgede konvektif kurutma, etüvde kurutma ve mikrodalgada

kurutma kullanılmıştır. Ayvalar 5 mm kalınlığında dilimlendikten sonra, etüvde 65°C sıcaklıkta ve mikrodalgada 360 W güç seviyesinde kurutma işlemine tabi tutulmuştur. Renk özellikleri incelendiğinde konvektif kurutma ile etüvde kurutulmuş örnekler arasında önemli farklılıkların olmadığı fakat mikrodalga ile kurutulmuş olan örneklerde farklılık olduğu tespit edilmiştir. Ayva dilimleri pH, suda çözünebilir kuru madde ve titre edilebilir asitlik bakımından incelendiğinde ise konvektif kurutulmuş ayva dilimleri ile mikrodalgada kurutulmuş ayva dilimlerinin pH'ı birbirine çok yakın bulunmuştur. Suda çözünebilir kuru madde oranları sırasıyla etüv, konvektif ve mikrodalga kurutma olacak şekilde azalmıştır. Titre edilebilir asitlik ayva dilimlerinin kurutma yönteminden etkilenmemiştir. C vitamini oranı ise en fazla mikrodalga da kurutulan ayva dilimi örneklerinde bulunmuştur. Toplam fenolik bileşik ve antioksidan miktarı incelendiğinde konvektif ve etüvde kurutma yöntemleriyle kurutulmuş örneklerde, mikrodalga ile kurutulmuş örneklere göre daha yüksek olduğu gözlenmiştir.

Yıldırım ve Sipahioğlu (2021), ultrases ve kaplama ön işlemlerinin kurutulmuş ayva dilimlerinin fizikokimyasal kalitesi üzerine etkisini araştırmışlardır. Ayva dilimleri kurutma prosesi öncesinde 24 saat boyunca 70°C'de etüvde ve 105°C'de infrared kurutma ile kurutulmuştur. Ultrases uygulanmış olan örnekler kaplanması için sodyum aljinat ve düşük metoksil pektin içerisine daldırılarak bekletilmiştir. Kurutulmuş ayva dilimlerinin nem, kül, yağ, protein, suda çözünebilir kuru madde ve titrasyon asitliği tespit edilmiştir. Ayrıca örnekler arasındaki pH, su aktivitesi, rehidrasyon oranı, renk maddeleri, toplam fenolik bileşikler ve antioksidan miktarları kıyaslanmıştır. Ultrases uygulanan örneklerde rehidrasyon kapasitesi ve antioksidan değeri artış göstermiştir. Kaplamanın kurutulmuş gıdanın yüzeyinde nem ve gaz bariyeri olduğu kabul edilmiştir. Gıdanın nem ve oksijen ile temasını azaltarak raf ömrünün uzamasına katkı sağlamıştır. Ayrıca kaplama ile gıdanın renk özelliklerinin ve toplam fenolik bileşik miktarının korunduğu gözlenmiştir. Çalışmanın sonucuna göre ayva dilimlerinin antioksidan aktivite, toplam fenolik bileşik ve bazı tekstürel özelliklerini korumak amacıyla yenilebilir kaplamaların kullanılması önerilebilmektedir.

Kutlu (2022) tarafından yapılan çalışmada, ayva dilimlerinin ozmotik kurutma için ohmik ısıtma sistemini kullanmıştır. Ozmotik kurutmadan sonra ayva dilimi örnekleri mikrodalga ile kurutulmuştur. Ohmik ısıtma kullanılarak ozmotik

kurutmanın farklı sükroz değerlerinde (%0, %25, %50), farklı bekleme sürelerinde (10, 20, 30 dakika) ve farklı elektrik alan kuvvetlerde (20, 30, 40 V/cm) dielektrik sabiti, dielektrik kayıp faktörü, rehidrasyon değeri, total fenolik bileşik ve renk değerlerine etkisi RSM (Yanıt Yüzey Yöntemi) kullanılarak araştırılmıştır. Örnekler ohmik ısıtma hücresine şeker çözeltisi ile yerleştirilmiştir. Ohmik ısıtma hücresinin sıcaklığı 40°C'ye ayarlanmıştır. Ozmotik kurutma işlemi tamamlandıktan sonra ayva dilimi örnekleri 90, 180 ve 270 W güç seviyelerinde mikrodalga ile kurutulmuştur. Sonuç olarak ozmotik kurutma için ohmik ısıtmanın kullanımı ve ardından mikrodalga kurutma uygulanması ayva dilimi örnekleri için başarı ile sonuçlanmıştır. Bekleme süresi dielektrik özellikler üzerinde olumlu etki gösterirken elektrik alan gücü, mikrodalga gücü ve sükroz konsantrasyonlarında olumsuz sonuçlar gözlenmiştir. Elektrik alan ve mikrodalga gücü arttıkça rehidrasyon değerinin arttığı gözlenmiştir. Toplam fenolik bileşik sadece mikrodalga gücünden etkilenerek doğru orantı ile artış göstermiştir. Bekleme süresi ve sükroz konsantrasyonu renk değerlerine etkide bulunmamıştır. Çalışmanın sonucu olarak optimum koşullar altında fiziksel ve kimyasal özellikleri kontrol örneğinden daha iyi sonuçlar veren ayva dilimi örnekleri elde edilmiştir.

5
MATERYAL VE YÖNTEM

5.1 Materyal

Bu çalışmada, Şekil 5.1'de görülen ayva meyvesi (*Cydonia oblonga*), İstanbul'da yerel bir marketten tedarik edilmiştir. Ürünler seçilirken benzer boyutta olmalarına özen gösterilmiştir. Ayvaların ortalama çapı 7,5 cm ve ortalama ağırlığı ise 265 g olarak belirlenmiştir. Meyve eti sulu ve serttir. Laboratuvar denemeleri yapılıncaya kadar örnekler +4°C'de soğutucuda muhafaza edilmiştir. Ön işlem uygulaması için Merck markalı sodyum metabisülfit ($Na_2S_2O_5$) ve sitrik asit ($C_6H_8O_7$) kullanılarak %1'lik sodyum metabisülfit (SMBS) ve %2'lik sitrik asit (SA) çözeltileri hazırlanmıştır.



Şekil 5.1 Deneylerde kullanılan ayva meyvesi

5.2 Deneylerde Kullanılan Cihazlar

5.2.1 Kabin Tipi Kurutucu

Ayva dilimleri, Şekil 5.2'de bulunan kabin tipi kurutucu (APV & Pasilac Ltd., Carlisle, Cumbria, UK) kullanılarak kurutulmuştur. Kabin tipi kurutucular, gıdaların uygun sıcaklık ve hava akımında kurutulması için ayarlanan ve içerisinde gıdaların üzerine konularak kurutma işleminin yapılması için bulunan laboratuvar tipi kurutuculardır. Bu kurutucu çelikten yapılmış ve yalıtkan madde ile kaplanmıştır. Kurutucu içindeki hava sürekli sirkülasyon halindedir. Bu havanın hızı, elektrik motoru (0,37 kW gücünde) ile çalışan bir sirkülasyon

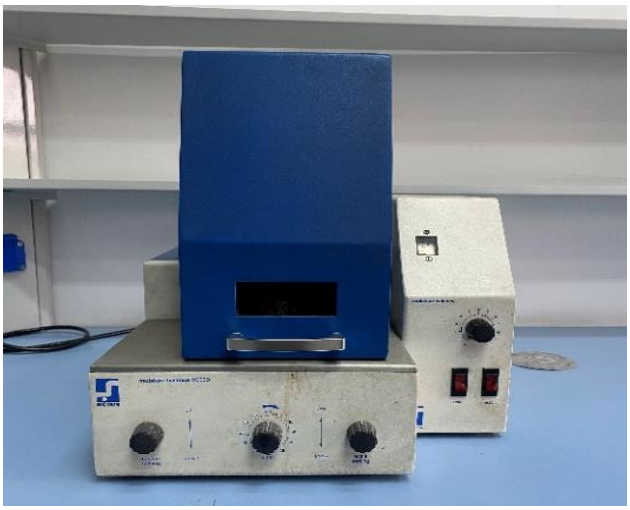
fanıyla kontrol edilebilmektedir. Fanın karşısında 14 adet şerit ısıtıcı bulunur ve bu ısıtıcılar kullanılacak olan havanın ısıtılmasını sağlar. Bu kurutucuda en yüksek çalışılabilecek sıcaklık 200°C'dir.



Şekil 5.2 Kabin tipi kurutucu

5.2.2 İnfrared Kurutucu

Diğer kurutma işlemi için kullanılan Şekil 5.3'te bulunan infrared kurutucu içerisinde (Snijders, Hollanda), 250 W halojen lamba bulunmaktadır. Çeşitli IR güç seviyeleri ile (50, 62, 74, 88 W) kurutma işlemleri gerçekleştirilmiştir.



Şekil 5.3 İnfrared kurutucu

5.2.3 Terazi

Kurutma işlemleri sonrasında ayva dilimlerinin ağırlıkları Mettler-Toledo markalı terazi (Mettler-Toledo AG, model BB3000, Grefensee, İsviçre) ile ölçülmüştür. Şekil 5.4'te görülen dijital terazi, tartımları 0-3000 gr aralığında ± 0,1 hassasiyetle yapmaktadır.



Şekil 5.4 Terazi

5.2.4 Etüv

Ayva dilimlerinin içerdiği kuru madde miktarını ölçmek için Şekil 5.5 ile gösterilen Selecta (İspanya) marka etüv kullanılmıştır. Ayva dilimleri ölçüm yapılabilmesi için ağırlıkları sabit tartıma gelene kadar 105°C'ye ayarlanan etüvde bırakılmıştır.



Şekil 5.5 Etüv

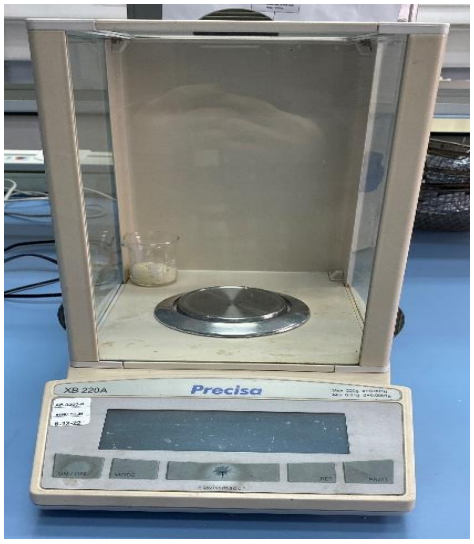
5.2.5 Diğer Ekipmanlar

Kuru madde tayini yapılacak olan ayva dilimleri etüvden çıkarılmış ve soğuması için Şekil 5.6'da bulunan desikatörde 20 dakika bekletilmiştir.



Şekil 5.6 Desikatör

Nem tayini sırasında ayva dilimlerinin ağırlıkları ölçülürken Precisa markalı hassas terazi (Precisa Instruments AG, Dietikon, İsviçre) kullanılmıştır. Şekil 5.7'de görülen hassas terazi, tartımları 0,0001 g hassasiyetle yapmaktadır.



Şekil 5.7 Hassas terazi

Deneyler sırasında kullanılan ayva dilimleri kurutma işlemi bittikten sonra laboratuvar koşulları altında yaklaşık 15 dakika soğutularak düşük yoğunluklu polietilen (LDPE) torbalara doldurularak muhafaza edilmiştir. Örneklerin oksijen

ile temasını engellemek amacıyla torbaların ağzı, Şekil 5.8'de bulunan KRUPS marka (Fransa) cihaz kullanılarak kapatılmıştır.



Şekil 5.8 Düşük yoğunluklu polietilen (LDPE) kapatma makinesi

Ayva dilimi örneklerinin renk ölçümleri Şekil 5.9'da bulunan renk cihazı (CR-400 Model Colorimeter, Konica Minolta, Japonya) ile yapılmıştır. Kabin kurutma, infrared kurutma ve kombine kurutma ile elde edilen tüm örneklerde renk ölçümleri yapılmıştır.



Şekil 5.9 Renk ölçüm cihazı

5.3 Yöntemler

5.3.1 Kuru Madde Tayini

Ayva dilimlerinin kuru madde miktarını belirlemek amacıyla öncelikle ayva dilimlerinin konulacağı örnek kabının darası alınmış ve ayva dilimlerinden yaklaşık 3 g tartım yapılmıştır. Örneğin kurutulması, Şekil 5.5'te bulunan etüvde (Selecta, Barcelona, Spain), 105°C'de, yaklaşık 5 saat sabit tartıma gelene kadar yapılmıştır. Kuruyan örnekler, kalan nemin uzaklaştırılması için etüvden alınarak Şekil 5.6'da bulunan desikatöre konulmuştur ve örneklerin soğuması için 20 dakika bekletilmiştir. Soğuyan örnekler desikatörden alınarak Şekil 5.7'de bulunan hassas terazide tartımı yapılmıştır.

Tartımların sonuçlarına göre örneklerin kuru madde ve nem miktarlarının hesabı Denklem (5.1) ve (5.2)'ye göre yapılmıştır:

$$Kuru\ madde\ (\%) = \frac{m_2 - m_0}{m_1 - m_0} \times 100 \quad (5.1)$$

$$Nem\ içeriği\ (\%) = 100 - \%\ Kuru\ madde \quad (5.2)$$

m_0= Örnek kabının ağırlığı (g)

m_1= Örnek kabının ve örneğin kurutma işlemi öncesindeki toplam ağırlıkları (g)

m_2= Örnek kabının ve örneğin kurutma işlemi sonrasındaki toplam ağırlıkları (g)

olarak ifade edilmektedir.

5.3.2 Ön İşlem Çözeltilerinin Hazırlanması

Ön işlem uygulaması için 2 çeşit çözelti kullanılmıştır. Sodyum metabisülfit (SMBS) ve sitrik asit (SA) kullanılarak %1'lik SMBS ve %2'lik SA çözeltileri hazırlanmıştır. Her iki çözeltiden 300 g hazırlanmıştır. SMBS çözeltisi için beher içerisine toz formda 3 g sodyum metabisülfit tartılır ve üzerine 297 g saf su ilave edilir. Çözünene kadar karıştırılır. SA çözeltisi için beher içerisine 6 g toz formda sitrik asit tartılır ve üzerine 294 g saf su ilave edilir. Çözünene kadar karıştırılır. Ayva dilimleri hazırlanan çözeltilere 2 dakika boyunca daldırılarak bekletilmiştir.

5.3.3 Sıcak Havalı Kabin Tipi (Konvektif) Kurutucuda Kurutma

Ayva örnekleri bir parçalayıcıda 5 mm kalınlığında kesilmiştir. Daha sonra ayva dilimleri üç sınıfa ayrılmıştır: İlk sınıf herhangi bir işlem görmemiş Kontrol grubunu oluştururken, ikinci sınıf örnekler %2'lik sitrik asit çözeltisi ile ve

üçüncü sınıf örnekler ise %1 sodyum metabisülfit çözeltisi ile muamele edilmiştir. Her iki çözeltide örneklerin kalma süreleri 2 dakikadır.

Ayva dilimi örnekleri (5 mm kalınlığında) ön işlemli ve ön işlemsiz olarak 45, 55, 65 ve 75°C'de kurutulmuştur. Örnekler kurutucu içerisine Şekil 5.10'da yer alan ızgaralı sepet içerisine yaklaşık 60 g konarak kurutulmuştur. Örnekler kabin tipi kurutucuya konduktan sonra her 15 dakikada bir defa olacak şekilde örneklerin ağırlıkları Şekil 5.4'deki gösterilen terazide tartılarak kaydedilmiştir. Kurutma işlemine örneklerdeki nem miktarı %15'e düşünceye dek devam edilmiştir. Kurutucunun hava hızı sabit ve 2 m/s olduğu belirtilmiştir.



Şekil 5.10 Kabin tipi kurutucuda kurutulan ayva dilimleri

Dilim kalınlığının kurutma zamanına etkisini görebilmek amacıyla ayvalar 5, 7 ve 9 mm kalınlığında kesildikten sonra kurutulmuştur. Hiçbir ön işlem uygulanmadan örnekler 55°C sıcaklığında kabin tipi kurutucuda kurutulmuştur. Örnek ağırlıkları 15 dakikada bir olmak üzere tartılarak kaydedilmiştir. Örneklerin nem oranı %15'e ulaştığında kurutma sonlandırılmıştır. Örnekler kurutma işlemi bittikten sonra Şekil 5.8'deki düşük yoğunluklu polietilen (LDPE) torbalara doldurularak muhafaza edilirler.

5.3.4 İnfrared Kurutucuda Kurutma

Hem Kontrol kodlu, hem de ön işlem görmüş 5 mm kalınlığındaki ayva dilimleri 50, 62, 74 ve 88 W IR güç seviyesinde kurutulmuştur. Örnekler infrared kurutucuda bulunan alüminyum hazne içerisine yaklaşık 30 g konarak kurutulmuştur. Hazneye konan örnekler infrared kurutucuya konduktan sonra her 15 dakikada bir defa olacak şekilde örneklerin ağırlıkları not alınmıştır. Bu işlem

örneğin nem oranı %15'e düşüp, kurutma sonlanana kadar devam ettirilir. Örnekler kurutma işlemi bittikten sonra Şekil 5.8'deki düşük yoğunluklu polietilen (LDPE) torbalara doldurularak muhafaza edilirler.

5.3.5 Kombine Kurutma

İnfrared kurutma ile konvektif kurutmanın art arda kullanıldığı kurutma çeşidi kombine kurutma olarak adlandırılmaktadır. Kombine kurutma ile 3 farklı çalışma yapılmıştır. Ön işlemsiz kontrol örnekleri 50 W güç seviyesinde infrared kurutma ile (IRK) 30 dakika boyunca kurutulduktan sonra 55°C'de sıcak havalı kabin tipi kurutma ile (KK) %15 nem değerine ulaşana kadar kurutulmuştur. Diğer çalışmalarda ise yine kontrol örnekleri 50 W güç seviyesinde 60 dakika ve 90 dakika boyunca infrared kurutma ile kurutulduktan sonra 55°C'de sıcak havalı kabin tipi kurutma ile %15 nem değerine ulaşana kadar kurutulmuştur. Örnekler kurutucuya konduktan sonra her 15 dakikada bir defa olacak şekilde örneklerin ağırlıkları not alınmıştır. Bu işlem örneğin nem oranı %15'e düşüp, kurutma sonlanana kadar devam ettirilmiştir. Örnekler kurutma işlemi bittikten sonra Şekil 5.8'deki düşük yoğunluklu polietilen (LDPE) torbalara doldurularak muhafaza edilirler.

5.3.6 Matematiksel Modelleme

Ayva dilimi örneklerinin nem miktarı, yaş baz esas alınıp Denklem (5.3) kullanılarak hesaplanmıştır:

$$M = \frac{m_w}{m_d} \tag{5.3}$$

Bu denklemde, M kg su/kg kuru madde cinsinden nem miktarını ifade ederken, m_d, kg cinsinden kuru madde miktarını, m_w ise kg cinsinden su miktarını ifade etmektedir.

Örneklerin kurutma hızı (KH) Denklem (5.4) kullanılarak hesaplanmıştır:

$$KH = \frac{M_t - M_{t+\Delta t}}{\Delta t} \tag{5.4}$$

Nem oranını (MR) hesaplamak için Denklem (5.5) kullanılmıştır.

$$MR = \frac{M_t - M_e}{M_0 - M_e} \tag{5.5}$$

Bu denklemde M_e, kurutma sırasında havanın denge su miktarını, M_0, kurutma öncesi örnekteki su miktarını ifade etmektedir. M_t ve M_0 değerleri M_e değerine

göre çok büyük değerler olduğundan M_e değeri ihmal edilebilir düzeydedir (Karaaslan ve Tunçer, 2009; Wang vd., 2009).

Nem içeriği ve kurutma zamanı arasındaki ilişkinin sağlanması için deneysel verilerden yararlanarak Tablo 5.1'de gösterilen matematiksel modeller uygulanmış ve istatistiksel açıdan karşılaştırılmıştır.

Tablo 5.1 Kuruma eğrilerinin modelleme denklemleri

Modelin Adı	**Model(1)**
Midilli & Küçük	$MR = \mathrm{a}\exp(-kt^N) + bt$
Wang & Singh	$MR = 1 + \mathrm{a}t + bt^2$
Logaritmik	$MR = \mathrm{a}\exp(-kt) + c$
Vega & Lemus	$MR = (\mathrm{a} + kt)^2$
Page	$MR = \exp(-kt^N)$
Vega-Galvez-I	$MR = \exp(n + kt)$
Henderson & Pabis	$MR = \mathrm{a}\exp(-kt)$
Aghbashlo vd.	$MR = \exp(-\frac{k_1 t}{1 + k_2 t})$

(1) a, b, c, k, k_1, k_2, n ve N: Kurutma sabitleri ve katsayıları

5.3.7 Regresyon Analizi

Regresyon analizinde kullanılan program Statistica (Statsoft, Inc., Tulsa, OK) programıdır. Ürünlerin kurutma eğrilerini belirten denklemi seçmede, R^2 (Regresyon katsayısı) temel ifade olarak alınmıştır. Bununla birlikte χ^2 ve RMSE değerleriyle kullanılan denklemin uygunluğu hesaplanmıştır (Saçılık ve Eliçin, 2006).

$$R^2 = 1 - \frac{\sum(MR_{pre,i} - MR_{exp,i})^2}{\sum_{i=1}^{\infty}(MR_{pre} - MR_{exp,i})^2} \quad (5.6)$$

$$x^2 = \frac{\sum(MR_{exp,i} - MR_{pre,i})^2}{N-n} \quad (5.7)$$

$$RMSE = [\frac{1}{N}\sum_{i=1}^{n}(MR_{pre,i} - MR_{exp,i})^2]^{\frac{1}{2}} \quad (5.8)$$

Burada MR_{pre} tahmin edilen nem oranını, N deneysel veri sayısını, MR_{exp} deneysel nem oranını, ve n denklemdeki katsayı sayısını ifade eder.

Tahminin standart hatasında deneysel değerler arasındaki sapma görülür. Bu sonucun sıfıra yakın olma durumu istenir. Bunun yanında khi-kare değerinde (uyumun iyilik derecesi) azalma olması uyumun arttığını göstermektedir (Akpınar vd., 2003).

5.3.8 Difüzyon Katsayısı

Kurutma işleminin çoğunlukla azalan hız periyodunda meydana geldiği kanıtlanmıştır ve kurutma sırasında nem transferi iç difüzyon ile kontrol edilir. Fick'in ikinci yasası, azalan hız periyodunda kurutma sürecini tanımlamak için yaygın olarak kullanılmaktadır (Kaya vd., 2007).

$$MR = \frac{M-M_e}{M_0-M_e} = \frac{8}{\pi^2}\sum_{n=0}^{\infty}\frac{1}{(2n+1)^2}exp\left(-\frac{(2n+1)^2\,\pi^2 D_{eff}t}{4L^2}\right) \quad (5.9)$$

Bu denklemde, D_{eff} efektif difüzyon katsayısı (m^2/s), L örnek diliminin yarı kalınlığı (m), t ise zamandır (s). Kurutma zamanı uzun olan prosesler için Denklem (5.9)'un ilk terimi kullanılmaktadır. Efektif difüzyon katsayısı için denklem logaritmik formda yazıldığında Denklem (5.10) elde edilir.

$$\ln(\mathrm{MR}) = \ln(\frac{8}{\pi^2}) - \frac{\pi^2 \mathrm{D_{eff}}}{4\mathrm{L}^2}\,\mathrm{t} \quad (5.10)$$

Zamana karşı doğal logaritması alınan MR değerleriyle bir grafik oluşturulmuş ve kurutulan ayva dilimlerinin D_{eff} değerleri, oluşturulan eğrinin eğimi kullanılarak hesaplanmıştır. Kurutma zamanı ve ln (MR) değerleri ile çizilen doğrunun eğimi Denklem (5.11) ile hesaplanır.

$$Eğim = \frac{\pi^2 D_{eff}}{4L^2} \quad (5.11)$$

5.3.9 Aktivasyon Enerjisi

Çoğu gıda maddesinin nem yayılımı, kurutma sıcaklığındaki artışla artar (Hui, 2008). Efektif difüzyon katsayısının sıcaklık ile değişimi, iyi bilinen bir Arrhenius ilişkisi kullanılarak hesaplanmıştır:

$$D_{eff} = D_0\ exp(-\frac{E_A}{R(T+273{,}15)}) \quad (5.12)$$

Bu denklemde D_{eff} efektif difüzyon katsayısını, D_0, m^2/s cinsinden sonsuz sıcaklıkta difüzyon katsayısına eşdeğer sabiti, E_A, kJ/mol cinsinden nem difüzyonu için aktivasyon enerjisini, T, Kelvin cinsinden kurutma sıcaklığını ve R, 8,314 kJ/molK cinsinden ideal gaz sabitini ifade eder.

İnfrared kurutucuda yapılan kurutma çalışmalarında kurutucuda sıcaklık ölçülemediği için aktivasyon enerjisi hesaplanırken Denklem (5.13)'teki Arrhenius denkleminden yararlanılmıştır. Denklemde aktivasyon enerjisi ve difüzyon katsayısı, sıcaklığın yerine infrared güç seviyesi ve kurutulan örnek miktarı ile bağdaştırılmıştır.

$$D_{eff} = D_0 \, exp\left(\frac{-E_A \times m}{P}\right) \tag{5.13}$$

Yukarıda verilen Denklem (5.12) ve Denklem (5.13)'te D_{eff} efektif difüzyon katsayısını (m^2/s), D_0 sonsuz sıcaklıkta difüziviteyi (m^2/s), E_A aktivasyon enerjisini (kJ/kg), P ise infrared güç seviyesini watt cinsinden ifade etmektedir.

5.3.10 Rehidrasyon Kapasitesi

Kurutulmuş ürünlerde aranan önemli özelliklerden birisi de rehidrasyon kapasitesidir. Rehidrasyon, kurutulmuş gıdanın tekrardan su alabilme yeteneğidir. Kurutulmuş gıda, rehidrasyon sonucu taze halinde iken içerdiği nem miktarına ulaşabilirse kaliteli ürün olarak nitelendirilmektedir. Fakat kurutmanın çeşidi ve koşulları gereği gıdanın rehidrasyon kapasitesi değişiklik gösterebilmektedir. Örneğin güneş altında kurutma boyunca sıcaklık kontrol altında tutulamadığı için üründe yanma ve buruşmalar meydana gelebilmektedir. Yanma ve buruşma sonucunda hücrelerin kapilar yapısı bozulur ve rehidrasyon azalır. Rehidrasyon kapasitesi en yüksek olan ürünler dondurarak kurutulmuş gıdalarda gözlenirken, en düşük ürünler ise geleneksel güneş altında kurutma yöntemiyle kurutulan gıdalarda gözlenmiştir (İsmail, 2017).

Bu deneyde beherler içerisine oda sıcaklığında (22°C'de) 300 ml saf su doldurulmuştur. Örnek olarak 45, 55, 65 ve 75°C'de kabin tipi kurutucu ile ve 50, 62, 74 ve 88 W güç seviyesinde infrared kurutucu ile kurutulan örnekler (SA, SMBS ve Kontrol kodlu) kullanılmıştır. Örnekler yaklaşık 2,5 g olacak şekilde hassas terazi ile tartılmıştır. Şekil 5.11'deki gibi oda sıcaklığında saf suyun içerisine daldırılarak 6 saat boyunca tartımlar gözlenmiştir. Her saat başı örnekler çıkarılıp, hassas terazi ile tartılıp, değerler not alınmıştır.



Şekil 5.11 Kurutulmuş ayva dilimi örneklerinde rehidrasyon işlemi

Rehidrasyon kapasitesi aşağıda verilen denklem ile hesaplanmıştır:

$$RK = \frac{W_2 - W_1}{W_1} \quad (5.14)$$

Denklem (5.14)'de *RK* rehidrasyon kapasitesini, W_1 ve W_2 simgeleri sırasıyla kuru madde ve ürün miktarlarını (g) göstermektedir.

5.3.11 Renk Ölçümü

Şekil 5.9'daki renk cihazı ile yapılan ölçümler 3 kere tekrarlanmış, sonuçların ortalaması alınmış ve Hunter Lab skalası baz alınarak kurutulmuş örneklerin renk değerleri yorumlanmıştır. Renk ölçümlerinde L, a ve b değerleri kaydedilmiştir. Parlaklığı ifade eden L, 0-100 arasında değerler alır. 0 yansıma olmadığını ve siyah rengi, 100 yansıma olduğunu ve beyaz rengi ifade eder. a değerinde pozitif olanlar kırmızılığı, negatif olanlar yeşilliği ifade ederken; b değerinde pozitif olanlar sarılığı, negatif olanlar maviliği ifade eder.

5.3.12 Toplam Fenolik ve Antioksidan Miktarlarının Hesaplanması

5.3.12.1 Örnek Ekstraksiyonu

Taze ve kurutulmuş örnekler, katı:sıvı oranı 1:10 olacak şekilde metanol-su (50:50) ile karıştırılmıştır. Ultraturrax (Daihan, HG-15D) kullanılarak örneklerin iyi bir şekilde parçalanması sağlanmıştır. Örnekler ultraturrax ile 10.000 rpm'de 2 dakika boyunca karıştırıldıktan sonra oda sıcaklığında 2 saat çalkalanarak inkübe edilmiştir. İnkübasyonun sonunda örnekler 2800 rpm'de santrifüjlendikten sonra

süpernatant kısmı 0,45 μm'lik bir filtre ile süzülerek ekstraktlar elde edilmiştir (Kayacan vd., 2020).

5.3.12.2 Toplam Fenolik Madde (TFM)

Örneklerin TFM miktarı, Singleton ve Rossi (1965)'nin bellirttiği yöntem modifiye edilerek kullanılmıştır. İçerisinde 0,5 ml ekstrakt olan tüplere 2,5 ml on kat seyreltilmiş Folin Ciocelteau fenol reaktifi eklendikten sonra bu karışıma 2 ml Na_2CO_3 (%7,5) ilave edilmiştir. Karışımın absorbansı 30 dakikalık inkübasyonun ardından bir UV/VIS spektrofotometre (Shimadzu UV-1800, Kyoto, Japonya) ile 760 nm'de ölçülmüştür. Toplam fenolik madde, 100 g kuru madde (mg GAE/100 g KM) başına mg gallik asit eşdeğeri (GAE) olarak ifade edilmiştir.

5.3.12.3 Antioksidan Aktivitesi (AA)

Ekstraktların antioksidan kapasitelerini belirlemek için 2,2-difenil-1-pikrilhidrazil (DPPH) yöntemi kullanılmıştır. DPPH yöntemine göre 0,1 ml ekstrakt 4,9 ml DPPH solüsyonu (4,0 mg/100 ml metanol) ile karıştırılmış ve bu karışım 20 dakika oda sıcaklığında inkübe edilmiştir. Karışımın absorbansı 517 nm'de ölçülmüştür (Singh vd., 2002). Antioksidan kapasite sonuçları, 100 g kuru madde başına mg Trolox eşdeğeri (mg TE/100 g KM) olarak ifade edilmiştir.

5.3.12.4 İstatistiksel Analizler

Analiz sonuçlarının ortalama değerlerini karşılaştırmak için tek yönlü varyans analizi ve Tukey testi her değişken için $p<0.05$ anlamlılık düzeyinde kullanılmıştır. Toplam fenolik madde ve antioksidan aktivite arasındaki ilişkiyi değerlendirmek için ise Pearson korelasyon katsayısı kullanılmıştır.

6
DENEYSEL BULGULAR VE TARTIŞMA

6.1 Kabin Tipi Kurutucuda Kurutma

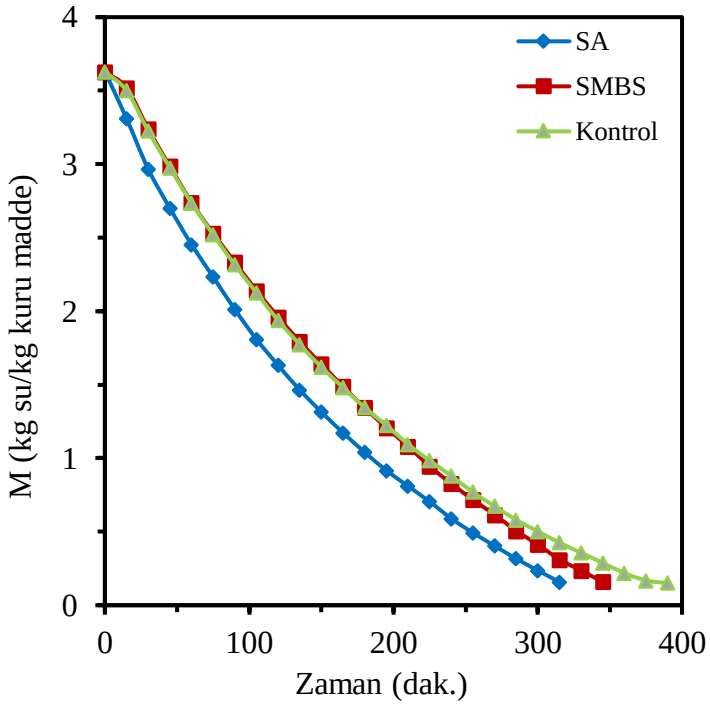
6.1.1 Uygulanan Ön İşlemlerin ve Kullanılan Hava Sıcaklığının Kurutma Zamanına Etkisi

Çalışmada farklı sıcaklıklarda kurutulan ayva dilimleri farklı ön işlemlere tabi tutulmuştur. Tablo 6.1'de farklı ön işlemlere tabi tutulan ve farklı sıcaklıklarda kurutulan ayva dilimlerinin kurutma zamanları gösterilmektedir. Verilerden anlaşıldığı üzere kurutma havasının sıcaklığı arttıkça kurutma zamanı azalmıştır. Ön işlem uygulanan örneklerin Kontrol kodlu örneklerden daha hızlı kuruduğu gözlenmiştir. Sitrik asit ile muamele edilen örneklerin, sodyum metabisülfit ile muamele edilen örneklerden daha kısa sürede kuruduğu tespit edilmiştir.

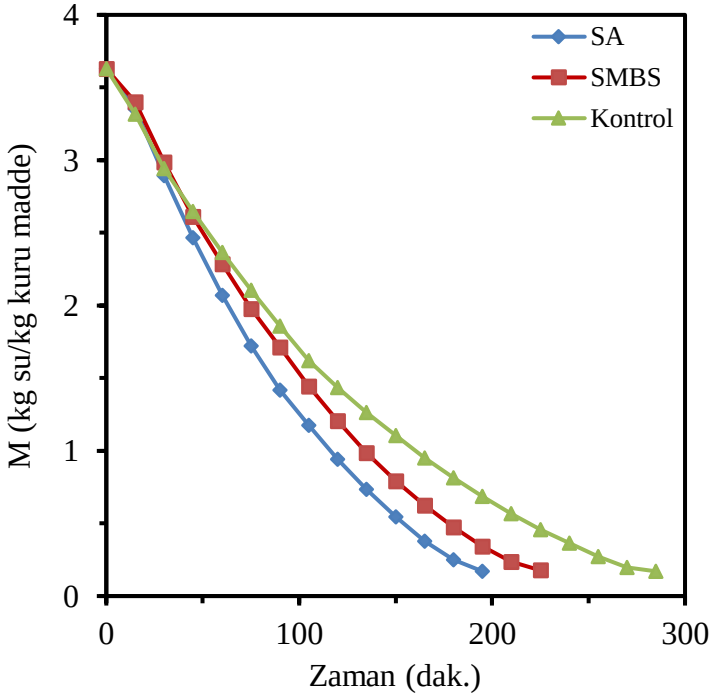
Tablo 6.1 Farklı sıcaklıklarda ve farklı ön işlemler ile kurutulan ayva dilimlerinin kurutma zamanları

Sıcaklık (°C)	**Toplam Kurutma Zamanı (dakika)**		
	SA	**SMBS**	**Kontrol**
45	315	345	390
55	195	225	285
65	165	180	210
75	120	135	150

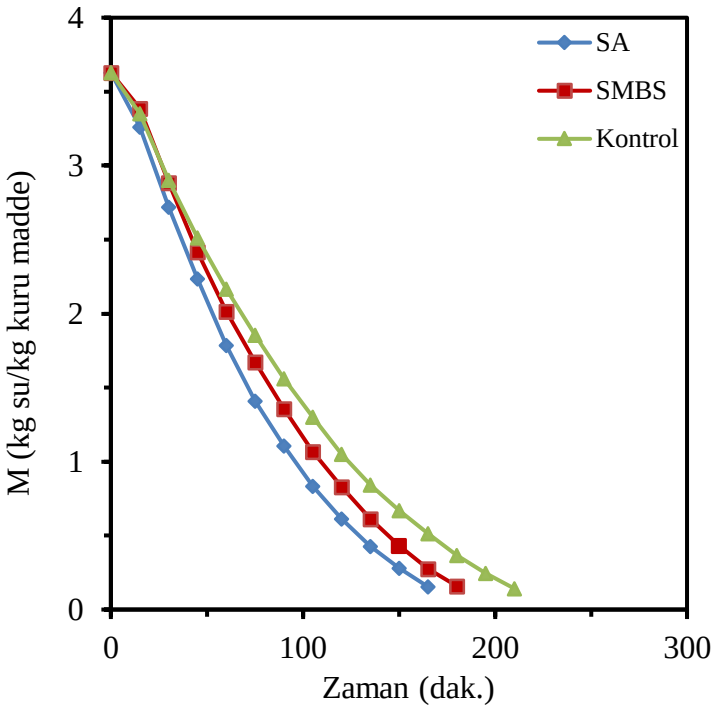
Dört farklı sıcaklıkta gerçekleşen ve ön işlemler uygulanan kurutma prosesi için zamana karşı nem grafikleri her sıcaklık için çizilmiş ve Şekil 6.1-6.4'te gösterilmiştir.



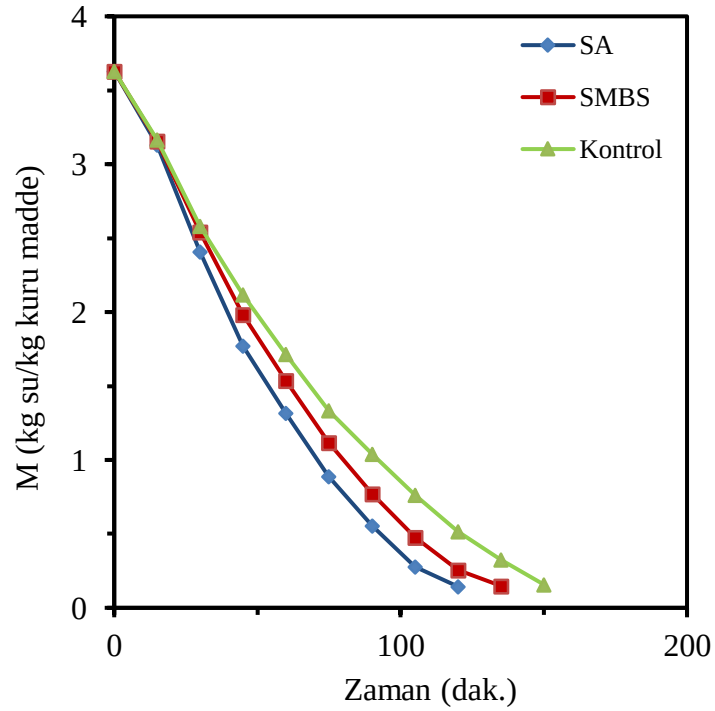
Şekil 6.1 45°C'de kurutulan ayva dilimlerinin nem içeriği-kurutma zamanı grafiği



Şekil 6.2 55°C'de kurutulan ayva dilimlerinin nem içeriği-kurutma zamanı grafiği



Şekil 6.3 65°C'de kurutulan ayva dilimlerinin nem içeriği-kurutma zamanı grafiği



Şekil 6.4 75°C'de kurutulan ayva dilimlerin nem içeriği-kurutma zamanı grafiği

Şekil 6.1-6.4'te görüldüğü gibi ön işlem uygulanmayan kontrol kodlu örneklerdeki ayva dilimlerinin kurutma zamanı ön işlem uygulanan ayva dilimlerinden daha fazladır. Uygulanan ön işlemlerde ise SMBS kodlu örneklerin kurutma zamanı SA kodlu örneklerden daha fazladır. Ön işlem uygulanmadan kurutulan kontrol kodlu örneklerde 45°C'de kurutma zamanı 390 dakika iken 75°C'de 150 dakikaya düşmektedir. Sıcaklık 55°C'de iken kurutma zamanı sırasıyla Kontrol, SMBS ve SA olmak üzere 285, 225 ve 195 dakika olarak gözlenmiştir.

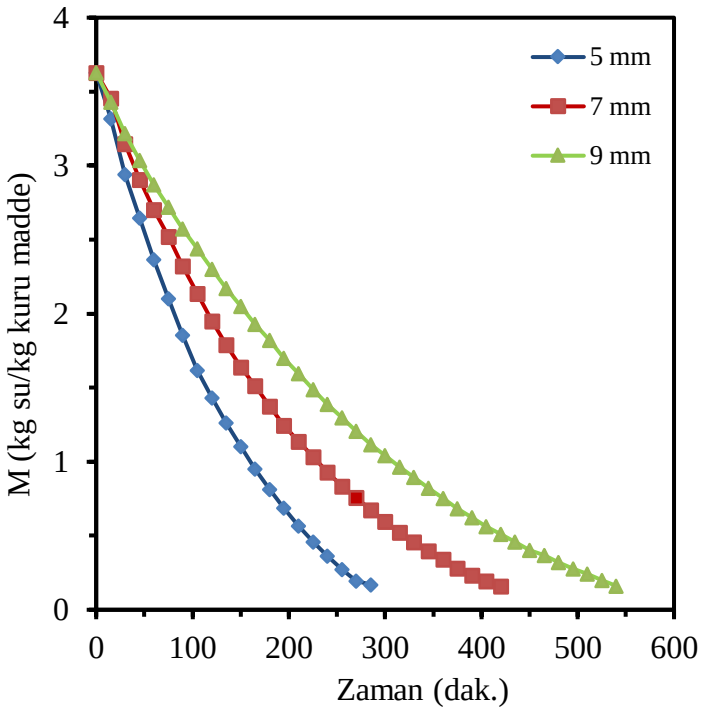
6.1.2 Dilim Kalınlığının Kurutma Zamanına Etkisi

Ayvaların dilim kalınlığına göre kurutma zamanları incelenmiştir. Kalınlıkları 5, 7 ve 9 mm olan kontrol kodlu ayvalar dilimleri 55°C'de ön işlem uygulanmadan kabin tipi kurutucuda kurutulmuştur. Tablo 6.2'de ayva dilimi örneklerinin kurutma zamanları görülmektedir.

Tablo 6.2 55°C'de kurutulan Kontrol kodlu ayva dilimlerinin farklı kalınlıklardaki kurutma süreleri

Kontrol	
Kalınlık (mm)	**Toplam Kurutma Zamanı (dakika)**
5	285
7	420
9	540

Kurutmada, ısı transferi gıdanın yüzeyinden iç kısımlara doğru gerçekleşirken, buharlaşma iç kısımdan yüzeye doğru gerçekleşmektedir (Aksoy, 2019). Dilim kalınlığı azaldıkça ayva dilimlerinin yüzeye olan mesafesi azaldığından kurutma daha hızlı gerçekleşir. Kurutma hızı arttıkça kurutma zamanı azalmaktadır. Şekil 6.5'te ayva dilimlerinin farklı kalınlıklardaki nem içeriği-kurutma zamanı grafiği görülmektedir. Dilim kalınlığının artışına bağlı olarak kurutma zamanının arttığı tespit edilmiştir.

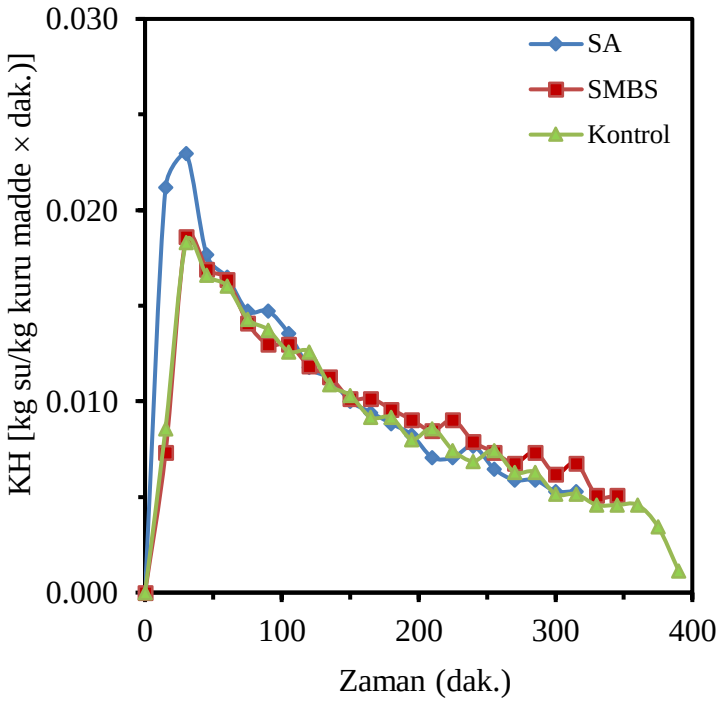


Şekil 6.5 55°C'de kurutulan Kontrol kodlu ayva dilimlerinin farklı kalınlıkta nem içeriği-kurutma zamanı grafiği

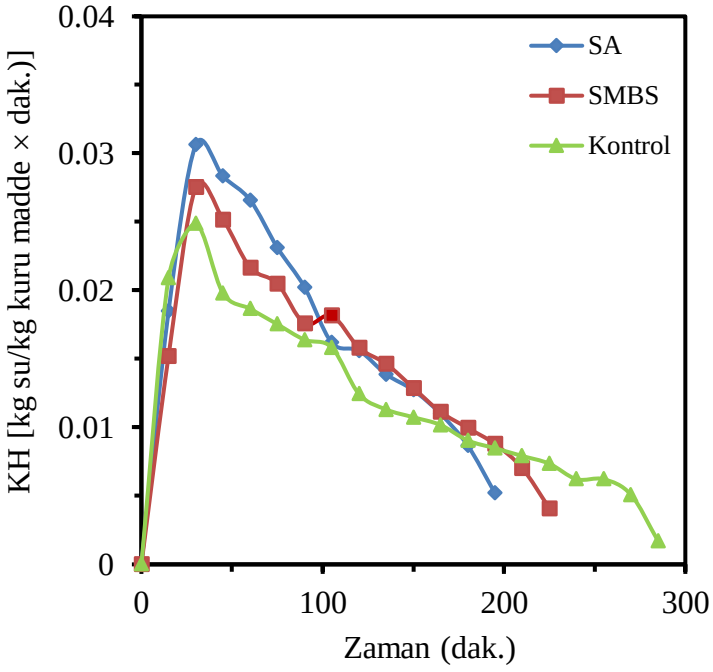
6.1.3 Uygulanan Ön İşlemlerin ve Kullanılan Hava Sıcaklığının Kurutma Hızına Etkisi

Farklı ön işlemlere tabi tutulduktan sonra farklı sıcaklıklarda kurutulmuş olan ayva dilimlerinin kurutma hızlarına bağlı, kurutma zamanlarına ait grafikler Şekil 6.6-6.9'da verilmiştir. Sonuçlara bakıldığında kurutma işleminin başlangıcında ön ısıtma periyodu gözlenmektedir. Ön ısıtma periyodundan sonra kurutma, azalan hız periyodu ile devam etmiştir.

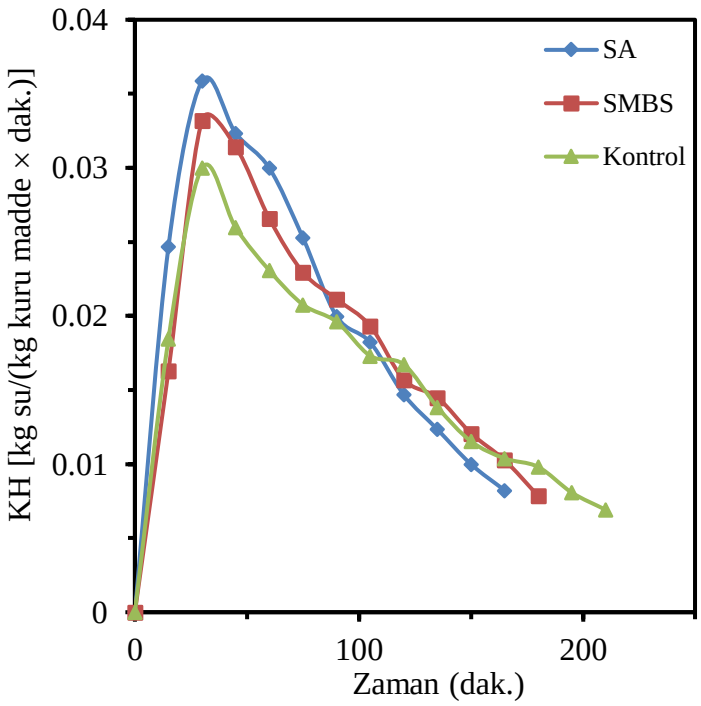
Sıcaklık 45°C iken SA kodlu ürünlerde en yüksek kurutma hızı 0,02 kg/m^{2}s iken 75°C'de 0,04 kg/m^{2}s olarak tespit edilmiştir. Tüm sıcaklıklarda SA kodlu örneklerde kurutma zamanının diğer örneklere göre azaldığı gözlenmiştir. Tüm sıcaklıklarda ön işlem görmemiş kontrol kodlu ayva dilimlerinin kurutma hızı düşük olduğundan kurutma zamanının arttığı gözlenmiştir.



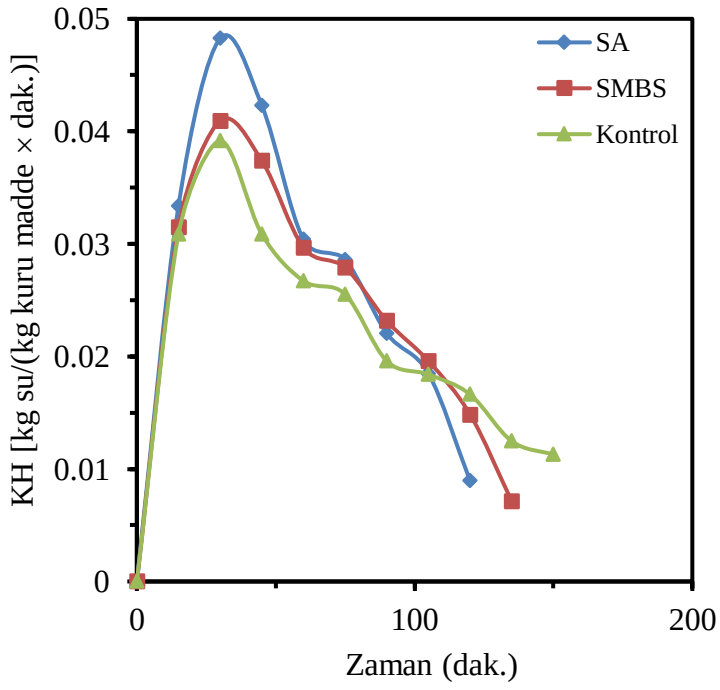
Şekil 6.6 45°C'de kurutulan ayva dilimlerinin kurutma hızı-kurutma zamanı grafiği



Şekil 6.7 55°C'de kurutulan ayva dilimlerinin kurutma hızı-kurutma zaman grafiği



Şekil 6.8 65°C'de kurutulan ayva dilimlerinin kurutma hızı-kurutma zamanı grafiği



Şekil 6.9 75°C'de kurutulan ayva dilimlerinin kurutma hızı-kurutma zamanı grafiği

6.1.4 Matematiksel Modellemenin Değerlendirilmesi

Matematiksel modelleme çalışması, farklı ön işlemler ve sıcaklıklar uygulanarak kurutulan ayva dilimlerine ait deneysel verilerin ve Tablo 5.1'de bulunan kurutma modellerinin kullanılmasıyla yapılmıştır. Deneyler sonucu elde edilen verilerin R^2, χ^2 ve RMSE değerleri belirlenerek kurutma modellerine uyumluluğu ölçülmüştür. Elde edilen sonuçlar Tablo 6.3-6.6'da verilmiştir.

Tablo 6.3 45°C sıcaklıkta yapılan kurutmanın istatistiksel analiz sonuçları

Kod	Model	R^2	χ^2	RMSE
SA	**Midilli & Küçük**	**0,9999**	**0,000006**	**0,007680**
	Wang & Singh	0,9968	0,000275	0,064216
	Logaritmik	0,9997	0,000023	0,017881
	Vega & Lemus	0,9969	0,000260	0,061294
	Page	0,9962	0,000321	0,065326
	Vega-Galvez I	0,9921	0,000680	0,095377
	Henderson & Pabis	0,9921	0,000680	0,095376
	Aghbashlo vd.	0,9986	0,000117	0,039151
SMBS	**Midilli & Küçük**	**0,9996**	**0,000039**	**0,018740**
	Wang & Singh	0,9990	0,000084	0,027481
	Logaritmik	0,9995	0,000048	0,017339
	Vega & Lemus	0,9992	0,000071	0,032194
	Page	0,9961	0,000359	0,073654
	Vega-Galvez I	0,9831	0,001572	0,151579
	Henderson & Pabis	0,9831	0,001572	0,151579
	Aghbashlo vd.	0,9988	0,000110	0,038269
Kontrol	**Midilli & Küçük**	**0,9997**	**0,000027**	**0,019163**
	Wang & Singh	0,9991	0,000083	0,035117
	Logaritmik	0,9994	0,000050	0,019991
	Vega & Lemus	0,9985	0,000139	0,049735
	Page	0,9978	0,000203	0,060039
	Vega-Galvez I	0,9886	0,001055	0,135273
	Henderson & Pabis	0,9886	0,001055	0,135273
	Aghbashlo vd.	0,9991	0,000075	0,031247

Tablo 6.4 55°C sıcaklıkta yapılan kurutmanın istatistiksel analiz sonuçları

Kod	**Model**	**R^2**	**χ^2**	**RMSE**
SA	**Midilli & Küçük**	**0,9996**	**0,000041**	**0,017346**
	Wang & Singh	0,9978	0,000235	0,032652
	Logaritmik	0,9978	0,000267	0,041908
	Vega & Lemus	0,9987	0,000141	0,030633
	Page	0,9987	0,000136	0,033027
	Vega-Galvez I	0,9818	0,002031	0,134942
	Henderson & Pabis	0,9818	0,002031	0,134941
	Aghbashlo vd.	0,9984	0,000174	0,029524
SMBS	**Midilli & Küçük**	**0,9997**	**0,000037**	**0,017388**
	Wang & Singh	0,9984	0,000164	0,029562
	Logaritmik	0,9982	0,000199	0,039917
	Vega & Lemus	0,9992	0,000081	0,020200
	Page	0,9983	0,000174	0,041724
	Vega-Galvez I	0,9814	0,001989	0,145251
	Henderson & Pabis	0,9814	0,001989	0,145251
	Aghbashlo vd.	0,9990	0,000102	0,020173
Kontrol	**Midilli & Küçük**	**0,9998**	**0,000014**	**0,012412**
	Wang & Singh	0,9988	0,000105	0,039718
	Logaritmik	0,9997	0,000020	0,013412
	Vega & Lemus	0,9977	0,000214	0,054496
	Page	0,9978	0,000204	0,049753
	Vega-Galvez I	0,9913	0,000811	0,101212
	Henderson & Pabis	0,9913	0,000811	0,101212
	Aghbashlo vd.	0,9995	0,000038	0,022692

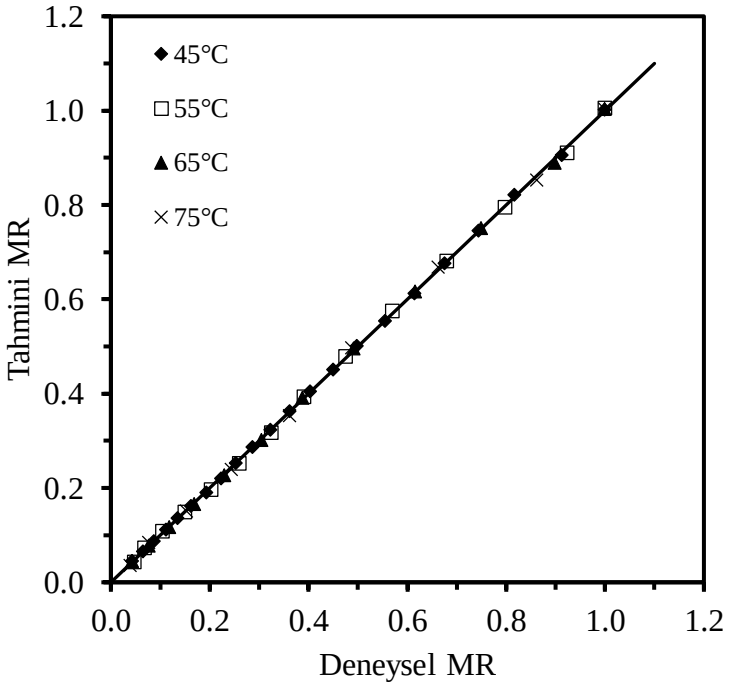
Tablo 6.5 65°C sıcaklıkta yapılan kurutmanın istatistiksel analiz sonuçları

Kod	**Model**	**R^2**	**χ^2**	**RMSE**
SA	**Midilli & Küçük**	**0,9998**	**0,000016**	**0,009745**
	Wang & Singh	0,9979	0,000247	0,033529
	Logaritmik	0,9973	0,000346	0,047126
	Vega & Lemus	0,9985	0,000172	0,034754
	Page	0,9993	0,000079	0,020961
	Vega-Galvez I	0,9820	0,002126	0,128904
	Henderson & Pabis	0,9820	0,002126	0,128904
	Aghbashlo vd.	0,9984	0,000179	0,029104
SMBS	**Midilli & Küçük**	**0,9995**	**0,000065**	**0,016664**
	Wang & Singh	0,9965	0,000403	0,041917
	Logaritmik	0,9969	0,000385	0,046612
	Vega & Lemus	0,9981	0,000220	0,027700
	Page	0,9986	0,000159	0,036355
	Vega-Galvez I	0,9776	0,002612	0,148492
	Henderson & Pabis	0,9776	0,002612	0,148489
	Aghbashlo vd.	0,9976	0,000270	0,033835
Kontrol	**Midilli & Küçük**	**0,9998**	**0,000024**	**0,011370**
	Wang & Singh	0,9989	0,000115	0,021502
	Logaritmik	0,9987	0,000150	0,032050
	Vega & Lemus	0,9993	0,000070	0,021870
	Page	0,9982	0,000191	0,039894
	Vega-Galvez I	0,9826	0,001880	0,135280
	Henderson & Pabis	0,9826	0,001880	0,135280
	Aghbashlo vd.	0,9991	0,000087	0,020538

Tablo 6.6 75°C sıcaklıkta yapılan kurutmanın istatistiksel analiz sonuçları

Kod	Model	R^2	χ^2	RMSE
SA	**Midilli & Küçük**	**0,9996**	**0,000078**	**0,017780**
	Wang & Singh	0,9968	0,000434	0,038907
	Logaritmik	0,9961	0,000610	0,052240
	Vega & Lemus	0,9977	0,000306	0,033426
	Page	0,9987	0,000173	0,028493
	Vega-Galvez I	0,9746	0,003490	0,143480
	Henderson & Pabis	0,9746	0,003489	0,143480
	Aghbashlo vd.	0,9982	0,000246	0,025061
SMBS	**Midilli & Küçük**	**0,9997**	**0,000048**	**0,014946**
	Wang & Singh	0,9979	0,000259	0,032332
	Logaritmik	0,9972	0,000410	0,044704
	Vega & Lemus	0,9984	0,000178	0,028491
	Page	0,9983	0,000217	0,036393
	Vega-Galvez I	0,9752	0,003203	0,146626
	Henderson & Pabis	0,9752	0,003202	0,146627
	Aghbashlo vd.	0,9991	0,000103	0,017775
Kontrol	**Midilli & Küçük**	**0,9998**	**0,000030**	**0,011446**
	Wang & Singh	0,9994	0,000064	0,014906
	Logaritmik	0,9992	0,000097	0,019294
	Vega & Lemus	0,9995	0,000055	0,017672
	Page	0,9974	0,000298	0,042870
	Vega-Galvez I	0,9828	0,001991	0,118125
	Henderson & Pabis	0,9828	0,001990	0,118126
	Aghbashlo vd.	0,9993	0,000071	0,019236

Tablolarda R^2, χ^2 ve RMSE değerlerine bakıldığında; R^2 değerlerinden en yüksek olan ve χ^2 ve RMSE değerlerinden en düşük değerler Midilli & Küçük modeli ile hesaplanmıştır. Böylece Midilli & Küçük kurutma modelinin ayva dilimlerinde kurutma işlemine en uygun olan model olduğu belirlenmiştir. Midilli & Küçük modeli için R^2, χ^2 ve RMSE değerlerinin sırası ile 0,9995-0,9999, 0,000006-0,000080 ve 0,000248-0,019164 değerleri arasında değişkenlik gösterdiği belirlenmiştir. Midilli & Küçük modeli ile hesaplanmış tahmini veriler ve kurutma işlemi sonucundaki deneysel verilerin SA kodlu örnek için kıyaslandığı grafik Şekil 6.10'da verilmiştir. Hesaplanan tahmini ve deneysel verilerin düz çizgi üzerinde oluşmasının sonucunda Midilli & Küçük kurutma modelinin ayva dilimlerinde kurutma işlemine en uygun olan model olduğu kanıtlanmış olur.



Şekil 6.10 SA kodlu örneklere ait Midilli & Küçük modeli ile hesaplanmış tahmini verilerin deneysel verilerle karşılaştırılması

SMBS ve Kontrol kodlu örneklerde de benzer bir grafik elde edilmiştir. Literatür çalışmaları incelendiğinde Midilli & Küçük kurutma modelinin zerdeçal (Komonsing vd., 2022), patates, elma ve kabak (Akpınar, 2006) gibi bazı meyve ve sebze dilimlerinin kurutulmasını yeterince tanımlayabildiği belirlenmiştir.

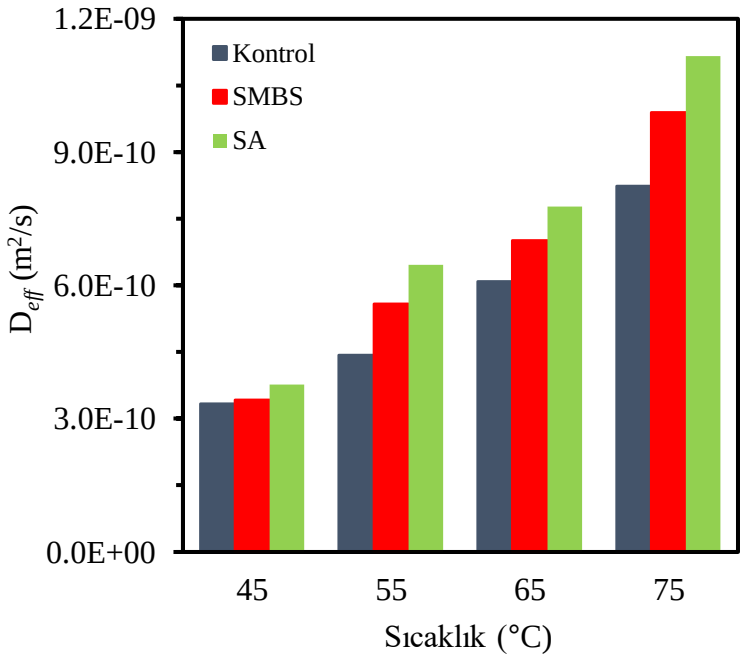
6.1.5 Efektif Difüzyon Katsayısı

SA ve SMBS çözeltileri ile ön işlemli ve ön işlemsiz kurutulan ayva dilimi örneklerinin difüzyon katsayıları Denklem (5.11) kullanılarak hesaplanmıştır. Hesaplanan değerler Tablo 6.7'de verilmiştir.

Tablo 6.7 Kabin tipi kurutucuda kurutulmuş ayva dilimlerinde efektif difüzyon katsayıları

Sıcaklık (°C)	Efektif Difüzyon Katsayısı (m^2/s)		
	SA	SMBS	Kontrol
45	$3{,}761\times10^{-10}$	$3{,}423\times10^{-10}$	$3{,}338\times10^{-10}$
55	$6{,}466\times10^{-10}$	$5{,}578\times10^{-10}$	$4{,}437\times10^{-10}$
65	$7{,}776\times10^{-10}$	$7{,}015\times10^{-10}$	$6{,}085\times10^{-10}$
75	$1{,}116\times10^{-09}$	$9{,}889\times10^{-10}$	$8{,}240\times10^{-10}$

Ayva dilimlerinin efektif difüzyon katsayıları (D_{eff}) $3{,}338\times10^{-10}$ m^2/s - $1{,}116\times10^{-9}$ m^2/s arasındadır.

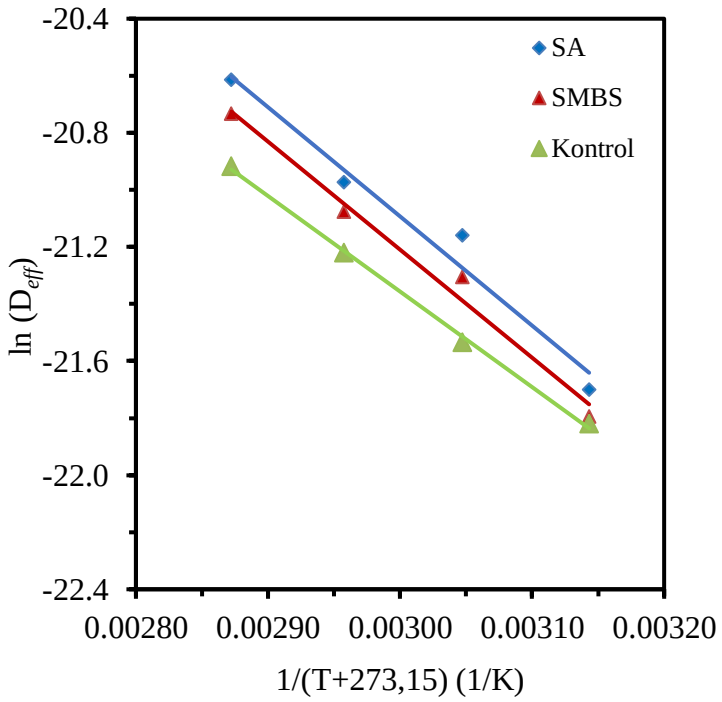


Şekil 6.11 Farklı sıcaklıklarda kurutulmuş ayva dilimlerinin efektif difüzyon katsayıları

Şekil 6.11'de görüldüğü gibi ön işlem ile muamele edildikten sonra kurutulmuş ayva dilimlerinin efektif difüzyon katsayısı değerleri kontrol kodlu örneklerden daha yüksektir. Aynı sıcaklıkta SA kodlu ayva dilimlerinin efektif difüzyon katsayıları SMBS kodlu ayva dilimlerinden daha yüksektir. Sıcaklık arttıkça ayva dilimlerinin içerisindeki suyun buharlaşma hızının artmasıyla tüm örneklerde efektif difüzyon katsayısı artış göstermiştir.

6.1.6 Aktivasyon Enerjisi

Aktivasyon enerjisi hesaplanırken sıcaklığa [1/(T+273,15)] bağlı ln (D_{eff}) ile çizilen ve Şekil 6.12'deki grafiğin eğimlerinden yararlanılmıştır.



Şekil 6.12 Sıcaklık ile efektif difüzyon katsayısı arasındaki ilişki

Denklem (6.1), (6.2) ve (6.3)'te SA, SMBS ve Kontrol örnekleri için sıcaklığın etkisi gösterilmiştir:

SA:

$$D_{eff} = 6{,}705 \times 10^{-5} exp\left(-\frac{3827{,}7}{(T+273{,}15)}\right) \quad (R^2 = 0{,}9692) \qquad (6.1)$$

SMBS:

$$D_{eff} = 5{,}280 \times 10^{-5} exp\left(-\frac{3786{,}9}{(T+273{,}15)}\right) \quad (R^2 = 0{,}9838) \qquad (6.2)$$

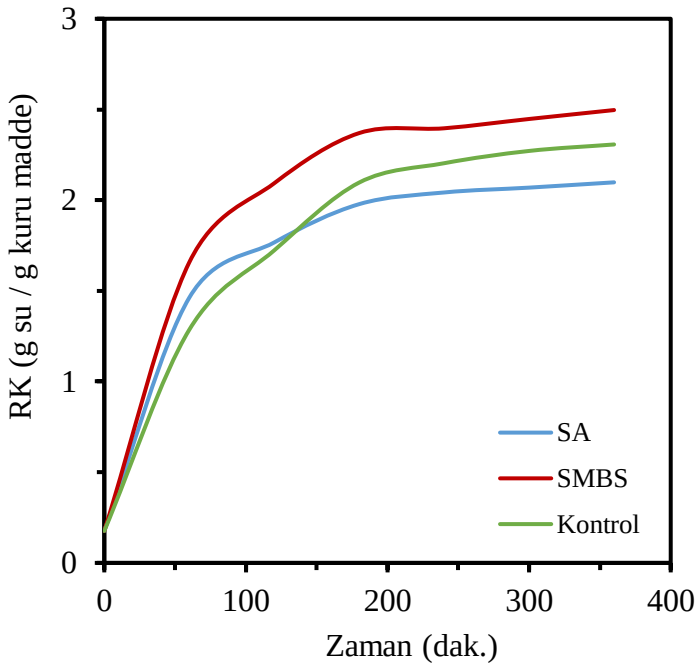
Kontrol:

$$D_{eff} = 1{,}226 \times 10^{-5} exp\left(-\frac{3349{,}2}{(T+273{,}15)}\right) \quad (R^2 = 0{,}9981) \qquad (6.3)$$

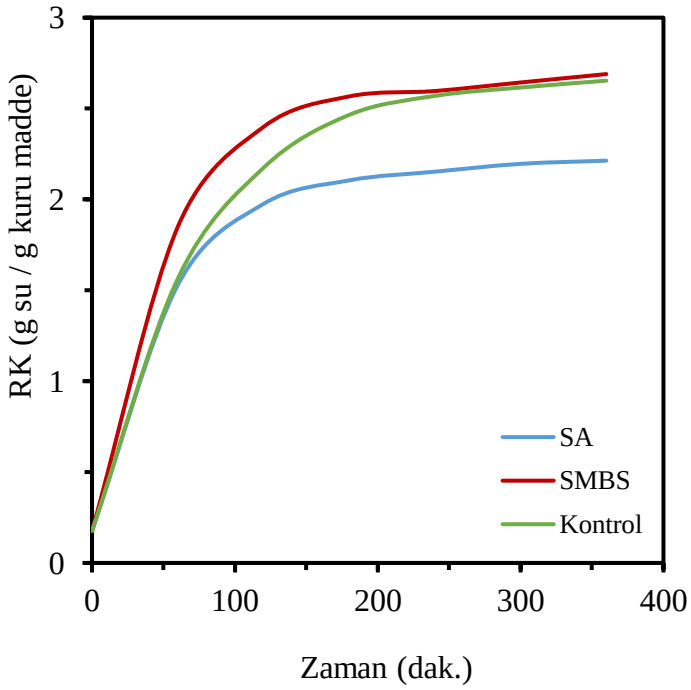
SA, SMBS ve Kontrol kodlu ayva dilimlerine ait aktivasyon enerji değerleri hesaplanırken Denklem (6.1), (6.2) ve (6.3)'ten yararlanılmıştır ve aktivasyon enerji değerleri sırasıyla 31,82, 31,48 ve 27,84 kJ/mol olarak bulunmuştur. Literatürde verilen aralık 12,7-110 kJ/mol ile hesaplanan E_A değerleri uyuşmaktadır (Zogzas ve Maroulis, 1996).

6.1.7 Rehidrasyon Kapasitesi

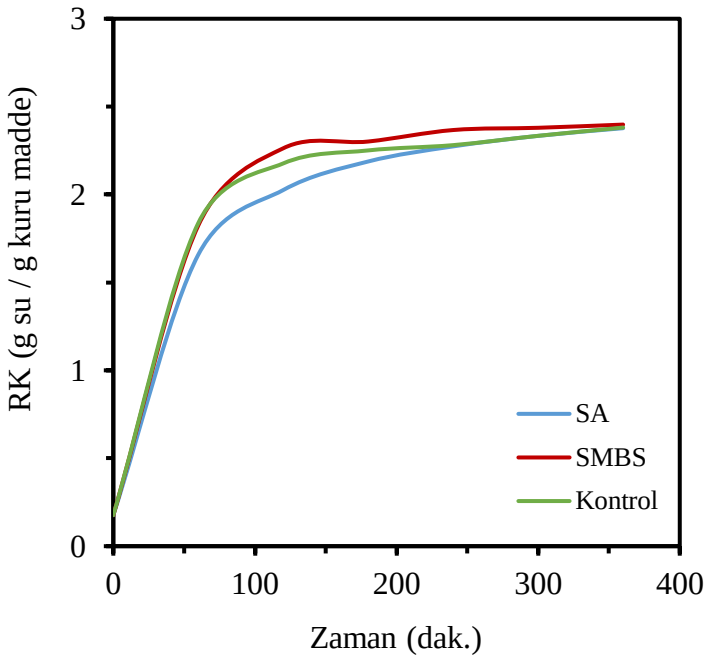
Kurutma işleminin başarılı olduğunu söylemek için maddelerin rehidrasyon (suyu geri çekme) kapasitelerine bakılır. Maddelerin rehidrasyon kapasiteleri ne kadar yüksekse kurutma işleminin o kadar başarılı olduğu söylenebilir. Su içerisine bırakılan kuru meyve veya sebzelerin rehidrasyon kapasiteleri içerdiği ilk nem miktarına ne kadar yaklaşırsa bu meyve veya sebzenin fiziksel özellikleri de taze haline yaklaşır. Bundan dolayı tüketiciler kuru meyve veya sebzeleri alırken yüksek rehidrasyon kapasitesine sahip olanları seçerler. Bu duruma tüketiciler açısından bakıldığında gıdaların rehidrasyon kapasitelerinin bir kalite unsuru olduğu söylenebilir. Genel olarak ön işlem uygulanmadan kurutulan gıdaların rehidrasyon kapasiteleri ön işlem uygulanarak kurutulan gıdaların rehidrasyon kapasitelerine göre daha düşüktür. Deneyde kullanılan ayva dilimleri 45, 55, 65 ve 75°C'de konvektif kurutma kurutulmuş ve örneklerin rehidrasyon kapasitelerine bakılmıştır. Kurutulan ayva dilimlerinin rehidrasyon kapasitelerini hesaplamak için Denklem (5.14) kullanılmıştır. Sıcaklık değerleri 45, 55, 65 ve 75°C olan ve SA, SMBS ve Kontrol kodlu ayva dilimleri için zamana bağlı rehidrasyon kapasitelerinin grafikleri Şekil 6.13-6.16'da gösterilmiştir.



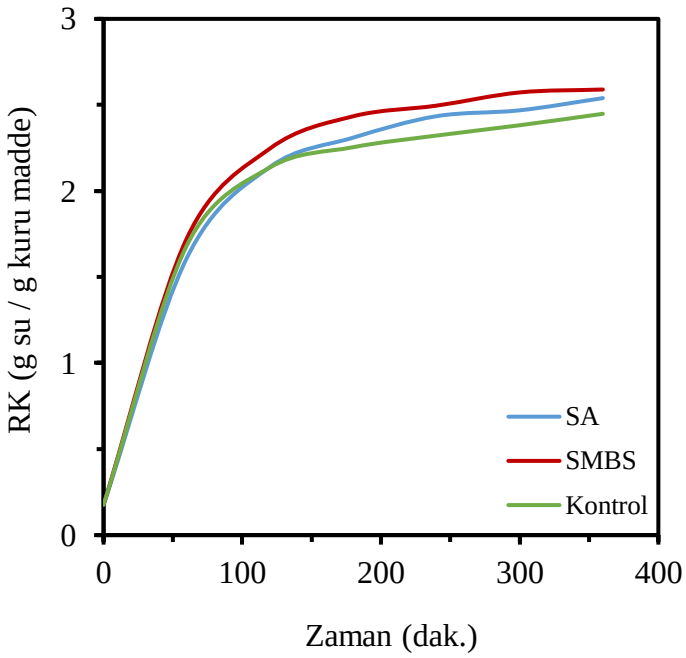
Şekil 6.13 45°C'de kurutulan ayva dilimlerinde rehidrasyon kapasitesi



Şekil 6.14 55°C'de kurutulan ayva dilimlerinde rehidrasyon kapasitesi



Şekil 6.15 65°C'de kurutulan ayya dilimlerinde rehidrasyon kapasitesi



Şekil 6.16 75°C'de kurutulan ayva dilimlerinde rehidrasyon kapasitesi

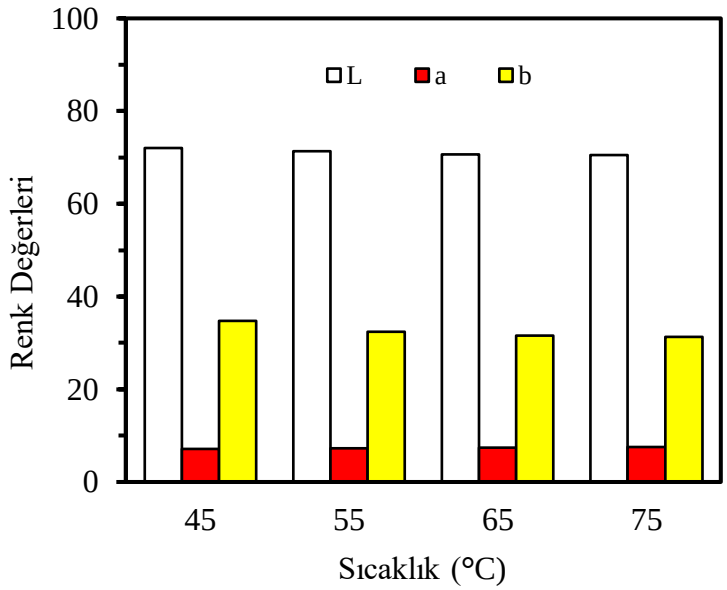
Şekil 6.13-6.16'ya bakılırsa tüm sıcaklıklardaki ayva dilimlerinin rehidrasyon kapasiteleri 2'nin üzerindedir. SMBS kodlu örneklerin rehidrasyon kapasitelerinin tüm sıcaklıklarda Kontrol ve SA kodlu örneklerin rehidrasyon kapasitelerinden fazla olduğu görülmüştür. En yüksek rehidrasyon kapasitesine 2,6896 g su/g kuru madde miktarı ile 55°C'de kurutulmuş SMBS kodlu örneklerde ulaşılmıştır.

6.1.8 Renk Sonuçları

Konvektif kurutma yöntemi ile hava sıcaklığı 45, 55, 65 ve 75°C ayarlanarak kurutulan ayva dilimlerinin L, a ve b değerlerine bakılmıştır. Taze ayva dilimlerinin L, a ve b değerleri sırası ile 75,95, -2,63 ve 29,49 olarak ölçülmüştür. Ayva dilimlerinin renk değerlerinde kullanılan hava sıcaklığının ve ön işlemlerin etkisi araştırılmıştır. SA kodlu örneklerin farklı sıcaklıklarda kurutulmasına ait renk değerleri Tablo 6.8, L, a ve b değerlerinin değişim grafikleri Şekil 6.17 ile gösterilmiştir.

Tablo 6.8 Kabin tipi kurutucuda kurutulmuş SA kodlu ayva dilimlerinin renk sonuçları

Sıcaklık (°C)	L	a	b
45	71,98	7,08	34,78
55	71,36	7,26	32,33
65	70,66	7,42	31,51
75	70,57	7,59	31,25



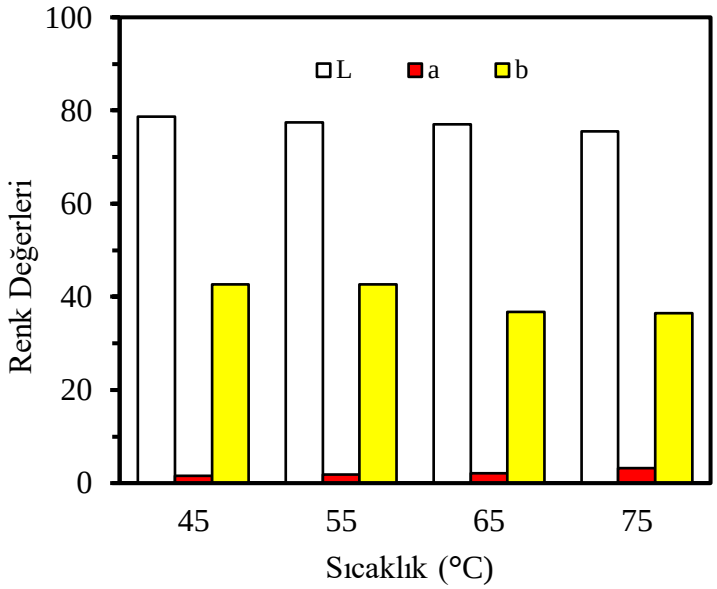
Şekil 6.17 SA kodlu örneklerin renk analizi

Tablo 6.8 ve Şekil 6.17'e göre sıcaklığın artmasıyla L ve b değerlerinde azalma olduğu yani ayva dilimlerindeki L değerinin ifade ettiği parlaklığın ve b değerinin ifade ettiği sarılığın gittikçe azaldığı, a değerinde artış olduğu yani a değerinin ifade ettiği kırmızılığın gittikçe arttığı söylenebilir.

SMBS kodlu örneklerin farklı sıcaklıklarda kurutulmasına ait renk değerleri Tablo 6.9, L, a ve b değerlerinin değişim grafikleri Şekil 6.18 ile gösterilmiştir.

Tablo 6.9 Kabin tipi kurutucuda kurutulmuş SMBS kodlu ayva dilimlerinin renk sonuçları

Sıcaklık (°C)	L	a	b
45	78,73	1,61	42,69
55	77,44	1,85	42,69
65	76,97	2,12	36,72
75	75,55	3,15	36,53



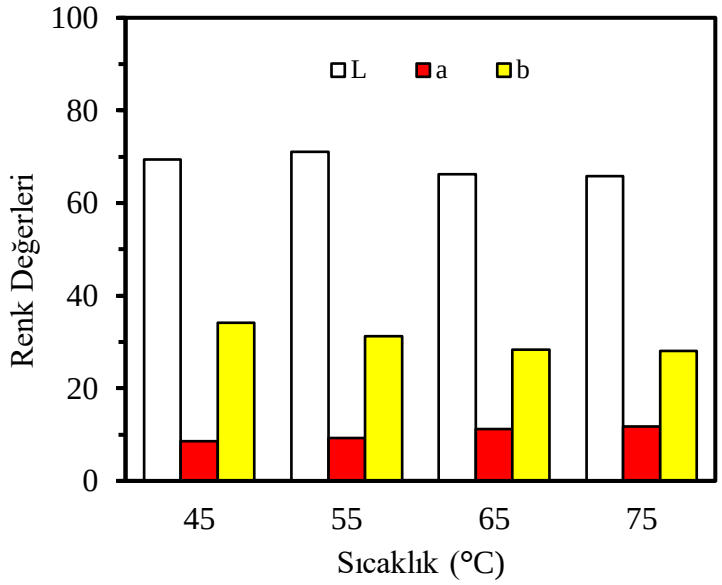
Şekil 6.18 SMBS kodlu örneklerin renk analizi

Tablo 6.9'da verilen SMBS kodlu ayva dilimlerinin renk analiz değerlerine bakıldığında Tablo 6.8'e benzer bir yorum yapılabilir. Tablo 6.9'a göre kurutma sırasında sıcaklığın artışıyla L değerinde azalma olduğu ve buna bağlı olarak parlaklığın giderek azaldığı görülmüştür. SMBS kodlu örneklerin a değerlerinde SA kodlu örneklerin a değerlerine göre daha az bir artış, b değerlerinde ise daha fazla bir düşüş olduğu tespit edilmiştir.

Kontrol kodlu örneklerin farklı sıcaklıklarda kurutulmasına ait renk değerleri Tablo 6.10, L, a ve b değerlerinin değişim grafikleri Şekil 6.19 ile gösterilmiştir.

Tablo 6.10 Kabin tipi kurutucuda kurutulmuş Kontrol kodlu ayva dilimlerinin renk sonuçları

Sıcaklık (°C)	L	a	b
45	69,44	8,51	34,15
55	71,06	9,24	31,19
65	66,25	11,25	28,36
75	65,85	11,80	28,05



Şekil 6.19 Kontrol kodlu örneklerin renk analizi

Tablo 6.10 incelendiğinde Kontrol kodlu örneklerin kabin tipi kurutucuda kurutulması ile elde edilen renk değerlerindeki artış ve azalışların Tablo 6.8 ve 6.9'a benzer olduğu sonucuna varılmıştır. Ön işlem uygulanmayan Kontrol kodlu örneklerde L ve b değerlerinin SA ve SMBS kodlu örneklere göre çok daha düşük ve a değerinin ise çok daha yüksek olduğu görülmüştür.

Yapılan deneylerde, meyve ve sebzelere uygulanan ısı işlemlerde sıcaklık artışı ile kalite ve karakteristik renkleri veren pigmentlerde kaybın oluştuğu ifade edilmiştir (Luo vd., 2023). Bu çalışmada literatür ile uyumlu olarak kurutma işlemi sonucunda SMBS, SA ve Kontrol kodlu örneklerde sıcaklığın etkisiyle rengin koyulaştığı gözlemlenmiştir. Ön işlem uygulanan örnekler ile kontrol kodlu örnekler karşılaştırıldığında ise ön işlemlerin renk koyulaşmasını azaltıcı etkisi olduğu söylenebilir.

6.1.9 Toplam Fenolik ve Antioksidan Miktarları

Taze ve kuru örneklerin toplam fenolik madde miktarı (TFM) ve antioksidan aktivite değerleri (DPPH) Tablo 6.11'de verilmiştir.

Tablo 6.11 Taze ve kuru ayvaların TFM ve DPPH değerleri

		TFM (mg GAE/g KM)	DPPH (mg TE/g KM)
Taze		15,10±0,42[a]	12,88±0,07[a]
Konvektif kurutma	45°C	4,96±0,14[c]	3,18±0,12[c]
	55°C	4,42±0,13[c]	2,53±0,23[d]
	65°C	4,77±0,10[c]	2,73±0,19[d]
	75°C	6,64±0,46[b]	4,07±0,08[b]
r	TFM	1	0,9940
	DPPH		1

Aynı sütundaki küçük harfler (a-e) istatistiksel farkı göstermektedir ($p<0.05$). TFM: toplam fenolik madde; DPPH: 2,2-difenil-1-pikrilhidrazil, *r*: Pearson korelasyon katsayısı.

Taze örneklerin TFM miktarı 15,10 mg GAE/g KM olarak bulunmuştur. Yapılan bir çalışmada 9 adet ayvanın toplam fenolik madde miktarına bakılmış ve değerlerin 40-100 mg GAE/100 g arasında değiştiği bulunmuştur (Legua vd., 2013). Başka bir çalışmada toplam fenolik madde miktarı taze ağırlıkta 96,82 mg GAE/g olarak bulunduğu belirtilmiştir (Al-Zughbi ve Krayem, 2022). Akman vd. (2022) ise ayvanın TFM değerini 6194,46 kuru maddede mg GAE/g olarak bulmuşlardır. Çalışmalarda, farklı meyvelerin ve hatta aynı meyvenin TFM miktarı arasında geniş farklılıklar olduğunu belirtmektedir. Bu farklılıkların, içerdiği bileşik gruplarının karmaşıklığından, ayrıca ekstraksiyon ve analiz yöntemlerinden kaynaklanıyor olabileceği bildirilmiştir (López vd., 2013). Kurutma sonrasında örneklerin toplam fenolik madde miktarı önemli oranda düşmüştür ($p < 0,05$). En yüksek TFM değeri en yüksek kurutma sıcaklığı olan 75°C'de bulunmuştur (6,64 mg GAE/g KM). Yapılan literatür çalışmasında, 50 ve 70°C'de kurutulan ayvaların TFM değeri 70°C'de daha fazla bulunmuştur (Najman vd., 2023). Örneklerin DPPH sonuçları, TFM sonuçlarına benzerlik göstermiştir. Kurutulan örnekler arasındaki en yüksek antioksidan değeri yine 75°C'de (4,07 mg TE/g KM) için tespit edilmiştir. Bu durum, Maillard reaksiyonu sonucunda bazı antioksidan bileşiklerinin serbest kalması ile açıklanabilir (Bchir vd., 2012). TFM ve DPPH arasındaki korelasyon katsayısı 0,9940 olarak bulunmuştur ve bu sonuç aralarındaki korelasyonun yüksek olduğunu göstermektedir.

6.2 İnfrared Kurutucuda Kurutma

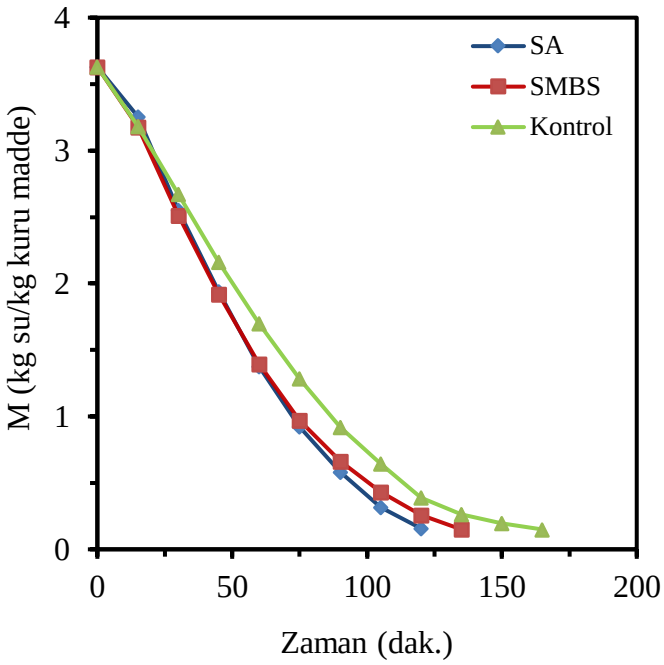
6.2.1 Uygulanan Ön İşlemlerin ve İnfrared Güç Seviyesinin Kurutma Zamanına Etkisi

Çeşitli ön işlemlerden geçirildikten sonra farklı IR güç seviyelerinde kurutulan ayva dilimlerinin kurutma zamanları Tablo 6.12'de gösterilmektedir. Verilerden anlaşıldığı üzere IR güç seviyesi arttıkça kuruma zamanı azalmıştır. Ön işlem uygulanan örneklerin Kontrol kodlu örneklerden daha kısa sürede kurumuş olduğu görülmüştür. Bunun yanında artan güç seviyesiyle birlikte SA kodlu örneklerin SMBS ve Kontrol kodlu örneklere göre daha hızlı kuruduğu belirlenmiştir.

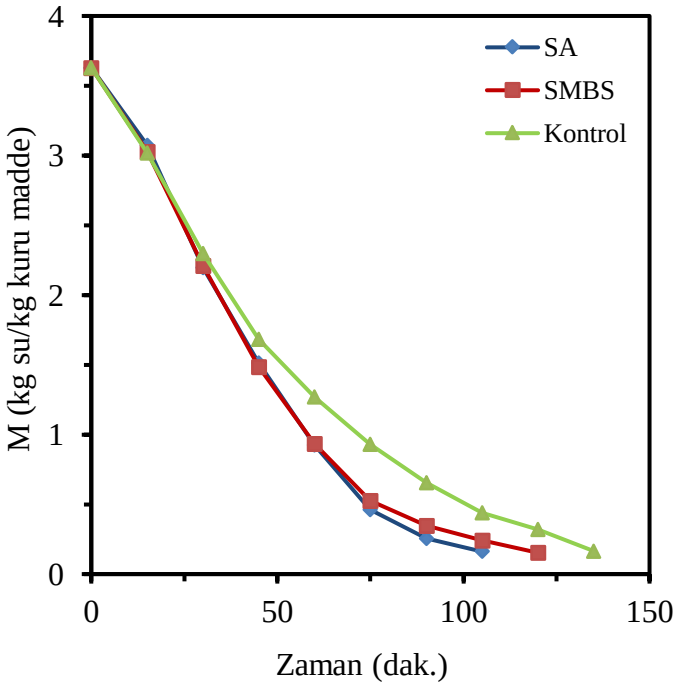
Tablo 6.12 Farklı güç seviyelerinde ve farklı ön işlemler ile kurutulan ayva dilimlerinin kurutma zamanları

	Toplam Kurutma Zamanı (dakika)		
Güç (W)	**SA**	**SMBS**	**Kontrol**
50	120	135	165
62	105	120	135
74	90	105	120
88	75	90	105

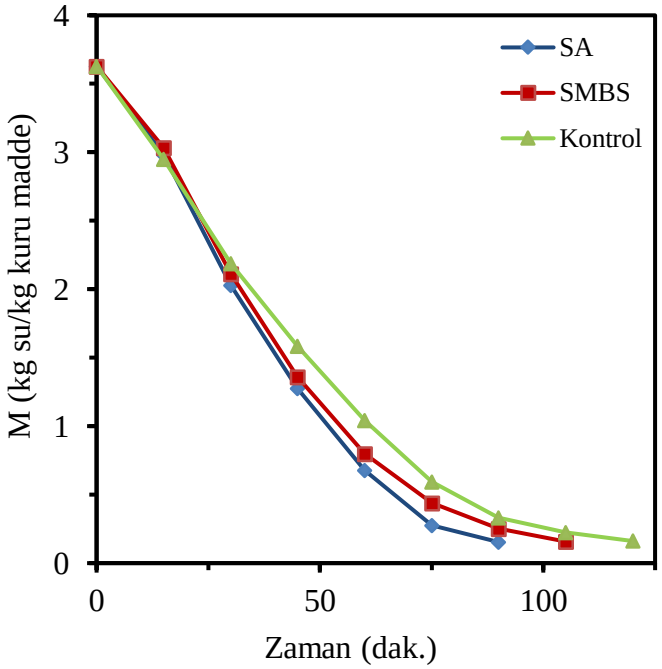
Dört farklı güç seviyesinde gerçekleşen ve ön işlemler uygulanan kurutma prosesi için zamana karşı nem grafikleri her güç seviyesi için Şekil 6.20-6.23'te verilmiştir.



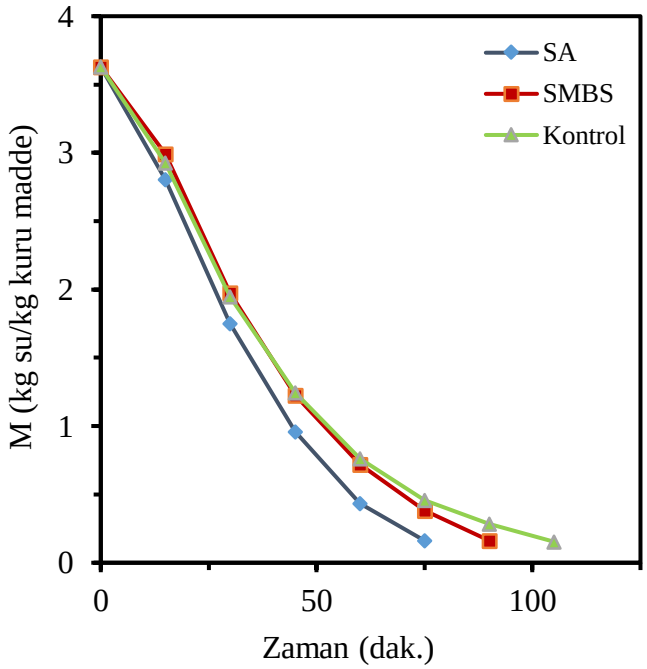
Şekil 6.20 50 W güç seviyesinde kurutulan ayva dilimlerinin nem içeriği-kurutma zamanı grafiği



Şekil 6.21 62 W güç seviyesinde kurutulan ayva dilimlerinin nem içeriği-kurutma zamanı grafiği



Şekil 6.22 74 W güç seviyesinde kurutulan ayva dilimlerinin nem içeriği-kurutma zamanı grafiği

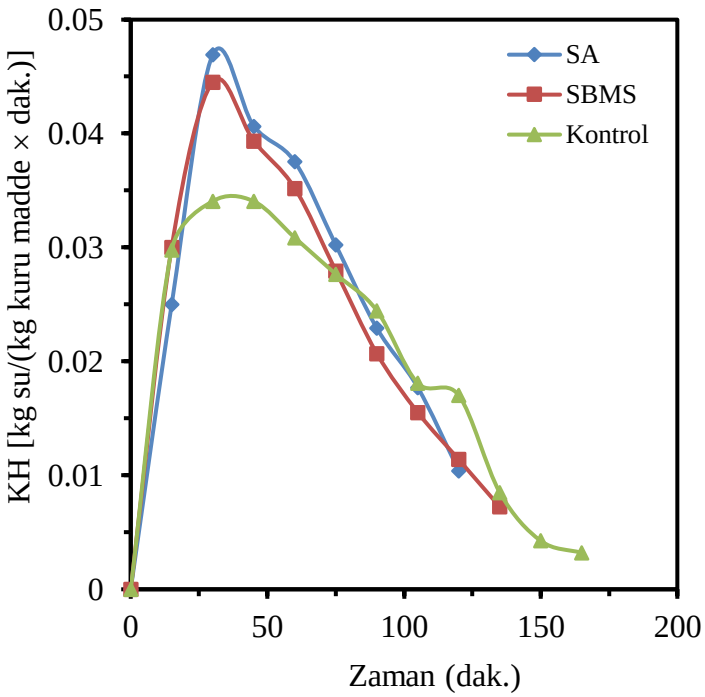


Şekil 6.23 88 W güç seviyesinde kurutulan ayva dilimlerinin nem içeriği-kurutma zamanı grafiği

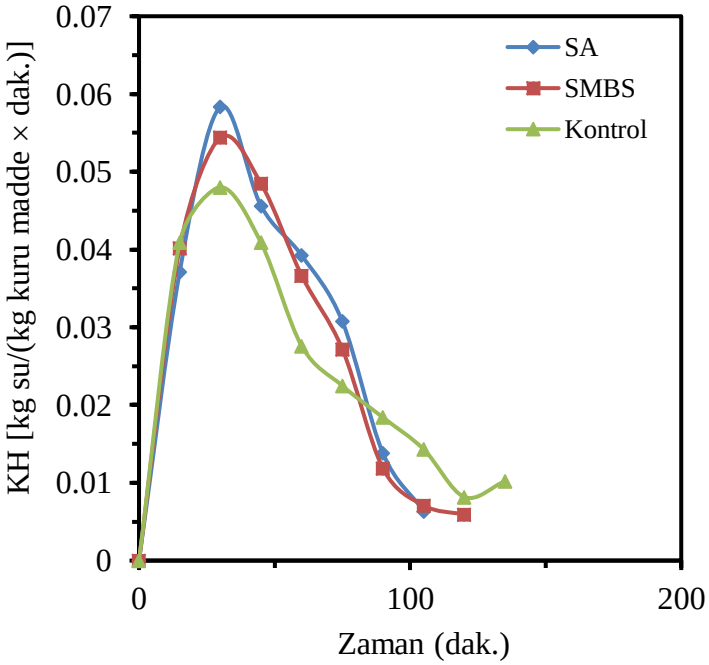
Şekil 6.20-6.23'te görüldüğü gibi tüm güç seviyelerinde ön işlem uygulanmayan Kontrol kodlu ayva dilimlerinin kurutma zamanları daha fazladır. Ön işlem uygulanan ayva dilimlerinde SA kodlu örneklerin kurutma zamanının SMBS kodlu örneklerden daha kısa olduğu görülmüştür. SA kodlu ayva dilimi örneklerinin 50 W güç seviyesinde kurutma zamanı 120 dakika iken 88 W güç seviyesinde kurutma zamanı 75 dakikadır. Beigi (2018) tarafından yapılan bir çalışmada pelin otu yapraklarının infrared yöntemiyle kurutmuştur. İşlem sonucunda IR güç seviyesinin artmasıyla kurutma zamanlarında azalma gözlendiği beyan etmiştir. Bu çalışmada 200, 300, 400 ve 500 W IR güç seviyelerinde ortalama işlem sürelerinin sırasıyla 56, 44, 36 ve 24 dakika olduğu belirtilmiştir. Bu durumun sebebinin genel olarak yükselen IR güç seviyesinin yüksek sıcaklığa yol açmasıyla örneklerdeki buhar basıncını arttırması ve nemin ürünün içinden yüzeyine daha hızlı çıkarması olduğu belirtmiştir. Yapılan başka bir çalışmada, IR gücün kurutma zamanına etkisinin soğan örneklerini kurutma işleminde de benzer sonuçlar elde edildiği gözlemlenmiştir (Sharma vd., 2005).

6.2.2 Uygulanan Ön İşlemlerin ve İnfrared Güç Seviyesinin Kurutma Hızına Etkisi

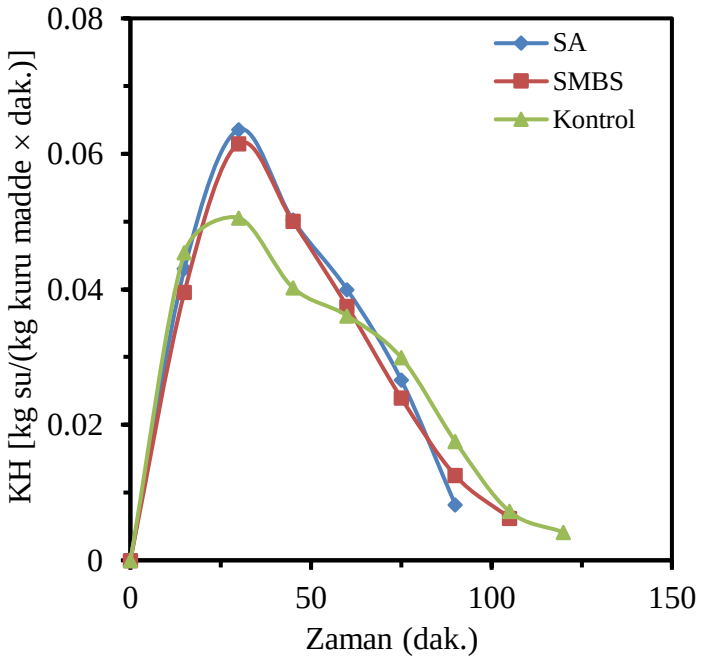
Farklı ön işlemler sonrasında farklı sıcaklıklardan kurutulan ayva dilimlerinin kurutma hızlarına bağlı kurutma zamanı grafikleri Şekil 6.24-6.27'de verilmiştir. Kurutma başlangıcında ön ısıtma periyodu gözlenmiştir. Ön ısıtma periyodundan sonra azalan hız periyodunda kurutma işlemi devam etmiştir.



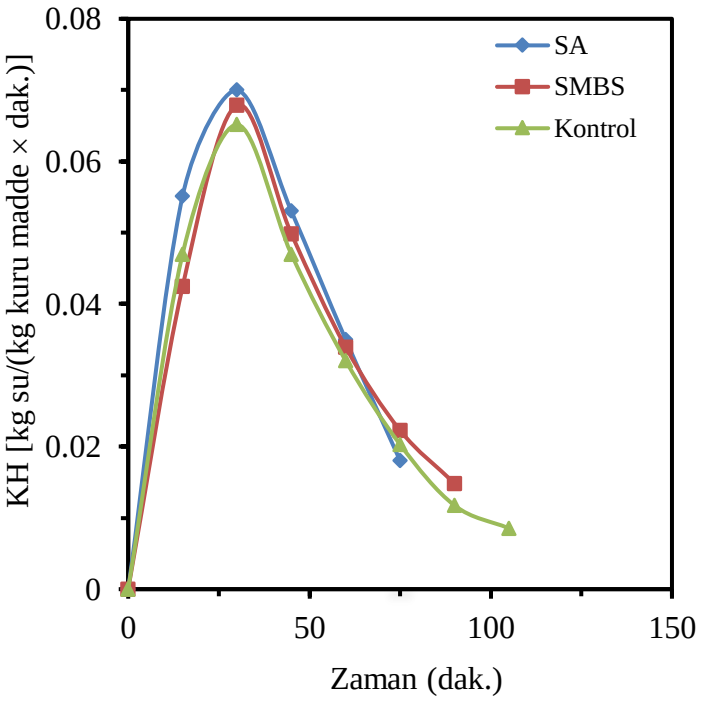
Şekil 6.24 50 W güç seviyesinde kurutulan ayva dilimlerinin kurutma hızı-kurutma zamanı grafiği



Şekil 6.25 62 W güç seviyesinde kurutulan ayva dilimlerinin kurutma hızı-kurutma zamanı grafiğ



Şekil 6.26 74 W güç seviyesinde kurutulan ayva dilimlerinin kurutma hızı-kurutma zamanı grafiği



Şekil 6.27 88 W güç seviyesinde kurutulan ayva dilimlerinin kurutma hızı-kurutma zamanı grafiği

Şekil 6.24-6.27'deki eğrilerden yararlanarak SA kodlu örneklerin 50 W güç seviyesinde en yüksek kurutma hızı 0,047 kg/m^{2}s iken 88 W güç seviyesinde 0,07 kg/m^{2}s olduğu tespit edilmiştir. SMBS kodlu örneklerin kurutma hızı Kontrol kodlu örneklerden daha yüksektir. Tüm güç seviyelerinde kurutulan SA kodlu ayva dilimi örneklerinin kurutma zamanları diğer örneklere kıyasla daha kısadır. Bu sonuçlara göre ön işlem çözeltilerin kurutma hızına etki ettiği sonucuna varılmıştır. Benzer sonuçlar literatürde bulunan Potasyum Karbonat (POTAS) ve Sodyum Metabisülfit (SMBS) ile ön işlemler uygulanan üzümlerin infrared ile kurutulmasıyla elde edilmiştir. Aynı IR güç seviyelerinde kurutma yapılan POTAS ve KONTROL kodlu üzüm örneklerinde POTAS kodlu örneklerin kurutma hızının KONTROL kodlu örneklerden daha yüksek olduğu tespit edilmiştir (Taştekinoğlu, 2019).

6.2.3 Matematiksel Modellemenin Değerlendirilmesi

Farklı ön işlemler ve güç seviyeleri uygulanarak kurutulan ayva dilimlerine ait deneysel verilerinin matematiksel modelleme çalışmaları için Tablo 5.1'de belirtilen kurutma modelleri kullanılmıştır. İstatiksel çalışmalar sonucu elde edilen verilerin R^2, χ^2 ve RMSE değerleri belirlenerek kurutma modellerine uyumluluğu ölçülmüştür. Elde edilen sonuçlar Tablo 6.13-6.16'da verilmiştir.

Tablo 6.13 50 W güç seviyesinde yapılan kurutma işleminin istatistiksel analiz sonuçları

Kod	Model	R^2	χ^2	RMSE
SA	**Midilli & Küçük**	**0,9998**	**0,000038**	**0,010294**
	Wang & Singh	0,9921	0,001121	0,067728
	Logaritmik	0,9928	0,001193	0,073696
	Vega & Lemus	0,9940	0,000852	0,061165
	Page	0,9995	0,000068	0,018285
	Vega-Galvez I	0,9639	0,005133	0,175578
	Henderson & Pabis	0,9639	0,005133	0,175577
	Aghbashlo vd.	0,9962	0,000531	0,043403
SMBS	**Midilli & Küçük**	**0,9999**	**0,000006**	**0,004674**
	Wang & Singh	0,9956	0,000577	0,049990
	Logaritmik	0,9942	0,000869	0,069258
	Vega & Lemus	0,9970	0,000397	0,047270
	Page	0,9998	0,000014	0,008474
	Vega-Galvez I	0,9770	0,003057	0,144551
	Henderson & Pabis	0,9770	0,003057	0,144548
	Aghbashlo vd.	0,9972	0,000370	0,041648
Kontrol	**Midilli & Küçük**	**0,9993**	**0,000111**	**0,025171**
	Wang & Singh	0,9966	0,000416	0,054599
	Logaritmik	0,9938	0,000863	0,080442
	Vega & Lemus	0,9974	0,000318	0,048943
	Page	0,9990	0,000118	0,026755
	Vega-Galvez I	0,9771	0,002875	0,156340
	Henderson & Pabis	0,9771	0,002875	0,156340
	Aghbashlo vd.	0,9982	0,000225	0,038362

Tablo 6.14 62 W güç seviyesinde yapılan kurutma işleminin istatistiksel analiz sonuçları

Kod	Model	R^2	χ^2	RMSE
SA	**Midilli & Küçük**	**0,9995**	**0,000124**	**0,019124**
	Wang & Singh	0,9918	0,001260	0,063563
	Logaritmik	0,9898	0,001882	0,083272
	Vega & Lemus	0,9941	0,000908	0,060059
	Page	0,9994	0,000083	0,018892
	Vega-Galvez I	0,9680	0,004949	0,162116
	Henderson & Pabis	0,9680	0,004949	0,162113
	Aghbashlo vd.	0,9959	0,000647	0,046795
SMBS	**Midilli & Küçük**	**0,9998**	**0,000032**	**0,010098**
	Wang & Singh	0,9941	0,000844	0,054938
	Logaritmik	0,9893	0,001788	0,092740
	Vega & Lemus	0,9932	0,000972	0,076402
	Page	0,9993	0,000100	0,020485
	Vega-Galvez I	0,9784	0,003100	0,135500
	Henderson & Pabis	0,9784	0,003100	0,135498
	Aghbashlo vd.	0,9943	0,000810	0,064309
Kontrol	**Midilli & Küçük**	**0,9996**	**0,000063**	**0,015835**
	Wang & Singh	0,9982	0,000215	0,033098
	Logaritmik	0,9977	0,000309	0,039401
	Vega & Lemus	0,9947	0,000644	0,063565
	Page	0,9995	0,000055	0,016931
	Vega-Galvez I	0,9916	0,001016	0,077884
	Henderson & Pabis	0,9916	0,001016	0,077884
	Aghbashlo vd.	0,9984	0,000184	0,024211

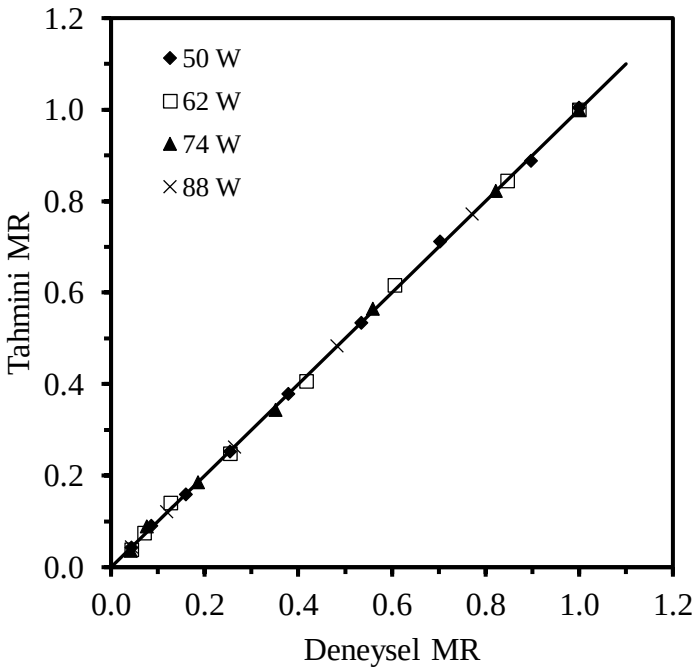
Tablo 6.15 74 W güç seviyesinde yapılan kurutma işleminin istatistiksel analiz sonuçları

Kod	**Model**	**R^2**	**χ^2**	**RMSE**
SA	**Midilli & Küçük**	**0,9996**	**0,000110**	**0,013700**
	Wang & Singh	0,9917	0,001375	0,065410
	Logaritmik	0,9903	0,002015	0,081959
	Vega & Lemus	0,9934	0,001088	0,062334
	Page	0,9995	0,000077	0,014456
	Vega-Galvez I	0,9637	0,006065	0,162059
	Henderson & Pabis	0,9637	0,006065	0,162063
	Aghbashlo vd.	0,9965	0,000571	0,039034
SMBS	**Midilli & Küçük**	**0,9999**	**0,000014**	**0,005793**
	Wang & Singh	0,9919	0,001255	0,062042
	Logaritmik	0,9886	0,002120	0,089709
	Vega & Lemus	0,9934	0,001019	0,068997
	Page	0,9996	0,000048	0,013234
	Vega-Galvez I	0,9722	0,004307	0,148022
	Henderson & Pabis	0,9722	0,004307	0,148021
	Aghbashlo vd.	0,9943	0,000882	0,055239
Kontrol	**Midilli & Küçük**	**0,9990**	**0,000189**	**0,027195**
	Wang & Singh	0,9978	0,000304	0,037455
	Logaritmik	0,9937	0,001023	0,070686
	Vega & Lemus	0,9969	0,000422	0,043649
	Page	0,9989	0,000142	0,026843
	Vega-Galvez I	0,9810	0,002644	0,127088
	Henderson & Pabis	0,9810	0,002644	0,127089
	Aghbashlo vd.	0,9979	0,000279	0,034290

Tablo 6.16 88 W güç seviyesinde yapılan kurutma işleminin istatistiksel analiz sonuçları

Kod	Model	R^2	χ^2	RMSE
SA	**Midilli & Küçük**	**0,9999**	**0,000006**	**0,002581**
	Wang & Singh	0,9945	0,000978	0,045438
	Logaritmik	0,9931	0,001632	0,061292
	Vega & Lemus	0,9952	0,000857	0,046522
	Page	0,9998	0,000029	0,008744
	Vega-Galvez I	0,9674	0,005783	0,141192
	Henderson & Pabis	0,9676	0,005783	0,141190
	Aghbashlo vd.	0,9976	0,000428	0,032274
SMBS	**Midilli & Küçük**	**0,9995**	**0,000128**	**0,017573**
	Wang & Singh	0,9922	0,001252	0,050529
	Logaritmik	0,9909	0,001829	0,069331
	Vega & Lemus	0,9939	0,000975	0,051594
	Page	0,9994	0,000082	0,016689
	Vega-Galvez I	0,9704	0,004776	0,136688
	Henderson & Pabis	0,9704	0,004776	0,136683
	Aghbashlo vd.	0,9947	0,000854	0,048817
Kontrol	**Midilli & Küçük**	**0,9990**	**0,000068**	**0,014763**
	Wang & Singh	0,9978	0,000657	0,036869
	Logaritmik	0,9937	0,001390	0,070153
	Vega & Lemus	0,9969	0,000940	0,067020
	Page	0,9989	0,000092	0,019217
	Vega-Galvez I	0,9810	0,002536	0,107563
	Henderson & Pabis	0,9810	0,002536	0,107563
	Aghbashlo vd.	0,9979	0,000700	0,047205

Tablolarda R^2, χ^2 ve RMSE değerlerine bakıldığında; R^2 değerlerinden en yüksek olan ve χ^2 ve RMSE değerlerinden en düşük olanlar Midilli & Küçük modelindedir. Böylece Midilli & Küçük modelinin ayva dilimlerinde kurutma işlemine en uygun olan model olduğu belirlenmiştir. Midilli & Küçük modeli için R^2, χ^2 ve RMSE değerlerinin sırası ile 0,9990-0,9999, 0,000006-0,000189, 0,002581-0,027195 değerleri arasında değişkenlik gösterdiği belirlenmiştir. Midilli & Küçük modeli ile hesaplanmış tahmini nem oranı verileri ile farklı IR güç seviyelerine göre kurutma işlemi sonucundaki deneysel nem oranı verilerin SA kodlu örnek için kıyaslandığı grafik Şekil 6.28'de verilmiştir.



Şekil 6.28 SA kodlu örneklere ait Midilli & Küçük modeli ile hesaplanmış tahmini verilerin deneysel verilerle karşılaştırılması

SA kodlu örneklere ait grafikte Midilli & Küçük modeli ile hesaplanmış tahmini veriler ve kurutma işlemi sonucundaki deneysel verilerin düz bir çizgi üzerinde sıralandığı görülmüştür. Böylece ayva dilimlerinde kurutma işlemine en uygun olan kurutma modelinin Midilli & Küçük olduğu kanıtlanmış olur. SMBS ve Kontrol kodlu örnekler için de benzer sonuçlar elde edilmiştir. Literatürde yer alan bazı çalışmalarda infrared kurutma yöntemi ile kurutulan bazı meyve ve sebzelerin kurutma prosesinin matematiksel modelleme sonuçlarına göre en

uygun modelin Midilli & Küçük modeli olduğu belirtilmiştir (El-Mesery vd., 2021; Celma vd., 2009).

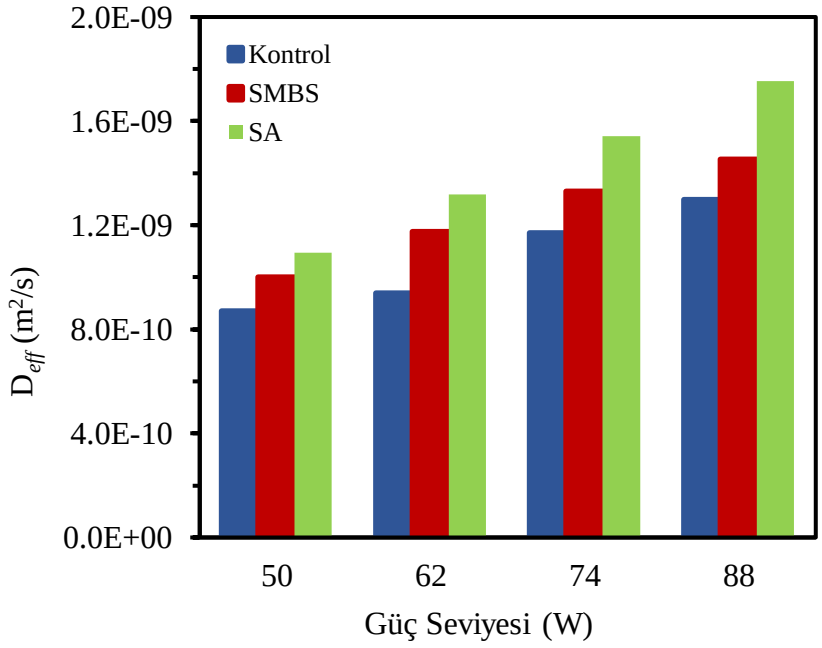
6.2.4 Efektif Difüzyon Katsayısı

İnfrared kurutma sırasında uygulanan farklı güç seviyelerine bağlı olarak, Denklem (5.11) kullanılarak hesaplanan SA, SMBS ve Kontrol kodlu örneklere ait difüzyon katsayıları Tablo 6.17'de verilmiştir.

Tablo 6.17 İnfrared kurutucuda kurutulmuş ayva dilimlerinde efektif difüzyon katsayıları

	Efektif Difüzyon Katsayısı (m²/s)		
Güç seviyesi (W)	**SA**	**SMBS**	**Kontrol**
50	$1{,}095\times10^{-09}$	$1{,}002\times10^{-09}$	$8{,}706\times10^{-10}$
62	$1{,}319\times10^{-09}$	$1{,}175\times10^{-09}$	$9{,}382\times10^{-10}$
74	$1{,}542\times10^{-09}$	$1{,}331\times10^{-09}$	$1{,}170\times10^{-09}$
88	$1{,}754\times10^{-09}$	$1{,}454\times10^{-09}$	$1{,}297\times10^{-09}$

Ayva dilimlerinin efektif difüzyon katsayıları (D_{eff}) $8{,}706 \times 10^{-10}$ m²/s ile $1{,}754\times10^{-9}$ m²/s arasındadır.

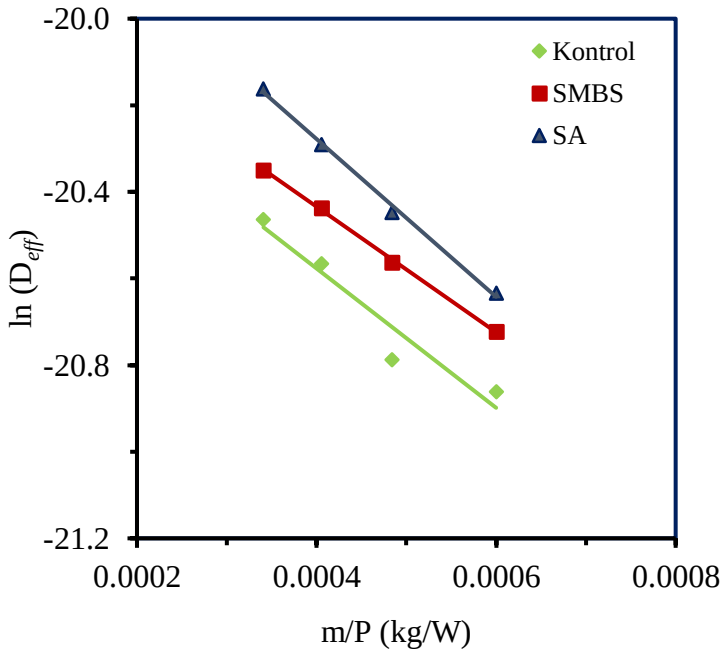


Şekil 6.29 Farklı güç seviyelerinde kurutulmuş ayva dilimlerinin efektif difüzyon katsayıları

Şekil 6.29'da görüldüğü gibi ön işlem çözeltisi ile muamele edildikten sonra kurutulmuş ayva dilimlerinin efektif difüzyon katsayısı değerleri ön işlem uygulanmadan kurutulan kontrol kodlu örneklerden daha yüksektir. Aynı güç seviyesinde farklı ön işlem çözeltileri ile muamele edildikten sonra kurutulan örneklerden SA kodlu örneklerin efektif difüzyon katsayıları en yüksektir. SMBS kodlu ayva dilimlerinin efektif difüzyon katsayı değerleri SA kodlu ayva dilimlerinden daha düşük fakat Kontrol kodlu ayva dilimlerinin efektif difüzyon katsayılarından daha büyüktür. Güç seviyesi arttıkça ayva dilimlerinin içerisindeki suyun buharlaşması daha çok hızlanacağından tüm örneklerde efektif difüzyon katsayısı değerlerinde bir artış göstermiştir.

6.2.5 Aktivasyon Enerjisi

Aktivasyon enerjisinin hesaplanması için doğal logaritmik D_{eff} değerleri ve m/P (kg/W) değerleri Şekil 6.30'da gösterildiği gibi bir grafiğe işlenmiştir. Şekilde görüldüğü gibi elde edilen doğrularının eğimlerinden yararlanarak her bir ürün için aktivasyon enerji değerleri hesaplanmıştır.



Şekil 6.30 İnfrared güç seviyesi ve efektif difüzyon katsayısı arasındaki ilişki

Denklem (6.4), (6.5) ve (6.6)'da SA, SMBS ve Kontrol kodlu örnekler için IR güç seviyesinin D_{eff} üzerindeki etkisi gösterilmiştir:

SA:

$$D_{eff} = 3{,}235 \times 10^{-9} exp\left(-1822\frac{m}{P}\right) \ (R^2 = 0{,}9966) \quad (6.4)$$

SMBS:

$$D_{eff} = 2{,}385 \times 10^{-9} exp\left(-1449{,}8\frac{m}{P}\right) \ (R^2 = 0{,}9991) \quad (6.5)$$

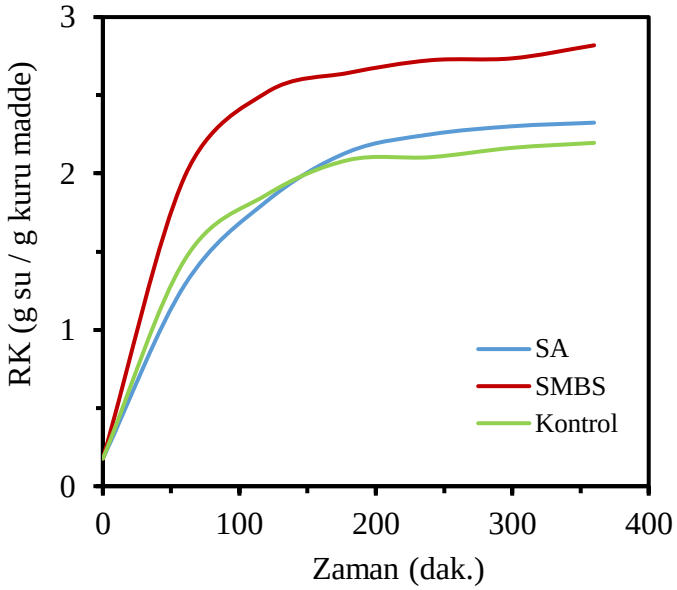
Kontrol:

$$D_{eff} = 2{,}201 \times 10^{-9} exp\left(-1608{,}4\ \frac{m}{P}\right) \ (R^2 = 0{,}9255) \quad (6.6)$$

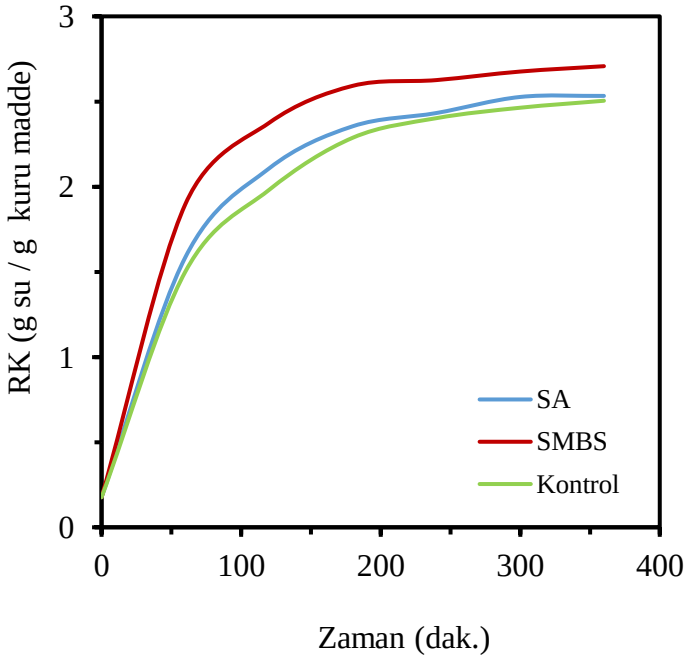
Farklı güç seviyelerinde kurutulan SA, SMBS ve Kontrol kodlu ayva dilimleri için aktivasyon enerjisi değerleri Denklem (6.4), (6.5) ve (6.6)'dan yararlanılarak sırasıyla 1,822 kW/kg, 1,449 kW/kg ve 1,608 kW/kg olarak hesaplanmıştır. Literatürde yer alan bir çalışmada ise infrared kurutucuda kurutulan karadutun aktivasyon enerjisi değerinin 2,015 kW/kg (Doymaz ve Kıpçak, 2019) olduğu, bir başka çalışmada ise infrared kurutucuda kurutulan maydanoz, çilek, kırmızı biber ve yeşil biberin aktivasyon enerjilerinin sırayla 20,854, 4,871, 4,371 ve 5,421 W/g (Onin, 2012) olduğu bildirilmiştir.

6.2.6 Rehidrasyon Kapasitesi

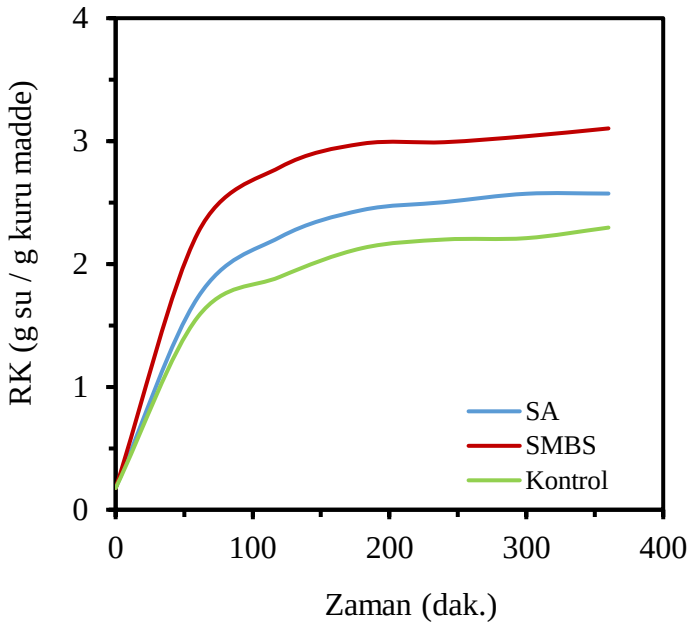
İnfrared kurutma işlemiyle farklı IR güç seviyelerinde (50, 62, 74 ve 88 W) kurutulan SA, SMBS ve Kontrol kodlu ayva dilimlerinin rehidrasyon kapasiteleri Denklem (5.14) kullanılarak hesaplanmıştır. Elde edilen verilerin zamana bağlı değişim eğrileri Şekil 6.31-6.34 ile gösterilmiştir.



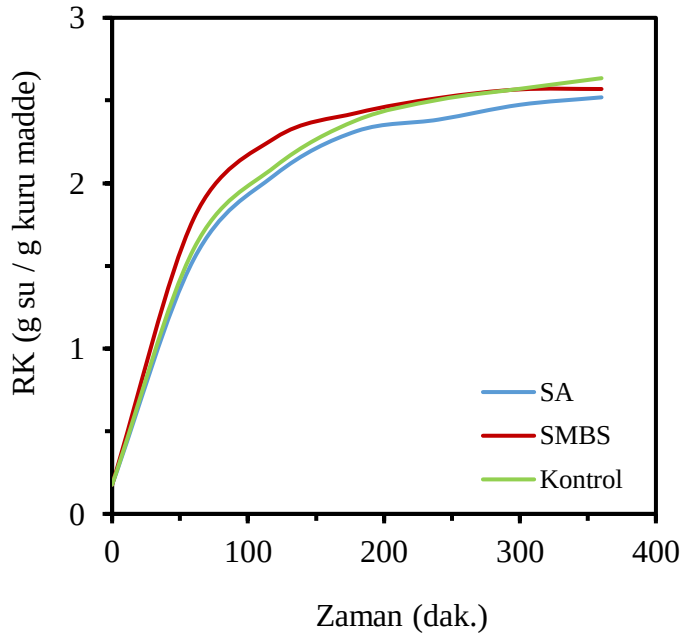
Şekil 6.31 50 W infrared güç seviyesinde kurutulan ayva dilimlerinde rehidrasyon kapasitesi



Şekil 6.32 62 W infrared güç seviyesinde kurutulan ayva dilimlerinde rehidrasyon kapasitesi



Şekil 6.33 74 W infrared güç seviyesinde kurutulan ayva dilimlerinde rehidrasyon kapasitesi



Şekil 6.34 88 W infrared güç seviyesinde kurutulan ayva dilimlerinde rehidrasyon kapasitesi

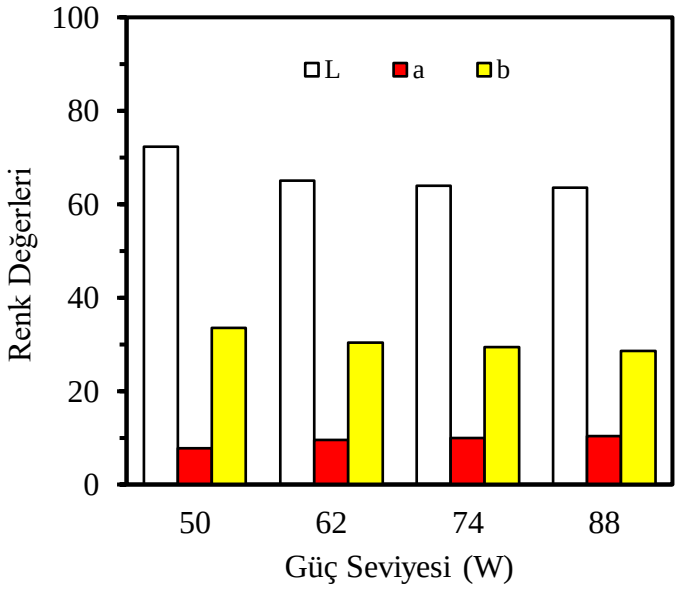
Şekil 6.31-6.34'e bakıldığında infrared kurutucuda tüm IR güç seviyelerinde kurutulan ayva dilimlerine ait en yüksek rehidrasyon kapasitesi 3,1029 kg su/kg kuru madde olarak hesaplanmıştır. Bu değere 74 W IR gücünde kurutulan SMBS kodlu örneklerde ulaşılmıştır. İnfrared kurutucuda kurutulan tüm örneklerin rehidrasyon kapasiteleri bakımından bir karşılaştırma yapılırsa SMBS kodlu örneklerin rehidrasyon kapasitelerinin Kontrol ve SA kodlu örneklerin rehidrasyon kapasitelerinden daha yüksek olduğu görülmüştür. SA kodlu örneklerin rehidrasyon kapasiteleri ile Kontrol kodlu örneklerin rehidrasyon kapasiteleri karşılaştırıldığında ise, 88 W IR gücünde kurutulan örnekler dışında sitrik asit kodlu örneklerin rehidrasyon kapasitesi değerleri daha yüksektir. Sonuç olarak kurutma prosesi öncesinde uygulanan ön işlemlerin kurutma hızında olduğu gibi rehidrasyon kapasitesinde olumlu etki yaptığı gözlenmiştir.

6.2.7 Renk Sonuçları

Uygulanan ön işlemlerin ve kullanılan güç seviyelerinin ayva dilimlerinin renk değerlerine etkisi incelenmiştir. Taze ayva dilimlerinin L, a ve b değerleri sırası ile 75,95, -2,63 ve 29,49 olarak ölçülmüştür. SA kodlu örneklerinin farklı IR güç seviyelerinde kurutulmasına ait renk analiz değerleri Tablo 6.18'de ve L, a ve b değerlerinin değişim grafikleri ise Şekil 6.35 ile gösterilmiştir.

Tablo 6.18 İnfrared kurutucuda kurutulmuş SA kodlu ayva dilimlerinin renk sonuçları

Güç (W)	L	a	b
50	72,24	7,75	33,49
62	65,08	9,48	30,38
74	63,99	10,01	29,41
88	63,55	10,32	28,64



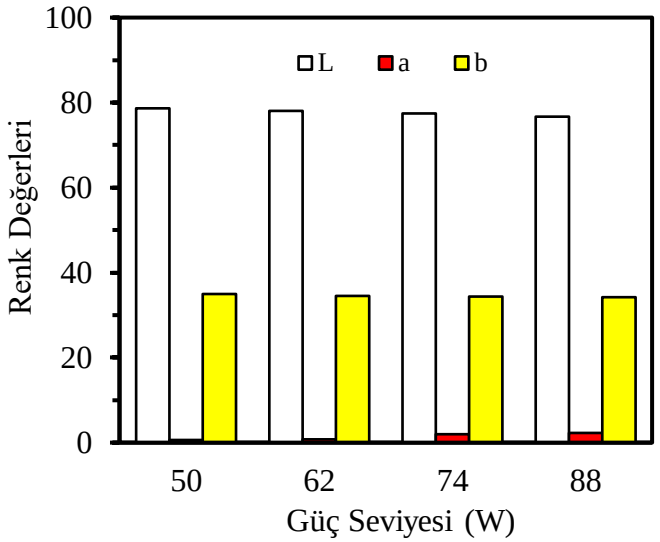
Şekil 6.35 SA kodlu örneklerin renk analizi

Tablo 6.18 ve Şekil 6.35 incelendiğinde infrared kurutma ile kurutulan ayva dilimlerinin L ve b değerinde düşüş, a değerinde ise bir artış olduğu görülmüştür. Bu sonuçlara bağlı olarak SA kodlu ayva dilimlerinde parlaklık ve sarılık azalmış, kırmızılık artmıştır.

SMBS kodlu örneklerinin farklı IR güç seviyelerinde kurutulmasına ait renk analiz değerleri Tablo 6.19'da L, a ve b değerlerinin değişim grafikleri Şekil 6.36 ile gösterilmiştir.

Tablo 6.19 İnfrared kurutucuda kurutulmuş SMBS kodlu ayva dilimlerinin renk sonuçları

Güç (W)	L	a	b
50	78,62	0,62	35,00
62	78,08	0,76	34,48
74	77,46	2,00	34,31
88	76,62	2,27	34,14



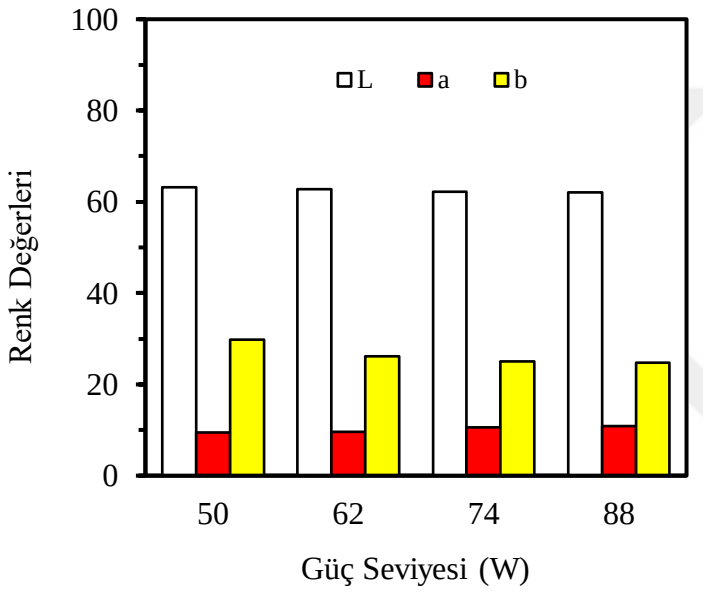
Şekil 6.36 SMBS kodlu örneklerin renk analizi

Tablo 6.19 ve Şekil 6.36'ye göre IR güç seviyesinin artmasıyla a değerinde artış, L ve b değerlerinde ise düşüş olmuştur. Böylece parlaklık ve sarılık gittikçe azalmış, kırmızılık ise artmıştır. Ancak SMBS kodlu örneklerde SA kodlu örneklere göre L ve a değerinde değişimin daha az olmasıyla rengin daha çok korunduğu söylenebilir.

Kontrol kodlu örneklerin farklı IR güç seviyelerinde kurutulmasına ait renk analiz değerleri Tablo 6.20'de L, a ve b değerlerinin değişim grafikleri Şekil 6.37 ile gösterilmiştir.

Tablo 6.20 İnfrared kurutucuda kurutulmuş Kontrol kodlu ayva dilimlerinin renk sonuçları

Güç (W)	L	a	b
50	63,13	9,51	29,82
62	62,71	9,60	26,11
74	62,20	10,58	24,99
88	62,01	10,88	24,73



Şekil 6.37 Kontrol kodlu örneklerin renk analizi

Tablo 6.20 incelendiğinde Kontrol kodlu örneklerin infrared kurutucuda kurutulması ile elde edilen renk değerlerinin Tablo 6.18 ve 6.19'a benzer olduğu saptanmıştır. Ön işlem yapılmış ayva dilimlerinin renk değerlerinde olan artış ve azalmaların daha az olmasıyla rengin Kontrol kodlu örneklere göre daha çok korunduğu gözlemlenmiştir.

Şekil 6.37 incelendiğinde, literatür çalışmalarına da benzer olarak, IR güç seviyesinin artmasıyla ön işlem görmüş örneklerde L ve b değerlerinde düşüş ve a değerinde artış olduğu görülmektedir. Yapılan bir çalışmada infrared kurutma yapılırken güç seviyesinin artmasıyla Japon ayvası meyvesinde L ve b

değerlerinde düşme, a değerinde ise artma olduğu gözlenmiştir (Turkiewicz vd., 2019).

6.2.8 Toplam Fenolik ve Antioksidan Miktarları

Taze ve kuru örneklerin toplam fenolik madde miktarı (TFM) ve antioksidan aktivite değerleri (DPPH) Tablo 6.21'de verilmiştir.

Tablo 6.21 Taze ve kuru ayvaların TFM ve DPPH değerleri

		TFM (mg GAE/g KM)	**DPPH (mg TE/g KM)**
Taze		15,10±0,42[a]	12,88±0,07[a]
İnfrared kurutma	50 W	7,06±0,20[c]	6,71±1,22[c]
	62 W	4,06±0,12[d]	2,34±0,11[e]
	74 W	6,19±0,94[c]	4,95±0,33[d]
	88 W	11,15±1,16[b]	9,25±0,49[e]
r	TFM	1	0,9724
	DPPH		1

Aynı sütundaki küçük harfler (a-e) istatistiksel farkı göstermektedir ($p<0,05$). TFM: toplam fenolik madde; DPPH: 2,2-difenil-1-pikrilhidrazil, *r*: Pearson korelasyon katsayısı

Taze örneklerin TFM değeri 15,10 mg GAE/g KM olarak bulunmuştur. Ayvanın fenolik madde miktarı ile ilgili yapılan çalışmalarda çeşitli sonuçlar elde edilmiştir. Çalışmalarda 9 farklı ayvanın toplam fenolik miktarının 40-100 mg GAE/100 g arasında değiştiği belirlenmiştir (Legua vd., 2013). Bir diğer çalışmada toplam fenolik madde miktarının taze ağırlıkta 96,82 mg GAE/g olarak bulunduğu bildirilmiştir (Al-Zughbi ve Krayem, 2022). Bir başka çalışmada da ayvanın toplam fenolik madde miktarının kuru maddede 6194,46 mg GAE/ olduğu bulunmuştur (Akman vd., 2022). Yapılan çalışmalarda meyvelerin toplam fenolik madde miktarının aynı meyve gruplarında bile farklı olabileceği belirtilmiş ve bunun nedenleri arasında meyvenin içerdiği bileşik gruplarının karmaşıklığından, ekstraksiyon ve analiz yöntemlerinden kaynaklanıyor olabileceğinden bahsedilmiştir. (López vd., 2013). Kurutma sonrasında örneklerin toplam fenolik madde miktarı önemli oranda düşmüştür ($p < 0.05$). En yüksek TFM değeri en yüksek watt (88 W) ile kurutma sonucu elde edilmiştir (11,15 mg GAE/g KM). Bunu 50, 74 ve 62 W izlemiştir. İnfrared kurutmada yüksek

sıcaklıklarda (60 ve 70°C) işlem yapıldığı zaman toplam fenollerin termal bozulmaya karşı direnç gösterdiği, düşük sıcaklıklarda (40 ve 50°C) uzun kurutma zamanından dolayı bazı fenollerde yıkım olabileceği belirtilmiştir (Aboud vd., 2019). İnfrared kurutma sırasında kovalent bağların kırılması sonucu antioksidanların serbest kalması bu yıkımın bir sebebi olabilir (Meng vd., 2018). Örneklerin DPPH sonuçları, TFM sonuçlarına benzerlik göstermiştir. Kurutulan örnekler arasındaki en yüksek antioksidan değeri 88 W (9,25 mg TE/g KM) için tespit edilmiştir. Bu durum, Maillard reaksiyonu sonucunda bazı antioksidan bileşiklerinin serbest kalması ile açıklanabilir (Bchir vd., 2012). TFM ve DPPH arasındaki korelasyon katsayısı 0,9724 olarak bulunmuştur ve bu sonuç aralarındaki korelasyonun yüksek olduğunu göstermektedir.

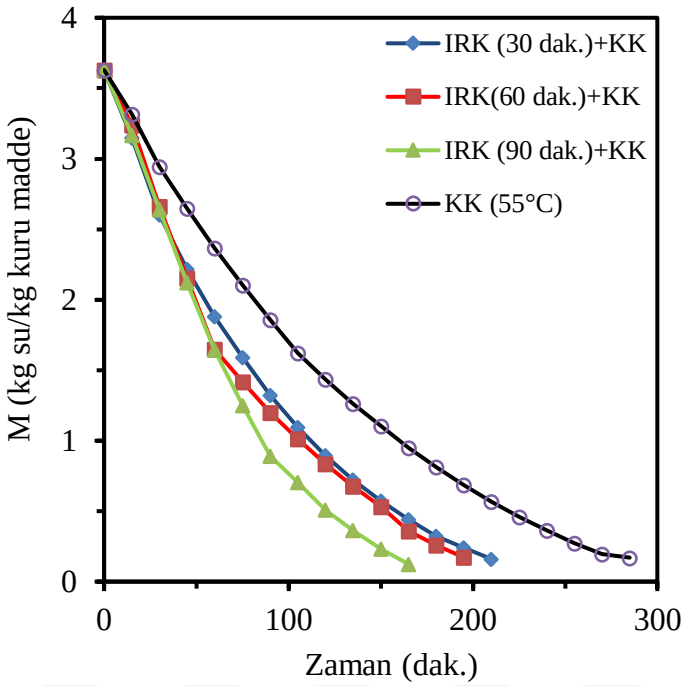
6.3 Kombine Kurutma

Kombine kurutma yönteminde infrared ve kabin tipi kurutucu birlikte kullanılarak Kontrol kodlu ayva dilimleri kurutulmuştur. Ayva dilimleri infrared kurutucuda 50 W güç seviyesinde farklı sürelerde (30, 60 ve 90 dakika) kurutulduktan sonra işleme kabin tipi kurutucuda 55°C'de devam edilmiştir. Kombine kurutma yöntemiyle kurutulan ayva dilimlerinin kurutma zamanları Tablo 6.22'de verilmiştir.

Tablo 6.22 Kombine kurutma yöntemi ile kurutulan ayva dilimlerinin kurutma süreleri

Kombine Kurutma Şekli	Kurutma Zamanı (dakika)
IRK (30 dakika) + KK	210
IRK (60 dakika) + KK	195
IRK (90 dakika) + KK	165
KK (55°C)	285

Kombine kurutma yöntemiyle kurutulan ayva dilimlerinin zamana bağlı nem içerikleri Şekil 6.38'de verilmiştir.



Şekil 6.38 Kombine kurutma ile kurutulan ayva dilimlerinin nem içeriği-kurutma zamanı grafiği

Hiçbir ön işlem uygulanmadan kurutulan ayva dilimleri 55°C'de 285 dakikada kurutulmuştur. Kombine kurutma yöntemi uygulamasında Kontrol kodlu ayva dilimleri önce 50 W güç seviyesinde infrared kurutucuda 30, 60 ve 90 dakika kurutulmuştur. Daha sonra 55°C sıcaklıkta kabin tipi kurutucu ile kurutma işlemine devam edilmiştir. Kurutma zamanları 210, 195 ve 165 dakika olarak ölçülmüştür. Bu sonuç, kombine kurutma yönteminin kabin kurutmaya göre kurutma zamanında bir pozitif etki gösterdiği açıkça görülmüştür. Örneğin, infrared kurutucuda 60 dakika ve daha sonra kabin tipi kurutucuda 55°C'de kurutulan ayva dilimlerinin kurutma zamanı 195 dakika sürmüştür. Bu durumda ayva dilimlerinin 55°C'de kabin tipi kurutucuda kurutulan örneklere göre kurutma zamanında %31,58 bir azalma meydana gelmiştir. Ayrıca örneklerin infrared kurutucuda kurutma zamanının artışı ile birlikte toplam kurutma zamanı düşmüştür. Bunun sebebi konvektif kurutma yönteminin infrared kurutma yöntemine göre daha yavaş bir yöntem olmasından kaynaklanmaktadır.

7
SONUÇ

Bu çalışma ile ayva dilimlerinin konvektif, infrared ve kombine kurutma yöntemleri kullanılarak kurutulması ile ön işlemin ve değişken sıcaklıkların etkisi incelenmiştir. Elde edilen sonuçlar aşağıda listelenmiştir:

- Ayva dilimleri değişken sıcaklıklarda (45, 55, 65 ve 75°C) kabin tipi kurutucu ile sitrik asit çözeltisine, sodyum metabisülfit çözeltisine daldırılarak ve ön işlem uygulanmadan kurutulmuştur. Kurutma zamanı en kısa ve kurutma hızı en yüksek olan örneğin 75°C sıcaklıkta kurutulan SA kodlu örnekler olduğu gözlenmiştir.
- Ayva dilimleri değişken güç seviyelerinde (50, 62, 74 ve 88 W) infrared kurutucuda sitrik asit çözeltisine, sodyum metabisülfit çözeltisine daldırılarak ve ön işlem uygulanmadan kurutulmuştur. Kurutma zamanı en kısa ve kurutma hızı en yüksek olan örneğin 88 W güç seviyesinde kurutulan SA kodlu örneklerde elde edilmiştir.
- Çalışmada yer alan kabin ve infrared kurutucularda kurutulmuş tüm örneklerde ön işlem uygulanan SA ve SMBS kodlu örneklerin kurutma zamanlarının Kontrol kodlu örneklerden daha kısa olduğu tespit edilmiştir.
- Kabin tipi kurutucuda kurutma yönteminde ayva örneklerinin dilim kalınlığının (5, 7 ve 9 mm) kurutma zamanına etkisi araştırılmıştır. En kısa kurutma zamanı 5 mm kalınlığındaki örneklerde gözlemlenmiştir. Dilim kalınlığının artması ile kurutma zamanının arttığı tespit edilmiştir.
- Kontrol kodlu ayva dilimleri kombine kurutma yöntemi (50 W IR güç seviyesindeki infrared kurutucuda + 55°C'deki kabin tipi kurutucuda) ile kurutulmuştur. Kombine kurutma yönteminde kabin kurutma yöntemine göre daha kısa kurutma zamanı elde edilmiştir. Ayrıca kombine kurutma yönteminde infrared kurutma zamanı arttıkça toplam kurutma zamanında azalma olduğu gözlenmiştir.
- Kabin tipi kurutucu ile kurutulan örneklerde için efektif difüzyon katsayıları hesaplanmış ve elde edilen değerler $3{,}338\times10^{-10}$ m²/s ile $1{,}116\times10^{-9}$ m²/s aralığında olduğu saptanmıştır.

- Kabin tipi kurutucu ile kurutulan ayva dilimi örneklerinde SA, SMBS ve Kontrol kodlu aktivasyon enerjileri sırasıyla 31,82, 31,48 ve 27,84 kJ/mol olarak hesaplanmıştır.
- İnfrared kurutucu değişken IR güç seviyelerinde kurutulan örnekler için hesaplanmış efektif difüzyon katsayıları $8{,}706 \times 10^{-10}$ m²/s ile $1{,}754 \times 10^{-9}$ m²/s aralığında bulunmuştur.
- İnfrared kurutucuda kurutulan SA, SMBS ve Kontrol kodlu örneklerin aktivasyon enerjileri sırasıyla 1,822 kW/kg, 1,449 kW/kg ve 1,608 kW/kg olarak hesaplanmıştır.
- Bu çalışmada iki farklı kurutma yöntemi kullanılarak elde edilen verilerin matematiksel modellemesi için 8 farklı kurutma modeli kullanılmıştır. Bu çalışma için yapılan hesaplamalar sonucunda en yüksek R^2, en düşük χ^2 ve RMSE değerleri ile Midilli & Küçük modeli en uygun model seçilmiştir.
- Değişken hava sıcaklık ve güç seviyelerinde kurutulan ayva dilimi örneklerinin renk parametreleri incelenmiştir. Kurutma sıcaklığı ve IR güç seviyesi artışı ile L ve b değerleri azalırken, buna karşılık a değerleri artmıştır.
- Değişken sıcaklık ve güç seviyelerinde iki farklı kurutma yöntemi ile ön işlemli ve ön işlemsiz kurutulmuş olan ayva dilimi örneklerinin rehidrasyon kapasitesi ölçülmüştür. Tüm sıcaklıklarda ve güç seviyelerinde en yüksek kapasite SMBS kodlu örneklerde gözlenmiştir. Kabin tipi kurutucuda en yüksek rehidrasyon kapasitesine 2,6896 g su/g kuru madde miktarı ile 55°C'de kurutulmuş SMBS kodlu örneklerde ulaşılırken, infrared kurutucuda en yüksek rehidrasyon kapasitesine 3,1029 g su/g kuru madde miktarı ile 74 W güç seviyesinde kurutulmuş SMBS kodlu örneklerde ulaşılmıştır.
- Değişken hava sıcaklıklarında kabin tipi kurutucuda ön işlem uygulandıktan sonra ve ön işlem uygulanmadan kurutulan ayva dilimi örneklerinin toplam fenolik madde miktarı ve antioksidan aktivitesi ölçülmüştür. En yüksek TFM değeri en yüksek kurutma sıcaklığı olan 75°C'de bulunmuştur (6,64 mg GAE/g KM). Örneklerin DPPH sonuçları, TFM sonuçlarına benzerlik göstermiş ve en yüksek antioksidan değeri yine 75°C (4,07 mg TE/g KM) için tespit edilmiştir.

- Değişken güç seviyelerinde infrared kurutucuda ön işlem uygulandıktan sonra ve ön işlem uygulanmadan kurutulan ayva dilimi örneklerinin toplam fenolik madde miktarı ve antioksidan aktivitesi ölçülmüştür. En yüksek TFM değeri en yüksek güç seviyesi olan 88 W güç seviyesinde elde edilmiştir (11,15 mg GAE/g KM). Örneklerin DPPH sonuçları TFM sonuçlarına benzerlik göstermiş ve yine en yüksek antioksidan değeri 88 W güç seviyesinde 9,25 mg TE/g KM için tespit edilmiştir.

KAYNAKÇA

Aboud, S. A., Altemimi, A. B., RS Al-HiIphy, A., Yi-Chen, L., & Cacciola, F. (2019). A comprehensive review on infrared heating applications in food processing. *Molecules*, *24*(22), 4125. https://doi.org/10.3390/molecules24224125

Adhami, S., Rahimi, A., & Hatamipour, M. S. (2013). Freeze drying of quince (Cydonia oblonga): Modelling of drying kinetics and characteristics. *Korean Journal of Chemical Engineering*, *30*(6), 1201-1206. https://doi.org/10.1007/s11814-013-0038-3

Akçay, K., Ayok, T., Kocakulak, S., Köroğlu, H. J., Savaşçı, Ö. T., & Tolun, R. (1996). Production of anyhydrous, cristaline borax in a fluidized bed. *Industrial and Engineering Chemistry Research*, *35*, 1424-1428. https://doi.org/10.1021/ie9504462

Akman, H. M., Boyar, I. , Gozlekci , S., Saracoglu, O., & Ertekin, C. (2022). Effects of convective drying of quince fruit (*Cydonia oblonga*) on color, antioxidant activity and phenolic compounds under various fruit juice dipping pre-treatments. *Agriculture*, *18*(8). https://doi.org/10.3390/agriculture12081224

Aktaş, C., (2015) "*Patlıcanın kurutma ve rehidrasyon karakteristiklerinin belirlenmesi*", Yüksek Lisans Tezi, Yıldız Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Esenler, İstanbul.

Aktaş, M., İlbaş, M., Yalçın, A., & Şahin, M. (2013). Kızılötesi ışınımlı bir kurutucuda kuruma davranışlarının deneysel incelenmesi. *Gazi Üniversitesi Mühendislik Mimarlık Fakültesi Dergisi*, *28*(4), 767-775.

Akpınar, E. K., Biçer, Y., & Yıldız, C. (2003). Thin layer drying of red pepper. *Journal of Food Engineering*, *59*, 99–104. https://doi.org/10.1016/S0260-8774(02)00425-9

Akpınar, E. K. (2006). Determination of suitable thin layer drying curve model for some vegetables and fruits. *Journal of Food Engineering*, *73*(1), 75-84. https://doi.org/10.1016/j.jfoodeng.2005.01.007

Aksoy, A. (2019). *Farklı kurutma yöntemlerinin kıymanın kurutma kinetiği, mikroyapısı, rengi ve rehidrasyon oranı üzerine etkisi*. Doktora tezi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Yıldız Teknik Üniversitesi, Esenler, İstanbul.

Alaei, B., Dibagar, N., Chayjan, R. A., Kaveh, M., & Taghinezhad, E. (2018). The effect of short and medium infrared radiation on some drying and quality characteristics of quince slices under vacuum condition. *Quality Assurance and Safety of Crops & Foods*, *10*(4), 371-381. https://doi.org/10.3920/QAS2017.1252

Al-Zughbi, I., Krayem, M. (2022). Quince fruit Cydonia oblonga Mill nutritional composition, antioxidative properties, health benefits and consumers preferences towards some industrial quince products: *A review. Food Chemistry, 393*, 133362. https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2022.133362

Akdeniz, B. (2011). Geleneksel usullerde sultani çekirdeksiz üzüm çeşidinin kurutulması. *Gıda Teknolojileri Elektronik Dergisi*, *6*(1), 13-22.

ASHRAE, (2003). *Building air intake and exhaust design*. ASHRAE applications handbook chapter 44. American Society of Heating, Refrigeating and Air-Conditioning Engineering Inc, Atlanta, USA.

Ayhan, K. (2000). *Gıdalarda mikroorganizma gelişmesini etkileyen faktörler*. Gıda Mikrobiyolojisi ve Uygulamaları. Ankara Üniversitesi Ziraat Fakültesi Gıda Mühendisliği Bölümü Yayını. Sim Matbaası 522.

Barroca, M. J., & Guiné, R. (2012). Study of drying kinetics of quince. In International Conference of Agricultural Engineering CIGR-AgEng2012.

Bchir, B., Besbes, S., Karoui, R., Attia, H., Paquot, M., & Blecker, C. (2012). Effect of air- drying conditions on physico-chemical properties of osmotically pre-treated pomegranate seeds. *Food and Bioprocess Technology*, *5*, 1840-1852. https://doi.org/10.1007/s11947-010-0469-3

Juenger, M. C. G., & Jennings, H. M. (2001). The use of nitrogen adsorption to assess the microstructure of cement paste. *Cement and Concrete Research*, *31*(6), 883-892. https://doi.org/10.1016/S0008-8846(01)00493-8

Beigi, M. (2018). Effect of infrared drying power on dehydration characteristics, energy consumption, and quality attributes of common wormwood (*Artemisia absinthium* L.) leaves. *Journal of Agricultural Science and Technology*, *20*(4), 709-718.

Bilaloğlu, F. (2019). *Farklı kurutma yöntemlerinin Pamukova ayvasının kuruma davranışı üzerine etkisinin deneysel incelenmesi*. Yüksek Lisans Tezi, Sakarya Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Sakarya.

Celma, A. R., Cuadros, F., & López-Rodríguez, F. (2009). Characterisation of industrial tomato by-products from infrared drying process. *Food and Bioproducts Processing*, *87*(4), 282-291.

Çolak Güneş, N. (2009). *Gıda kurutma sistemlerinin ekserji analizi.* Doktora Tezi, Ege Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Bornova, İzmir.

Demiray, E., & Tülek, Y. (2012). Kurutma işleminin kırmızı biberdeki renk maddelerine etkisi. *Gıda Teknolojileri Elektronik Dergisi*, *7* (3), 1-10.

Deniz, Z. (2010). *Akışkan yataklı kurutucu modellemesi ve analizi*. Yüksek Lisans Tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi, Maslak, İstanbul.

Dikbasan, T. (2007). *Determination of effective parameters for drying of apples.* Doctoral dissertation, Izmir Institute of Technology, Urla, İzmir.

Domínguez, J.M. (2011). Drying. *In Comprehensive Biotechnology* (Second Edition) (pp727-735):

Doğanay, T., (2009). *Modern Farmasötik Teknoloji*, 2. Baskı, TEB Eczacılık Akademisi, Mattek Matbaacılık San.Tic. Ltd. Şti., Ankara.

Doymaz, İ., Demir, H., & Yildirim, A. (2015). Drying of quince slices: effect of pretreatments on drying and rehydration characteristics. *Chemical Engineering Communications*, *202*(10), 1271-1279. https://doi.org/10.1080/00986445.2014.921619

Doymaz, İ., & Kipcak, A. S. (2019). Drying characteristics investigation of black mulberry dried via infrared method. *Journal of Thermal Engineering*, *5*(2), 13–21. https://doi.org/10.18186/thermal.528969

EL-Mesery, H. S., Kamel, R. M., & Emara, R. Z. (2021). Influence of infrared intensity and air temperature on energy consumption and physical quality of dried apple using hybrid dryer. *Case Studies in Thermal Engineering*, *27*, 101365. https://doi.org/10.1016/j.csite.2021.101365

Elmizadeh, A., Shahedi, M., & Hamdami, N. (2018). Quality assessment of electrohydrodynamic and hot-air drying of quince slice. *Industrial Crops and Products*, *116*, 35-40. https://doi.org/10.1016/j.indcrop.2018.02.048

FAO (Food and Agriculture Organization). "Crops and livestock products." Erişim tarihi: 02.03.2022. https://www.fao.org./faostat/en/#data/QCL

Galle, C. (2001). Effect of drying on cement-based materials pore structure as identified by mercury intrusion porosimetry. A comparative study between oven-, vacuum-, and freeze-drying. *Cement and Concrete Research, 31* pp. 1467-1477. https://doi.org/10.1016/S0008-8846(01)00594-4

Gheisari, H. R., & Abhari, K. H. (2014). Drying method effects on the antioxidant activity of quince (*Cydonia oblonga* Miller) tea. *Acta Scientiarum Polonorum TechnologiaAlimentaria*, *13*(2), 129-134. https://doi.org/10.17306/J.AFS.2014.2.2

Gironés-Vilaplana, A., Baenas, N., Villaño, D., & Moreno, D. A. (2014). Iberian-American fruits rich in bioactive phytochemicals for nutrition and health. *LIMENCOP SL: Alicante* (First edition), Spain.

Guiamba, I.R. (2016). *Nutritional value and quality of processed mango fruits*. Doctora Thesis, Food and Nutrition Science, Biological Engineering Chalmers Unıversıty of Technology, Sweden, Gothenburg.

Günerhan., A. (2005), Endüstriyel kurutma sistemleri*, Türk Tesisat Mühendisliği Derneği Dergisi, 13,* 1 – 11.

Hernández-García, F., & Carbonell-Barrachina, Á. A. (2020). Quinces. In nutritional composition and antioxidant properties of fruits and vegetables, Jaiswal, A.K. (Ed.), *Academic Press,* 631-643.

Hui, Y. H. (2008). Food drying science and technology: microbiology, chemistry, applications. DEStech Publications, Inc.

İçier, F., Yıldız, H., Eroğlu, S., Sabancı, S., & Eroğlu, E. (2013). Ayva dilimlerinin ozmotik kurutulmasında elektriksel ve ultrasonik ön işlemlerin etkileri. *Akademik Gıda*, *11*(2), 60-69.

İnce, M. (2008). Y*üksek sıcaklıkta hazırlanmış gıdalarda organik kanserojen maddelerin hplc-ms ile tayini*. Doktora Tezi, Fırat Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Elazığ.

İsmail, O. (2017). Güneş altında kurutulmuş havuç dilimlerinin rehidrasyon kinetiğinin incelenmesi. *Gazi Üniversitesi Mühendislik Mimarlık Fakültesi Dergisi, 32*(2), 355-361. https://doi.org/10.17341/gazimmfd.322157

İzgi, C. (2012). *Farklı kurutma metotlarının domatesteki likopen miktarına etkisi*. Yüksek Lisans Tezi, Namık Kemal Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Tekirdağ.

İzli, N., & Polat, A. (2019). Freeze and convective drying of quince (*Cydonia oblonga Miller.):* Effects on drying kinetics and quality attributes. *Heat and Mass Transfer*, *55*(5), 1317-1326. https://doi.org/10.1007/s00231-018-2516-y

Karaaslan, S. & Tunçer, İ.K. (2009). Kırmızı biberin fan destekli mikrodalga ile kurutulmasında kuruma karakteristiklerinin incelenmesi ile uygun kuruma modelinin belirlenmesi*, Kahramanmaraş Sütçü İmam Üniversitesi Doğa Bilimleri Dergisi*, *12*(2), 9-16.

Karaaslan, S., Erdem, T., & Sarı, M. (2016). Microwave drying of quince slices. *SDU Journal of the Faculty of Agriculture/SDÜ Ziraat Fakültesi Dergisi*, *11*(1), 27-33.

Karakaya, O., & Balta, M. F. (2021). 'Eşme' ayva çeşidinin biyokimyasal özelliklerine farklı kurutma yöntemlerinin etkisi. *Ordu Üniversitesi Bilim ve Teknoloji Dergisi*, *11*(2), 159-168. https://doi.org/10.54370/ordubtd.895560

Kaya, A., Aydın, O., Demirtaş, C., & Akgün, M. (2007). An experimental study on the drying kinetics of quince. *Desalination*, *212*(1-3), 328-343. https://doi.org/10.1016/j.desal.2006.10.017

Kayacan, S., Karasu, S., Akman, P. K., Goktas, H., Doymaz, I., & amp; Sagdic, O. (2020). Effect of different drying methods on total bioactive compounds, phenolic profile, in vitro bioaccessibility of phenolic and HMF formation of persimmon. *LWT*, *118*, 108830, https://doi.org/10.1016/j.lwt.2019.108830.

Kumar, G.P., Prashanth, N. ve Kumari, B.C. (2011). Fundamentals and applications of lyophilization. *Journal of Advanced Pharmaceutical Research*, *2*(4): 157-169.

Koç, B., Eren, I., & Ertekin, F. K. (2008). Modelling bulk density, porosity and shrinkage of quince during drying: The effect of drying method. *Journal of Food Engineering*, *85*(3), 340-349. https://doi.org/10.1016/j.jfoodeng.2007.07.030

Komonsing, N., Khuwijitjaru, P., Nagle, M., Müller, J., & Mahayothee, B. (2022). Effect of drying temperature together with light on drying characteristics and bioactive compounds in turmeric slice. *Journal of Food Engineering*, *317*, 110695. https://doi.org/10.1016/j.jfoodeng.2021.110695

Konak, Ü. İ., Certel, M., & Helhel, S. (2009). Gıda sanayisinde mikrodalga uygulamaları. *Gıda Teknolojileri Elektronik Dergisi*, *4*(3), 20-31.

Kuş, S. (2016). *Mikrodalga enerjisiyle ayva ve armut meyvesinin kuruma davranışı ve modellemesi*. Doktora Tezi, Namık Kemal Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Tekirdağ.

Kutlu, N. (2022). Optimization of ohmic heating-assisted osmotic dehydration as a pretreatment for microwave drying of quince. *Food Science and Technology International*, *28*(1), 60-71. https://doi.org/10.1177/10820132219916

Legua, P., Serrano, M. Melgarejo, P., Valero, D., Martínez, J. J., Martínez, R., & Hernández, F. (2013). Quality parameters, biocompounds and antioxidant activity in fruits of nine quince (*Cydonia oblonga Miller)* accessions. *Scientia Horticulturae, 154*, 61–65. https://doi.org/10.1016/j.scienta.2013.02.017.

López, J., Vega-Gálvez, A., Torres, M.J., Lemus-Mondaca, R., Quispe-Fuentes, I., & Karina Di Scala (2013). Effect of dehydration temperature on physico-

chemical properties and antioxidant capacity of goldenberry (*Physalis peruviana L.). Chilean Journal of Agricultural Research, 73*(3). https://doi.org/10.4067/S0718-58392013000300013

Luo, L., Wang, J., Li, M., Zhang, Y., Wang, Y., Xu, Y., & Yin, J. (2023). Characterization of the key odorants and investigation of the effects of drying methods on the aroma, taste color and volatile profiles of the fruit of Clausena anisum-olens (Blanco) Merr. *LWT*, 114476. https://doi.org/10.1016/j.lwt.2023.114476

Meng, Q., Fan, H., Li, Y., & Zhang, L. (2018). Effect of drying methods on physico-chemical properties and antioxidant activity of Dendrobium officinale. *Journal of Food Measurement and Characterization*, *12*, 1-10, https://doi.org/10.1007/s11694-017-9611-5

Mujumdar, A. S. (2000). Mujumdar's practical guide to industrial drying. *Exergex Corporation, 18*(8):1937-1938. https://doi.org/10.1080/07373930008917820

Najman, K., Adrian, S., Hallmann, E., Sadowska, A., Buczak, K., Waszkiewicz-Robak, B., & Szterk, A. (2023). Effect of various drying methods on physicochemical and bioactive properties of quince fruit *(Cydonia oblonga Miller*). *Agriculture, 13*(2), 446. https://doi.org/10.3390/agriculture13020446

Ngamwonglumlert, L., & Devahastin, S. (2018). Microstructure and its relationship with quality and storage stability of dried foods. In *Food Microstructure and Its Relationship with Quality and Stability*, pp. 139-159. https://doi.org/10.1016/B978-0-08-100764-8.00008-3

Onin, M. (2012). *Bazı meyve ve sebzelerin infrared kurutucuda kurutulmasının deneysel ve teorik incelenmesi*. Yüksek Lisans Tezi, İnönü Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Malatya.

Özdeş, M. (2013). *Kurutma prosesinde kurutma hava hız ve sıcaklığının ekserji verimine etkisi*. Yüksek Lisans Tezi, Aksaray Üniversitesi, Bahçesaray, Aksaray.

Raoult-Wack, A.L., Lenart, A. & Guilbert, S. (1994). Recent advances in the osmotic dehydration of foods. *Trends in Food Science & Technology*, *5,* 225-260. https://doi.org/10.1016/0924-2244(94)90018-3

Reyes, A., Ceron, S., Zuniga, R. & Moyano, P. (2007). A comparative study of microwave-asisted air drying of potato slices. *Biosystems Engineering, 98*(13), 310-318. https://doi.org/10.1016/j.biosystemseng.2007.07.006

Saçılık, K., & Eliçin, A.K. (2006). The thin layer drying characteristics of organic apple slices, *Journal of Food Engineering*, *73*(3), 281–289. https://doi.org/10.1016/j.jfoodeng.2005.03.024

Saldamlı, İ., Saldamlı, E. (2004). *Gıda endüstrisi makinaları*. İkinci Baskı. Savaş Yayınevi. Ankara.

Sharma, G. P., Verma, R. C. & Pathare, P. (2005). Mathematical modeling of ınfrared radiation thin layer drying of onion slices. *Journal of Food Engineering*, *71*, 282–286. https://doi.org/10.1016/j.jfoodeng.2005.02.010

Singh, R. P., Chidambara Murthy, K. N., & Jayaprakasha, G. K. (2002). Studies on the antioxidant activity of pomegranate (Punica granatum) peel and seed

extracts using in vitro models. *Journal of agricultural and food chemistry*, *50*(1), 81-86. https://doi.org/10.1021/jf010865b

Singleton, V. L., Rossi, J. A. (1965). Colorimetry of total phenolics with phosphomolybdic- phosphotungstic acid reagents. *American journal of Enology and Viticulture*, *16*(3), 144-158. https://doi.org/10.5344/ajev.1965.16.3.144

Szychowski, P. J., Lech, K., Sendra-Nadal, E., Hernández, F., Figiel, A., Wojdyło, A., & Carbonell-Barrachina, Á. A. (2018). Kinetics, biocompounds, antioxidant activity, and sensory attributes of quinces as affected by drying method. *Food Chemistry*, *255*, 157-164. doi:10.54370/ordubtd.895560

Tan, G. (2023). Gıda endüstrisinde kullanılan kurutma sistemleri. TMMOB Gıda Mühendisleri Odası:https://www.gidamo.org.tr/resimler/ekler/a755b15223ea060ek.pdf?dergi=255

Taştekinoğlu, D. (2019). *Sıcak hava ve infrared kurutma yöntemleri ile önişlemlerin üzümün kurutma karakteristikleri üzerine etkisi*. Yüksek Lisans Tezi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Yıldız Teknik Üniversitesi, Esenler, İstanbul.

TC Başbakanlık Türkiye İstatistik Kurumu. (2022). *Bitkisel ürün denge tabloları, 2022* (Yayın no. 49456). Ankara.

Turkiewicz, I. P., Wojdyło, A., Lech, K., Tkacz, K., & Nowicka, P. (2019). Influence of different drying methods on the quality of Japanese quince fruit. *LWT*, *114*, 108416. https://doi.org/10.1016/j.lwt.2019.108416

Turkiewicz, I. P., Tkacz, K., Nowicka, P., Michalska-Ciechanowska, A., Lech, K., & Wojdyło, A. (2021). *Physicochemical characterization and biological potential of Japanese quince polyphenol extract treated by different drying techniques*. *LWT*, *152*, 112247. https://doi.org/10.1016/j.lwt.2021.112247

Tüfekçi, S., (2014) "*Ultrases ön işleminin bamya ve elma örneklerinin kurutma performansları üzerine etkisi*", Yüksek Lisans Tezi, Pamukkale Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Denizli, Türkiye.

Tzempelikos, D. A., Vouros, A. P., Bardakas, A. V., Filios, A. E., & Margaris, D. P. (2014). Case studies on the effect of the air drying conditions on the convective drying of quinces. *Case Studies in Thermal Engineering*, *3*, 79-85. https://doi.org/10.1016/j.csite.2014.05.001

USDA Food Data Central. "Quinces, raw." Erişim tarihi: 17.03.2022. https://fdc.nal.usda.gov/fdc-app.html#/food-details/168163/nutrients

Vega-Mercado, H., Góngora-Nieto, M. M., & Barbosa-Cánovas, G. V. (2001). Advances in dehydration of foods. *Journal of Food Engineering*. 49,271-289s. https://doi.org/10.1016/S0260-8774(00)00224-7

Vojtec, V., & Drbohlav, R. (1966) *Fluidized bed drying chemical and process engineering series*, Leonard Hill, pp 17-81.

Wang, Z.F., Fang, S.Z., & Hu, X.S. (2009). "Effective diffusivities and energy consumption of whole fruit jujube (*Zizyphus jujuba Miller*) in microwave drying", *Drying Technology*, *27*, 1097-1104

Yağcıoğlu, A. (1999). *Tarım ürünlerinde kurutma tekniği*, İzmir: Ege Üniversitesi Ziraat Fakültesi Yayınları, 536s.

Yıldırım, T., & Sipahioğlu, O. (2021). Ultrases ve kaplama ön işlemlerinin infrared kurutulmuş ayva numunelerinde kuruma verimi ve kalite parametreleri üzerine etkisi. *Avrupa Bilim ve Teknoloji Dergisi*, *28*, 819-825. https://doi.org/10.31590/ejosat.1010668

Yıldız, G., & İzli, G. (2020). Gıdaların kurutulmasında mikrodalga ve sıcak hava yöntemleri. İksad Yayınevi, Ankara, Türkiye, 128s.

Yüce, I. B. (2019). *Kiraz domatesin kurutma kinetiğinin ve bazı kalite kriterlerinin belirlenmesi*. Yüksek Lisans Tezi, Yıldız Teknik Üniversitesi, Esenler, İstanbul.

Zogzas, N. P., & Maroulis, Z. B. (1996). Effective moisture diffusivity estimation from drying data. A comparison between various methods of analysis. *Drying Technology*, *14*(7-8), 1543-1573. https://doi.org/10.1080/07373939608917163

TEZDEN ÜRETİLMİŞ YAYINLAR

Konferans Bildirileri

1. Şekerci, Ö., "Drying of quince slices with hot air and analyzing of drying behavior", 8th International Academic Student Studies Congress, May 26-27, 2023, İstanbul.