

T.C.
YILDIZ TEKNİK ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

FARKLI KURUTMA YÖNTEMLERİNİN KİVİ MEYVESİNİN
KURUMA KARAKTERİSTİKLERİNE VE KALİTE
PARAMETRELERİNE ETKİSİ

Elena BORUCU

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Kimya Mühendisliği Anabilim Dalı
Kimya Mühendisliği Programı

Danışman
Prof. Dr. İbrahim DOYMAZ

Aralık, 2022

T.C.
YILDIZ TEKNİK ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

**FARKLI KURUTMA YÖNTEMLERİNİN KİVİ MEYVESİNİN
KURUMA KARAKTERİSTİKLERİNE VE KALİTE
PARAMETRELERİNE ETKİSİ**

Elena BORUCU tarafından hazırlanan tez çalışması 26.12.2022 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. Şah İsmail Kırbaşlar, Üye

İstanbul Üniversitesi- Cerrahpaşa

Danışmanım Prof. Dr. İbrahim DOYMAZ sorumluluğunda tarafımca hazırlanan Farklı Kurutma Yöntemlerinin Kivi Meyvesinin Kuruma Karakteristiklerine ve Kalite Parametrelerine 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.

Elena BORUCU

İmza



Aileme
ve
biricik eşime

TEŞEKKÜR

Bu çalışmanın başlangıcından itibaren bana her türlü desteği sağlayan ve çalışmalarımda değerli önerileriyle yol gösteren saygıdeğer hocam ve tez danışmanım Sayın Prof. Dr. İbrahim DOYMAZ'a;

Bütün hayatım boyuca bana inanan, beni her zaman destekleyen ve bir an bile beni aklından ve kalbinden çıkarmayan çok sevdiğim canım annem Meryem SEZGİN'e; yaptığım her işte arkamda duran sevgisini ve şefkatini gösteren biricik babam Doğan SEZGİN'e; çok sevdiğim canım kardeşim Deniz Berk SEZGİN'e ve yaptığım her işte beni destekleyen, hep yanımda olan, sevgisini ve desteğini hiç esirgemeyen, tez çalışmam boyunca fikirlerini paylaşan ve tezimin bitmesine yardımcı olan çok sevdiğim eşim Arş. Gör. Mustafa BORUCU'ya çok teşekkür ederim.

İÇİNDEKİLER

SİMGE LİSTESİ	ix
KISALTMA LİSTESİ	xi
ŞEKİL LİSTESİ	xii
TABLO LİSTESİ	xv
ÖZET	xvi
ABSTRACT	xviii
1 GİRİŞ	1
1.1 Literatür Özeti.....	1
1.2 Tezin Amacı	2
1.3 Hipotez	2
2 KURUTMA	3
2.1 Kurutma İşlemine Giriş	3
2.1.1 Sorpsiyon İzotermi.....	5
2.1.2 Kuruma Eğrileri	6
2.2 Kurutma Yöntemleri.....	7
2.2.1 Sıcak Hava ile Kurutma	8
2.2.2 Mikrodalga ile Kurutma	9
2.2.3 Güneş Altında Kurutma	11
2.2.4 Vakum Altında Kurutma.....	12
2.2.5 Dondurarak Kurutma	13
2.3 Kurutucu Tipleri.....	16
2.3.1 Sera Tipi Kurutucular	16
2.3.2 Tepsili Kurutucular.....	17
2.3.3 Tünel Kurutucular	17
2.3.4 Bantlı Kurutucular.....	18
2.3.5 Akışkan Yatak Kurutucular	19
2.3.6 Silindirik Kurutucular.....	19
2.3.7 Vakum Kurutucular	20
2.3.8 Dondurma ile Kurutma Sistemleri	20
3 KİVİ MEYVESİ	22
3.1 Kivi Meyvesinin Özellikleri.....	22

3.2 Kivi Kurutma Literatür Özeti	25
4 DENEYSEL ÇALIŞMALAR	33
4.1 Materyal.....	33
4.2 Deneylerde Kullanılan Ekipmanlar	33
4.3 Yöntem	37
4.3.1 Ön-İşlem Uygulamaları	37
4.3.2 Kuru Madde Tayini	37
4.3.3 Sıcak Hava ile Kurutma Yöntemi	37
4.3.4 İnfrared Kurutma Yöntemi	38
4.3.5 Hibrit Kurutma Yöntemi.....	39
4.3.6 Matematiksel Modelleme	39
4.3.7 Regresyon Analizi.....	40
4.3.8 Difüzyon Katsayısı Hesabı	41
4.3.9 Aktivasyon Enerjisi Hesabı	42
4.3.10 Renk Ölçümü	42
4.3.11 Rehidrasyon Kapasitesi.....	43
5 DENEYSEL BULGULARIN İNCELENMESİ	45
5.1 Sıcak Hava Kurutma Yöntemi ile Gerçekleştirilen Deneyler.....	45
5.1.1 Kurutma Havaının Sıcaklığının ve Ön-İşlem Çözeltilerinin Kurutma Süresine Etkisi.....	45
5.1.2 Kurutma Havaı Sıcaklığının ve Ön-İşlem Çözeltilerinin Kurutma Hızına Etkisi.....	49
5.1.3 Kivi Meyvesi Dilim Kalınlığının Kurutma Süresine Etkisi	51
5.1.4 Kurutma Verilerinin Matematiksel Modellenmesi.....	53
5.1.5 Efektif Difüzyon Katsayısının Hesaplanması	59
5.1.6 Aktivasyon Enerjisinin Hesaplanması	60
5.1.7 Sıcak Hava ile Kurutulan Örnekler için Renk Değerleri	61
5.1.8 Sıcak Hava ile Kurutulan Örnekler için Rehidrasyon Kapasitesi.....	65
5.2 İnfrared Kurutma Yöntemi ile Gerçekleştirilen Deneyler	68
5.2.1 IR Güç Seviyesinin ve Ön-İşlem Uygulamalarının Kurutma Süresine Etkisi.....	68
5.2.2 İnfrared Kurutma Gücünün Kurutma Hızına Etkisi	71
5.2.3 Kurutma Prosesinin Matematiksel Modellenmesi.....	74
5.2.4 Efektif Difüzyon Katsayılarının Hesaplanması.....	79
5.2.5 Aktivasyon Enerjisi Değerleri.....	81

5.2.6 İnfrared Kurutucu ile Kurutulan Örnekler için Renk Analizi	81
5.2.7 İnfrared Kurutucu ile Kurutulan Örnekler için Rehidrasyon Kapasitesi.....	84
5.3 Hibrit Kurutmanın Kurutma Süresine Etkisi	87
6 SONUÇ VE ÖNERİLER	89
KAYNAKÇA	92
TEZDEN ÜRETİLMİŞ YAYINLAR	102



SİMGE LİSTESİ

w	Ağırlık
E_a	Aktivasyon enerjisi
M_0	Başlangıçtaki nem içeriği
MR_{exp}	Deneysel nem oranı
N	Deneysel veri sayısı
M_e	Denge nem içeriği
d	Dilim kalınlığı
D_{eff}	Efektif difüzyon katsayısı
GHz	Gigahertz
g	Gram
p	İnfrared güç
z	Katsayı sayısı
K	Kelvin
χ^2	Khi-kare
a	Kırmızılık
kJ	Kilojoule
kCal	Kilokalori
Km	Kilometre
kPa	Kilopaskal
kW	Kilowatt
C	Kroma
a, b, k, n	Kullanılan kurutma modellerindeki sabitler
M	Kuru bazda nem içeriği
W_d	Kuru madde miktarı
KH	Kurutma hızı
m_2	Kurutma öncesi kurutma kabı ve analiz örneğinin ağırlıkları

m_1	Kurutma prosesi sonrası kurutma kabının ağırlığı
T	Kurutma sıcaklığı
m_3	Kurutma sonrası kurutma kabı ve analiz örneğinin ağırlıkları
t	Kurutma süresi
MHz	Megahertz
mbar	Milibar
mm	Milimetre
P	Oransal hata
Pa	Paskal
R^2	Regresyon katsayısı
s	Saniye
°C	Santigrat
cm	Santimetre
b	Sarılık
D_0	Sonsuz sıcaklıkta difüziviteye eşdeğer bir sabit
W_i	Su içeriği
M_t	t anındaki nem içeriği
MR_{pre}	Tahmini nem oranı
ΔE	Toplam renk değişimi
R	Üniversal gaz sabiti
L	Yarı dilim kalınlığı
m	Yaş ürün ağırlığı
W	Watt

KISALTMA LİSTESİ

As+SD	Askorbik asit+sodyum disülfid
RMSE	Ortalama karesel hata değeri
SA	Sitrik asit
SE	Standard hata



ŞEKİL LİSTESİ

Şekil 2.1	Sorpsiyon izotermlerinin genel görüntüsü.....	5
Şekil 2.2	Kuruma hızı eğrileri.....	7
Şekil 2.3	Bir mikrodalga fırınının genel yapısı.....	10
Şekil 2.4	Sera tipi kurutucunun genel görüntüsü.....	12
Şekil 2.5	Saf haldeki suyun faz diyagramı.....	13
Şekil 2.6	Tepsili (kabin) kurutucu.....	17
Şekil 2.7	Tünel tipi kurutucu sistemleri.....	18
Şekil 3.1	Kivi asmasının yapısı.....	22
Şekil 3.2	Kivi meyvesi.....	23
Şekil 3.3	Kivi meyvesinin enine kesiti.....	23
Şekil 3.4	Yıllara göre Türkiye'deki kivi üretimi.....	24
Şekil 3.5	2020 yılında ülke bazında kivi üretimi.....	25
Şekil 4.1	Kabin kurutucu.....	33
Şekil 4.2	İnfrared kurutucu.....	34
Şekil 4.3	Mettler-Toledo marka terazi.....	35
Şekil 4.4	Etüv.....	35
Şekil 4.5	Precisa marka hassas terazi.....	36
Şekil 4.6	Vacupak 2 Plus vakum cihazı.....	36
Şekil 4.7	Kurutulmuş kivi dilimleri.....	38
Şekil 4.8	PCE-CSM 1 marka renk ölçüm cihazı.....	43
Şekil 5.1	50°C'ta yapılan kurutma için nem içeriğinin zaman ile değişimi.....	46
Şekil 5.2	60°C 'ta yapılan kurutma için nem içeriğinin zaman ile değişimi.....	46
Şekil 5.3	70°C'ta yapılan kurutma için nem içeriğinin zaman ile değişimi.....	47
Şekil 5.4	75°C'ta yapılan kurutma için nem içeriğinin zaman ile değişimi.....	47
Şekil 5.5	50°C'de kurutulan kivi dilimleri için kurutma zamanına karşılık kurutma hız değerleri.....	49
Şekil 5.6	60°C'de kurutulan kivi dilimleri için kurutma zamanına karşılık kurutma hız değerleri.....	50
Şekil 5.7	70°C'de kurutulan kivi dilimleri için kurutma zamanına karşılık kurutma hız değerleri.....	50
Şekil 5.8	75°C'de kurutulan kivi dilimleri için kurutma zamanına karşılık kurutma hız değerleri.....	51

Şekil 5.9 Farklı dilim kalınlıklarında dilimlenmiş kivi meyvesi için nem içeriği ve kurutma süresi arasındaki ilişki.....	52
Şekil 5.10 SA kodlu örnekler için deneysel verilerin Aghbashlo vd. modeli için hesaplanmış olan tahmini veriler ile kıyaslanması.....	57
Şekil 5.11 As+SD kodlu örnekler için deneysel verilerin Aghbashlo vd. modeli için hesaplanmış olan tahmini veriler ile kıyaslanması.....	58
Şekil 5.12 Kontrol kodlu örnekler için deneysel verilerin Aghbashlo vd. modeli için hesaplanmış olan tahmini veriler ile kıyaslanması.....	58
Şekil 5.13 Değişik sıcaklıklarda farklı ön-işlem çözeltileri ile muamele edilerek kurutulmuş kivi dilimlerinin D_{eff} değerlerinin değişimi.....	60
Şekil 5.14 Sıcak hava kullanılarak kurutulan kivi dilimleri için kurutma sıcaklığının efektif difüzyon katsayısına etkisi.....	61
Şekil 5.15 SA kodlu örnekler için renk analizi.....	63
Şekil 5.16 As+SD kodlu örnekler için renk analizi.....	64
Şekil 5.17 Kontrol kodlu örnekler için renk analizi.....	64
Şekil 5.18 50°C'ta kurutulmuş kivi dilimlerinin zamana bağlı rehidrasyon kapasitesi.....	65
Şekil 5.19 60°C'ta kurutulmuş kivi dilimlerinin zamana bağlı rehidrasyon kapasitesi.....	66
Şekil 5.20 70°C'ta kurutulmuş kivi dilimlerinin zamana bağlı rehidrasyon kapasitesi.....	66
Şekil 5.21 75°C'ta kurutulmuş kivi dilimlerinin zamana bağlı rehidrasyon kapasitesi.....	67
Şekil 5.22 Kurutulmuş kivi dilimleri için toplam rehidrasyon kapasiteleri.....	67
Şekil 5.23 38 W infrared gücünde gerçekleştirilen kurutma prosesi için zamana bağlı nem içerikleri.....	69
Şekil 5.24 50 W infrared gücünde gerçekleştirilen kurutma prosesi için zamana bağlı nem içerikleri.....	69
Şekil 5.25 62 W infrared gücünde gerçekleştirilen kurutma prosesi için zamana bağlı nem içerikleri.....	70
Şekil 5.26 74 W infrared gücünde gerçekleştirilen kurutma prosesi için zamana bağlı nem içerikleri.....	70
Şekil 5.27 88 W infrared gücünde gerçekleştirilen kurutma prosesi için zamana bağlı nem içerikleri.....	71
Şekil 5.28 38 W infrared gücünde gerçekleştirilen kurutma prosesi için zamana bağlı kurutma hızları.....	72
Şekil 5.29 50 W infrared gücünde gerçekleştirilen kurutma prosesi için zamana bağlı kurutma hızları.....	72

Şekil 5.30	62 W infrared gücünde gerçekleştirilen kurutma prosesi için zamana bağlı kurutma hızları.....	73
Şekil 5.31	74 W infrared gücünde gerçekleştirilen kurutma prosesi için zamana bağlı kurutma hızları.....	73
Şekil 5.32	88 W infrared gücünde gerçekleştirilen kurutma prosesi için zamana bağlı kurutma hızları.....	74
Şekil 5.33	SA grubu kivi dilimleri için deneysel veriler ile Aghbashlo vd. modeli ile hesaplanmış olan tahmini verilerin kıyaslanması.....	78
Şekil 5.34	Kontrol grubu kivi dilimleri için deneysel veriler ile Aghbashlo vd. modeli ile hesaplanmış olan tahmini verilerin kıyaslanması.....	79
Şekil 5.35	Değişik infrared güçlerindeki efektif difüzyon katsayıları.....	80
Şekil 5.36	İnfrared kurutucu kullanılarak kurutulan kivi dilimleri için IR gücünün efektif difüzyon katsayısına etkisi.....	81
Şekil 5.37	SA örnekleri için renk değerleri.....	83
Şekil 5.38	Kontrol örnekleri için renk değerleri.....	83
Şekil 5.39	38 W infrared gücünde kurutulmuş kivi dilimlerinin zamana bağlı rehidrasyon kapasiteleri.....	84
Şekil 5.40	50 W infrared gücünde kurutulmuş kivi dilimlerinin zamana bağlı rehidrasyon kapasitesi.....	85
Şekil 5.41	62 W infrared gücünde kurutulmuş kivi dilimlerinin zamana bağlı rehidrasyon kapasitesi.....	85
Şekil 5.42	74 W infrared gücünde kurutulmuş kivi dilimlerinin zamana bağlı rehidrasyon kapasitesi.....	86
Şekil 5.43	88 W infrared gücünde kurutulmuş kivi dilimlerinin zamana bağlı rehidrasyon kapasitesi.....	86
Şekil 5.44	İnfrared kurutma yöntemi ile kurutulmuş kivi dilimleri için toplam rehidrasyon kapasiteleri.....	87
Şekil 5.45	Hibrit kurutma yöntemi ile kurutulan kivi dilimleri için zamana bağlı nem içerikleri.....	88

TABLO LİSTESİ

Tablo 2.1 Ülkemizin çeşitli bölgelerinin yılda güneş alma süreleri.....	12
Tablo 2.2 Bazı kurutucular ve gıda sanayinde kullanım alanları.....	21
Tablo 4.1 Kurutma prosesinin matematiksel modellemesinde kullanılan modeller	40
Tablo 5.1 Kurutma havasının sıcaklığı ve ön-işlem çözeltilerinin kurutma süresine etkisi.....	45
Tablo 5.2 Farklı kalınlıklarda kesilmiş kivi meyvesi dilimlerinin kurutma süreleri	51
Tablo 5.3 50°C sıcaklıkta yapılan kurutma için istatistiksel analiz sonuçları.....	53
Tablo 5.4 60°C sıcaklıkta yapılan kurutma için istatistiksel analiz sonuçları.....	54
Tablo 5.5 70°C sıcaklıkta yapılan kurutma için istatistiksel analiz sonuçları.....	55
Tablo 5.6 75°C sıcaklıkta yapılan kurutma için istatistiksel analiz sonuçları	56
Tablo 5.7 Farklı sıcaklık ve ön-işlem uygulamaları için hesaplanan D_{eff} değerleri	59
Tablo 5.8 Kabin kurutucuda kurutulan SA örnekleri için renk ölçümleri.....	62
Tablo 5.9 Kabin kurutucuda kurutulan As+SD örnekleri için renk ölçümleri....	62
Tablo 5.10 Kabin kurutucuda kurutulan Kontrol örnekleri için renk ölçümleri	63
Tablo 5.11 Farklı infrared güçleri ve ön-işlem uygulaması için kurutma süreleri	68
Tablo 5.12 38 ve 50 W güçlerinde gerçekleştirilen kurutma prosesi için istatistiksel analiz sonuçları.....	76
Tablo 5.13 62 ve 74 W güçlerinde gerçekleştirilen kurutma prosesi için istatistiksel analiz sonuçları.....	77
Tablo 5.14 88 W gücünde gerçekleştirilen kurutma prosesi için istatistiksel analiz sonuçları.....	78
Tablo 5.15 Farklı güçlerde kurutulan kivi dilimleri için efektif difüzyon katsayıları.....	80
Tablo 5.16 İnfrared kurutucuda kurutulan SA örnekleri için renk ölçümleri.....	82
Tablo 5.17 İnfrared kurutucuda kurutulan Kontrol örnekleri için renk ölçümleri	82
Tablo 5.18 Hibrit kurutma yöntemi ile kurutulan kivi dilimlerinin kurutma süreleri.....	87

Farklı Kurutma Yöntemlerinin Kivi Meyvesinin Kuruma Karakteristiklerine ve Kalite Parametrelerine Etkisi

Elena BORUCU

Kimya Mühendisliği Anabilim Dalı

Yüksek Lisans Tezi

Danışman: Prof. Dr. İbrahim DOYMAZ

Kivi, *Actinidia deliciosa* bitki ailesinden gelmektedir. Yüksek su içeriği (%86 y.b) nedeni ile hem mikroorganizmaların türemesi için hem de çeşitli bozulma reaksiyonlarının gerçekleşmesi için elverişli bir ortam oluşturmaktadır. Ayrıca su oranının fazla olması nedeni ile içeriğinde bulunan faydalı bileşikler (antioksidanlar, fenolik bileşikler, askorbik asit vb.) parçalanma reaksiyonlarına uğrayarak kivinin besin kalitesini olumsuz yönde etkilemektedir. Bu çalışmada kivi meyvesinin kalitesinin daha uzun süre korunabilmesi için bir muhafaza yöntemi olan kurutma kullanılmıştır. Kivi dilimleri sıcak hava ve infrared olmak üzere iki farklı yöntem ile kurutulmuştur. Sıcak hava kurutma yönteminde sıcaklığın etkisinin incelenmesi için 50, 60, 70 ve 75°C sıcaklıklarda kurutma prosesi gerçekleştirilmiştir. Kivi dilimlerinin kurutulmadan önce Sitrik asit (SA) ve Askorbik asit + Sodyum disülfid (As+SD) çözeltileri ile muamele edildikten sonra kurutulmuştur. Ayrıca bir grup kivi dilimleri Kontrol grubu olarak herhangi bir çözelti ile muamele edilmeden kurutulmuştur. Sıcak hava kurutma yöntemi ile kurutulan kivi dilimlerinin dilim kalınlığının kurutma prosesine etkisinin incelenmesi için kivi 3 farklı dilim kalınlığında (2, 4 ve 6 mm)

dilimlenerek 60°C'de kurutulmuştur. İnfrared kurutma yönteminde kivi dilimleri 38, 50, 62, 74 ve 88 W olmak üzere 5 farklı güç ayarında kurutulmuştur. Kivi meyvesi dilimlendikten sonra iki gruba ayrılmıştır. Birinci grup örnekleri sitrik asit çözeltisi ile muamale edildikten sonra ve diğer gruptaki örnekler herhangi bir çözelti ile muamele edilmeden kurutulmuştur. Kurutma prosesinin modellenmesinde literatürde 9 farklı ince-tabaka kurutma modeli (Lewis, Henderson & Pabis, Logaritmik, Page, Midilli & Küçük, Aghbashlo vd., Jena & Das, Vega & Lemus ve Lojistik) kullanılmıştır. Modellerin uyumluluğu lineer olmayan regresyon analizi ile ölçülmüştür. En yüksek R^2 ve en düşük P, χ^2 ve RMSE değerleri ile Aghbashlo vd. modeli kurutma prosesine en uygun model olarak belirlenmiştir. Efektif difüzyon katsayısı değerleri (D_{eff}) ve aktivasyon enerjisi değeri (E_a) hesaplanmıştır. Nem içeriği düşürülmüş olan numunelerin renk değerleri ve rehidrasyon kapasiteleri ölçülmüştür. Sıcak hava ile kurutulan örneklerin L değerleri sıcaklık artışı ile birlikte düşüş, a ve b değerleri ise artış göstermiştir. İnfrared kurutma ile kurutulan kivi dilimlerinde ise infrared gücün artması ile L ve b değerlerinde düşüş a değerlerinde ise artış gözlemlenmiştir. Kabin kurutucuda kurutulmuş kivi dilimleri için en yüksek rehidrasyon kapasitesi değerleri As+SD kodlu örneklerinde gözlemlenmiştir. Ayrıca infrared kurutma yöntemi ile kurutulan örnekler için de sitrik asit çözeltisinin rehidrasyon kapasitesine olumlu etkileri gözlemlenmiştir.

Anahtar Kelimeler: Aktivasyon enerjisi, efektif difüzyon katsayısı, infrared kurutma, kivi, sıcak hava kurutma.

The Effect of Different Drying Methods on Drying Characteristics and Quality Parameters of Kiwi Fruit

Elena BORUCU

Department of Chemical Engineering

Master of Science Thesis

Supervisor: Prof. Dr. İbrahim DOYMAZ

Kiwifruit comes from the *Actinidia deliciosa* plant family. Due to its high water content (86% wt), it creates a favorable environment both for the growth of microorganisms and for the realization of various spoilage reactions. In addition, due to its high water content, beneficial compounds (antioxidants, phenolic compounds, ascorbic acid, etc.) in its content undergo decomposition reactions and adversely affect the nutritional quality of kiwifruit. In this study, drying, which is a preservation method, was used to preserve the quality of kiwifruit for a longer period of time. Kiwi slices were dried by two different methods, namely hot air and infrared. In order to examine the effect of temperature in the hot air drying method, drying processes were carried out at 50, 60, 70 and 75°C. Before drying, kiwifruit slices were treated with citric acid (SA) and ascorbic acid + sodium disulfide (As+SD) solutions and then dried. In addition, a group of kiwifruit slices were dried without any solution as a Control group. In order to examine the effect of the slice thickness of the kiwifruit slices dried by hot air drying method on the drying process, the samples was sliced in 3 different slice thicknesses (2, 4 and 6 mm) and dried at 60°C. In the infrared drying method, kiwifruit slices were dried at 5 different power settings, 38, 50, 62, 74 and 88 W.

After the kiwifruit was sliced, it was divided into two groups. The first group samples were treated with citric acid solution and the other group samples were dried without any solution treatment. In the mathematical modeling of the drying process, 9 different thin-layer drying models (Lewis, Henderson & Pabis, Logarithmic, Page, Midilli & Kucuk, Aghbashlo et al., Jena & Das, Vega & Lemus and Logistic) were used in the literature. The fit of the models was measured by non-linear regression analysis. With the highest R^2 and lowest P, χ^2 and RMSE values, Aghbashlo et al. model was determined as the most suitable model for the drying process. Effective diffusion coefficient values (D_{eff}) and activation energy value (E_a) were calculated. The color values and rehydration capacities of the samples were measured. The L values of the samples dried with hot air drying decreased with the increase in temperature, while the a and b values increased. The kiwifruit slices dried by infrared drying method, a decrease in L and b values and an increase in a values were observed with the increase of infrared power. The highest rehydration capacity values for kiwifruit slices dried in the cabinet dryer were observed in As+SD coded samples. In addition, positive effects of the citric acid solution on the rehydration capacity were observed for the samples dried by infrared drying method.

Keywords: Activation energy, effective diffusion coefficient, infrared drying, kiwi, hot air drying.

1.1 Literatür Özeti

Tarım ürünleri, yılın belirli dönemlerinde hasat edilen sebze ve meyvelerdir. Bu ürünlerin hasat zamanından tüketiciye ulaşana kadar ki süre içerisinde fiziksel, kimyasal, beslenme ve mikrobiyolojik kalitelerinin korunması gerekmektedir. Sebzelerin içeriğine bakıldığında, %90-95 oranında su, %3-7 oranında karbonhidrat, %1-2 oranında mineraller, %1-3 oranında azotlu bileşiklerin oluşturduğu bilinmektedir. Meyvelerin bileşenleri olarak %80-85 oranında su, %0.2-1 azotlu maddeler, %0.1-0.3 oranında yağ, %3-18 karbonhidrat, %0.3-0.8 oranlarında mineraller bulunmaktadır [1].

Tarım ürünlerinin genel içeriğine bakıldığında, gıda içerisindeki temel ve yüzde olarak fazla olan bileşenin su olduğu görülmektedir. Gıda içerisindeki bu su, gıdanın yapısını fiziksel ve kimyasal olarak bozabilecek bazı reaksiyonlar için elverişli bir ortam oluşturur. Yani gıdanın içerisinde bulunan su, gıdanın zamanla kalitesini kaybetmesine yol açabilmektedir. Bu durum, tarım ürünlerinin hasat edildikten hemen sonra tüketilmesini gerektirmektedir [2].

Yaşadığımız dünyanın kara yüz ölçümü 149100000 km^2 'dir. Bu toprakların yalnızca 49116320 km^2 lik kısmı tarım arazisi olarak kullanılmaktadır [3]. Yani dünyanın yaşam alanları düşünüldüğünde bu alanların yalnızca %32.94'lük kısmında tarım yapıldığı anlaşılmaktadır. Bu durumda dünya nüfusunun yaklaşık olarak 8 milyar insandan oluştuğu düşünüldüğünde her bir bireyin tarım alanlarına doğrudan ulaşımı söz konusu değildir. Tarım arazilerinde hasat edilen mahsüllerin, toplumun geri kalanına aynı kalitede ulaştırılması gerekmektedir. Gıda kaynaklarına doğrudan ulaşamayan nüfus için gıdaların çeşitli koruma yöntemleri ile korunması elzemdir. Günümüzde gıda sanayisinin, gıdaların uzun süre dayanmasını sağlamak amacıyla, uyguladığı çeşitli dayandırma yöntemleri mevcuttur. Uygulanan dayandırma yöntemleri; fiziksel, kimyasal ve biyolojik olmak üzere 3 ana başlık altında toplanabilmektedir. Fiziksel dayandırma

yöntemleri arasında sterilizasyon, kurutma, dondurma, konsantre etme sayılabilmektedir. Gıdaların içerisinde kimyasal koruyucu katılması tuzlama, şekerleme gibi yöntemler kimyasal dayandırma yöntemleri arasında sayılabilir. Mikrobiyolojik asitlendirme yöntemi ise biyolojik dayandırma yöntemi olarak gösterilebilir. Bu yöntemler arasında sanayide sıkça kullanım alanı bulan ve diğer yöntemlere göre maliyeti daha düşük olan ve daha az işçi gücüne ihtiyaç olan proses kurutma prosesidir. Kurutma yöntemi gıda içerisinde bulunan suyun uzaklaştırılması prosesidir. Kurutma, insanların ilk çağlardan bu yana uyguladığı bir dayandırma yöntemidir. Kurutma, doğada tahılların güneş altında kuruması ile kendi kendine de gerçekleşebilen bir olaydır [4].

1.2 Tezin Amacı

Kivi dilimleri sıcak hava kurutma, infrared kurutma ve hibrit kurutma (infrared + sıcak hava) yöntemleri ile kurutulacaktır. Farklı sıcaklık derecelerinin, güç ayarlarının ve ön-işlem çözeltisinin kurutma işlemine etkisi incelenecektir. Farklı koşullarda kurutulacak olan kivi dilimleri için matematiksel modelleme yapılarak en uygun ince-tabaka kurutma modeli belirlenecektir. Yapılacak olan deneylerden sonra kivi için en uygun kurutma koşulları belirlenecektir.

1.3 Hipotez

Bu çalışmada, kivi dilimleri sıcak hava ve infrared kurutucuda farklı sıcaklık ve infrared güçlerde kurutulmuş olup elde edilen verilerden yararlanarak kurutma eğrileri çizilmiştir. Deneysel çalışmalardan elde edilen verilere literatürde yer alan 9 adet ince-tabaka kurutma modeli kullanarak kurutma prosesinin modellemesi yapılmış olup en uygun ince-tabaka kurutma modeli seçilmiştir. Ayrıca efektif difüzyon katsayı (D_{eff}) ve aktivasyon enerji (E_a) değerleri hesaplanmış olup tüm veriler literatürde olan değerler ile kıyaslanmıştır. Ayrıca kurutulan kivi dilimlerinin renk değerleri ve rehidrasyon kapasiteleri ölçülmüştür. Yapılan çalışmanın gıda sektörü için ve ileride kurutma konusunda çalışacak araştırmacılara faydalı olacağını düşünmekteyiz.

2.1 Kurutma İşlemine Giriş

Kurutma, gıdanın su aktivitesinin düşürülerek biyokimyasal reaksiyonların hızını yavaşlatmaya yarayan endüstriyel bir koruma yöntemidir [5]. Kurutma, gıda maddelerinin içerisinde bulunan suyun uzaklaştırılmak suretiyle gıda içerisinde gerçekleşen bozunma reaksiyonlarının hızını yavaşlatan ve bu sayede gıdanın fiziksel ve kimyasal yapısını korumayı amaçlayan bir prosestir [6]. Yani kurutma işlemi ile, gıda içerisinde yaklaşık olarak %80-90 oranında bulunan su uzaklaştırılarak, gıda içerisindeki nem miktarı %10-20 dolayına düşürülmek suretiyle, gıda üzerinde mikroorganizma üremesinin engellenmesi ve gıdada renk, koku ve tat değişmelerine neden olan; enzimatik esmerleşme reaksiyonları, enzimatik olmayan esmerleşme reaksiyonları ve otooksidasyon reaksiyonlarının yavaşlatılması veya durdurulması hedeflenmektedir. Kurutma diğer dayandırılma yöntemleri ile kıyaslandığında daha ucuz, kolay, pratik ve daha az iş gücü gerektiren bir yöntemdir. Ayrıca kurutulmuş gıdalar besin değeri açısından, kurutulmamış gıdalara ve diğer yöntemler ile muhafaza edilen gıdalara oranla daha yoğundur [7].

Gıdaların kurutulması çeşitli yöntemler mevcuttur. Bu yöntemler arasında sıcak hava ile kurutma, güneş altında kurutma, mikrodalga ile kurutma, dondurarak kurutma veya bu kurutma sistemlerinin kombinasyonları ile oluşturulmuş endüstriyel kurutma sistemleri sayılabilir. Güneşte kurutma ile enerjiden tasarruf edilebilir ancak kurutulacak olan gıda tozlanmaya ve kuş, böcek gibi dış kontaminasyonlara açık bir vaziyettir. Endüstriyel bir kurutma sistemi ile bu etkilerden kurtularak, kurutma işlemi daha hijyenik bir şekilde yapılabilir. Endüstriyel bir kurutucu ile çalışılıyorsa eğer, kurutma işleminde enerji tasarrufu sağlanması için gıdaya iletilecek ısıнын en verimli şekilde iletilmesidir. Kurutucunun içerisinde gerçekleşen ısı transfer mekanizması kurutucu tipine bağlı olarak iletim, taşınım veya radyasyon ile olabilmektedir. Kurutma

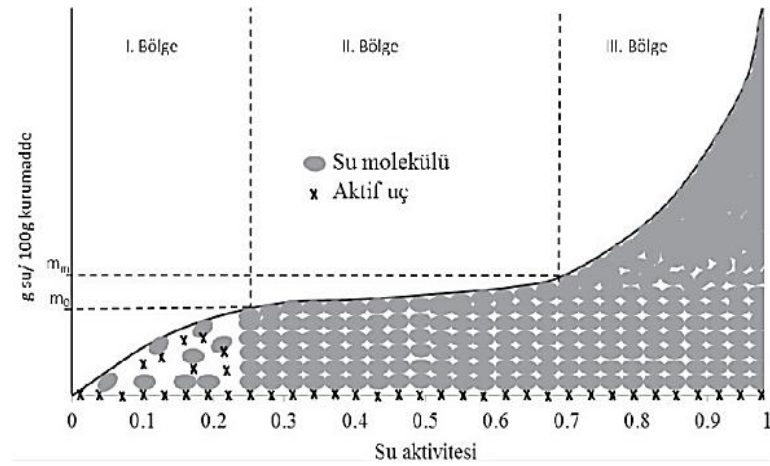
prosesinde kütle ve ısı transferi mekanizmaları aynı anda gerçekleşir. Kurutucudan gıdaya ısı transferi gerçekleşirken, gıdanın içerisinde bulunan su eş zamanlı olarak gıdanın yüzeyine doğru difüze olur. Gıdanın yüzeyine çeşitli yollar (iletim, taşınım, radyasyon) ile gelen ısıdaki enerji, gıdanın yüzeyinde bulunan su moleküllerini önce ısıtır daha sonra su moleküllerinin buharlaşması için gerekli gizli ısıyı su moleküllerine vererek buharlaşmalarını sağlar. Yüzeyde su yoğunluğunun azalması ile gıdanın iç katmanlarında bulunan su difüzyon ile gıdanın yüzeyine doğru ilerler. Kurumakta olan gıdanın içerisindeki suyun yüzeye ulaşmasında iki farklı mekanizma işlemektedir. Birincisi çözülmüş madde konsantrasyonu gradientine bağlı olarak suyun hareketidir. İkincisi ise suyun moleküler boşluklar arasından geçerek yüzeye ulaşmasıdır. Suyun hareketindeki itici güç buhar basıncı gradientidir. Gıdanın yüzeyinde bulunan suyun buharlaşması ile gıdanın yüzeyi su buharına doymuş bir tabaka ile çevrelenmiş olur. Böylece gıdanın içerisinde gıdanın yüzeyine göre suyun buhar basıncının daha yüksek olduğu görülür. Yüksek buhar basıncına bağlı olarak gıdanın içerisinden dışına doğru bir su buharı basınç gradienti oluşmuş olur. Basınç gradienti ve konsantrasyon gradienti itici güçleri ile gıdanın içerisinde bulunan su gıdanın yüzeyine taşınmış olur. Gıdanın yüzeyindeki su kurutucudan sağlanan ısı transferi ile buharlaşarak gıdayı terk eder. Böylece gıdada bulunan su uzaklaştırılmış olur. Buharlaşma olayındaki itici güç gıdayı çevreleyen havanın nem oranıdır. Gıdanın nem oranı ile gıdayı çevreleyen havanın nem oranı eşitlenince buharlaşma olayı durur. Buharlaşmanın durması ile kurutma prosesi sonlanmış olmaktadır [8].

Etkili bir kurutmanın olabilmesi için bazı parametrelere dikkat edilmelidir. Etkili bir kurutmadan kasıt istenen nem düzeyine ulaşmış, besin değeri açısından kaliteli bir ürün elde edilmiş olmasıdır. Bunun için dikkat edilmesi gereken parametreler; kurutma yapılacak havanın sıcaklığının ortalama bir değerde olması, kurutma havasının neminin düşük olması ve kurutma havasının hızının yüksek olmasıdır. Kurutma havasının nemi ne kadar düşükse, kurutulacak gıdanın etrafını saran hava filmindeki su buharı basıncı o kadar düşük olur. Gıdanın içerisinde bulunan suyun buharı basıncı ile hava filmindeki suyun buhar basıncı arasındaki basınç farkı da artar. Böylece kuruma daha hızlı bir şekilde

gerçekleşmiş olmaktadır. Kurutma havasının çok yavaş olması ise kurutulacak ürünün etrafındaki hava filminin kalınlığını arttırır. Film kalınlığı ürün ile kurutma havası arasında bir bariyer görevi görür ve kurutma olayına karşı direnç gösterir [9].

2.1.1 Sorpsiyon İzotermi

Sorpsiyon izotermi, gıdaların nem oranları ile su aktiviteleri arasında oluşturulan grafiklerdir. Sorpsiyon izotermi, bir adsorpsiyon ve bir desorpsiyon izoterminden oluşur. Her bir gıda için sorpsiyon izotermi farklıdır. Çünkü gıdalar farklı içerik maddelerini farklı oranlarda içerirler. Bunun nedeni, her bir içerik maddesinin su ile etkileşimi farklıdır. Yani sorpsiyon izotermi bize gıda içerisindeki suyun içerik maddeleri ile etkileşimini vermektedir. Sorpsiyon izotermine bakılarak gıdanın hangi aralıkta fiziksel, kimyasal ve mikrobiyolojik açıdan kararlı olduğu görülebilmektedir. Bundan ötürü sorpsiyon izotermi gıdaların kurutulmasının optimizasyonunun yapılmasında kullanım alanı bulmaktadır. Sorpsiyon eğrisi grafiklerinin dikey bileşenine gıdanın su oranı değerleri [kuru bazda ($\text{g H}_2\text{O} / \text{g kuru ağırlık}$)] geçirilirken; yatay bileşene denge bağıl nem değerleri geçirilir. Şekil 2.1’de sorpsiyon izotermi’nin genel görünümü verilmiştir.



Şekil 2.1 Sorpsiyon izotermi’nin genel görünümü [10]

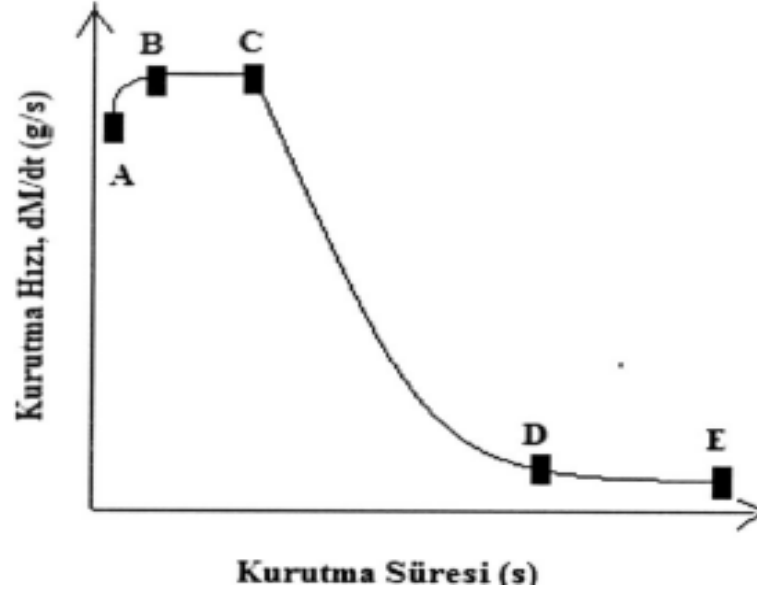
Sorpsiyon izotermi, A, B, C bölgeleri olmak üzere 3 farklı bölgede incelenebilir. A bölgesi, gıdanın su aktivitesinin 0.2’ye kadar olan kısmı için incelenir. A bölgesinde gıdanın içerisindeki suyun gıda bileşenlerinin hidrofил uçlarına tek katmanlı bir bağlanma ile bağlandığı düşünülmektedir. Bundan

dolayı A bölgesine ‘monomoleküler bağlanma bölgesi’ de denilmektedir. Bu bölgede nem oranı, kuru baza göre %5-10 düzeylerindedir. Bu bölgede etkili olan moleküler kuvvetler, hidrojen bağları veya iyon dipol bağları gibi güçlü etkileşimlerdir. Özetle A bölgesinde kimyasal adsorpsiyon görülmektedir. A bölgesindeki su serbest halde değildir. Dolayısıyla bu bölgedeki suyun içerisinde diğer bileşenler çözünemez. Bu bölgedeki suyun uzaklaştırılması için buharlaşma ısısının yanında adsorpsiyon ısısının da verilmesi gerekmektedir. Kurutma işlemi yapılırken buradaki suyun uzaklaştırılması zaten mümkün değildir. Gıdaya bu kadar çok ısı verilmesi ile hem gıdanın yapısı bozulur hem de bu suyun uzaklaştırılması ile gıda tüketilemeyecek kadar kuru olur. Ayrıca bu bölgedeki monomoleküler tabaka gıdayı oksijen ile direkt temastan koruyarak oksidasyon reaksiyonlarının önlenmesine yardımcı olur.

B bölgesi ise, multimoleküler su katmanı bölgesi olarak adlandırılmaktadır. Burada gıdanın içerik maddeleri ile su arasında fiziksel adsorpsiyon görülür. Fiziksel adsorpsiyonda, moleküller arasındaki çekim kuvvetleri daha zayıftır. Bir başka deyişle, bu bölgede su, çok daha zayıf kuvvetler ile tutulmaktadır [10].

2.1.2 Kuruma Eğrileri

Şekil 2.2 ‘de bir gıda ürününün zamana karşılık kuruma hızı grafiği çizilmiştir. A-B periyodu gıdanın ısınma periyodudur. Yani kurutma prosesine alınmış bir gıdanın içerisinde suyun uzaklaştırılması için ısı verilmeye başlanır ve gıdanın yüzeyi ısınmaya başlar. B noktasına erişildiğinde gıdanın yüzeyinde bulunan ve çok zayıf bağlar ile tutulan su molekülleri buharlaşmaya başlar. B-C periyodu sabit buharlaşma periyodudur.



Şekil 2.2 Kuruma hızı eğrileri [11]

Yüzeydeki suyun buharlaşması ile gıdanın içerisindeki su gıda yüzeyine su difüze olur. Suyun difüzyon hızı ile buharlaşma hızı eşit ise eğer gıdadan suyun uzaklaştırılması sabit debi periyodunda olmaktadır. Grafikte görüldüğü üzere C noktasında sabit debi ile kurutma olayı biter ve kurutma olayı azalan debi ile devam eder. Bu geçişin olduğu C noktasında, ürünün nem oranı kritik nem olarak isimlendirilir. Kurutma işlemi, ürün içerisindeki nem ile atmosfer havası içerisindeki nem dengeye gelene kadar devam etmektedir. E noktasında ürünün nem içeriğine denge nem içeriği denir. Azalan debi ile kurutma periyodu farklı tipte eğriler gösterebilmektedir. Nem tutma özelliği göstermeyen gıdalarda ise, su içeriğinin değişmesi ile su buharı basıncı değişmemektedir. Bundan dolayıdır ki bu gıdaların azalan debi periyodu tek tiptir [8, 11].

2.2 Kurutma Yöntemleri

En genel anlamda kurutma yöntemleri doğal kurutma, atmosferik koşullar altında yapılan kurutma ve vakum altında kurutma olmak üzere üç kategoride sınıflandırılabilir. Bu sınıflandırma kurutma şartlarına ve kurutma enerjisinin kaynağına göre yapılmaktadır. Doğal kurutma, meyve ve sebzelerin doğrudan güneş altına serilerek kurutulması işlemidir. Güneş altında kurutma ve atmosferik koşullarda kurutma vakum altında kurutmaya nazaran daha ekonomik yöntemlerdir. Ancak meyve ve sebzelerin doğrudan güneş altına serilmesi ile kurutulan gıdaların istenen kalitede olması beklenemez. Bunun

sebebi, ürünlerin doğrudan atmosferik koşullara açık olması ile toza, mikroorganizmalara, böceklerle açık durumda olmalarıdır. Yukarıda sıralanan sebepler doğrultusunda endüstride normal atmosferik koşullarda çalışan kurutucular daha sık kullanılmaktadırlar. Hangi kurutma yöntemi seçilmiş olursa olsun kurutulacak olan gıdaya bazı işlemler uygulanmaktadır. Bu ön hazırlık fiziksel veya kimyasal nitelikte olabilmektedir. Fiziksel işlemler, dilimleme, parçalara bölme, kurutulacak olan ürün üzerinde delikler açma gibi işlemlerdir. Bu işlemlerin yapılması ile hem yüzey alanının genişletilmesi amaçlanır hem de gıdanın hacim küçültülerek, ısının gıdanın iç tabakalarına erişmesinin kolaylaşması sağlanır. Kimyasal ön-işlem ise genellikle bir çözeltiye daldırma işlemidir. Bu işlemin de amacı gıdanın yüzeyindeki tabakanın gözeneklerinin artırılması ve bu sayede gıdadan suyun daha kolay buharlaşmasının sağlanmasıdır.

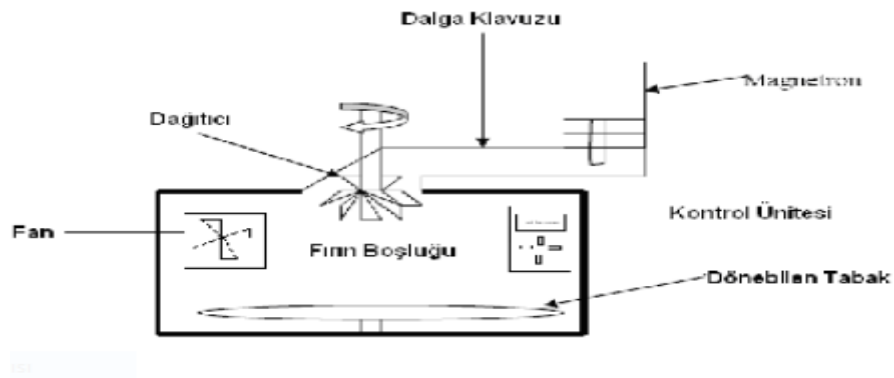
2.2.1 Sıcak Hava ile Kurutma

Sıcak hava ile kurutmada, kurutma havasının ısınması doğrudan veya dolaylı kaynaklar ile yapılarak hava bir fan veya vantilatör yardımı ile kurutulacak ürünün üzerine gönderilir. Gelen hava gıdanın üstünden, altından veya içinden geçebilir. Sıcak hava ile kurutma sistemlerinde ısının aktarım yöntemi taşınımdır. Sıcak hava ile kurutma yönteminde kurutma hızına etki eden parametreler; kurutma havasının hızı, kurutma havasının sıcaklığı ve kurutma havasının nem içeriğidir. Kurutma işlemi ile gıdadan buharlaşan nem gıdanın etrafını bir film tabakası şeklinde sarar. %100 nemden oluşan bu tabakanın buhar basıncı yüksektir. Bu nedenle bu film buharlaşma olayını oldukça yavaşlatır. Konveksiyon ile gelen havanın hızına bağlı olarak gıdanın etrafındaki film tabaka dağılır. Hava hızı bu sebeple kurutma hızını arttıran bir etkidir. Hava hızı genellikle sabit debi periyodunda etkili olur. Azalan debi periyodunda kurutma hızını etkileyen parametre genellikle sıcaklıktır. Ayrıca hava hızı 1 m/s 'ye kadar olan değerlerde artması ile kurutma hızı artmaktadır. Bu hız değerinin üzerine çıkıldığında hava hızının kurutmaya pek bir etkisi olmadığı görülmüştür [2].

2.2.2 Mikrodalga ile Kurutma

Mikrodalga fırınlar, elektrik enerjisini mikrodalgaya çeviren magnetron adı verilen bir alet, oluşturulan mikrodalgaların fırın içerisinde dağılmasını sağlamak için bir dalga yayıcı ve fırın boşluğundan oluşmaktadır. Mikrodalgalar, enerji yüklü elektrik ve manyetik alan barındıran dalgalardır. Elektromanyetik spektrumda kızılötesi ışınlar ve radyo dalgaları arasında yer alırlar. Frekansları 300 MHz ve 300 GHz aralığındadır. Mikrodalga ışınlarının boyu ise 1 mm ile 1 m arasında olabilmektedir. Mikrodalga ışınları, foton adı verilen enerji paketçikleri şeklinde yayılırlar. Mikrodalga fırınlarının içerisinde genellikle döner bir tabla bulunur. Bunun nedeni ısıtma işlemi yapılacak gıdaya enerjinin homojen bir şekilde dağıtımının sağlanmasıdır. Mikrodalga ile kurutma işlemi diğer tekniklere göre daha hızlı ve verimli olmaktadır. Diğer kurutma sistemlerinde, genellikle ısı kurutulacak ürünün en dış kabuğundan ısınmaya başlar. Dış kabuğun ısınması ile enerji içeri doğru kondüksiyon ile yayılmaya başlar. Mikrodalga ışınları ise direkt olarak gıdanın içerisine nüfuz eder ve ısınma gıdanın iç tabakalarından dışarıya doğru olur. Geleneksel kurutma sistemlerinde ısı transferi konveksiyon veya kondüksiyon mekanizmaları ile gerçekleşmektedir. Mikrodalgada ise ısı transferi radyasyon ile olmaktadır. Mikrodalga ışınları enerjiyi dipol moleküller arasında yayabilmektedir. Bunun anlamı mikrodalga ışınlarının enerjisi su gibi polar moleküller tarafından soğurulabilmektedir. Soğurulan ışının enerjisi polar moleküllerin artı ve eksi kutupları arasında aktarılırken oluşan titreşim hareketinin sonucunda molekül ısınır ve etrafına ısı yayar. Mikrodalga fırınlarında ısınma bu şekilde gerçekleşmektedir. Mikrodalga ışınları bir madde üzerine temas ettiğinde 3 farklı durum meydana gelebilir. Madde ışını soğurabilir, aynen geri yansıtabilir veya ışın herhangi bir değişikliğe uğramadan maddenin içinden geçebilir. Su içeren gıda maddeleri mikrodalga ışınlarını soğururlar. Metal yapıları maddeler mikrodalga ışınlarını aynen geri yansıtırlar ve kâğıt, plastik, cam gibi malzemeler de mikrodalga ışınlarını geçirirler. Bu nedenle kurutma işlemi yapılmak istenen gıda cam bir malzeme içerisine konulduğunda enerji israfı olmayacaktır. İçeriğindeki su moleküllerinden dolayı gıda ısınırken; cam kap ışınları yalnızca geçirecek ve mikrodalga ışınlarının enerjisini soğuramayacaktır. Kabuğu su

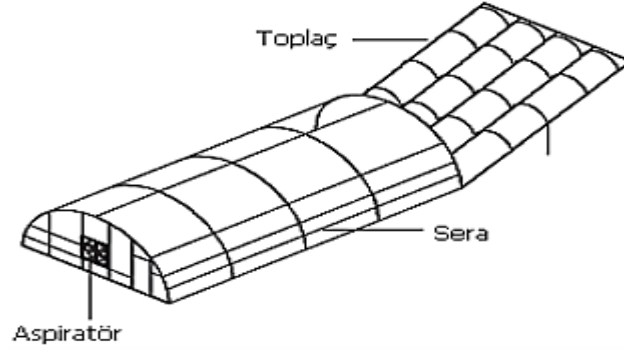
buharına geçirgen olmayan sebze ve meyvelerin mikrodalga ile kurutulmaları istenen bir durum değildir. Bunun sebebi, mikrodalga enerjisi ile buharlaşan su molekülleri gıda içerisinde çıkacak bir kanal bulamadıklarında, aşırı basınçlarından dolayı gıdanın yüzeyindeki kabuğu patlatarak çıkarlar. Bu tipteki gıdaların mikrodalga ile kurutulmalarında dilimlenmeleri veya bir kıyma makinesinden geçirilmeleri şarttır. Dilimlenme sırasında gıdaların yüzeyinde bulunan hücrelerin hücre zarları zarar görür. Hücre zarlarının parçalanması ile hücre içerisinde bulunan hücre suyu dışarı akar. Bu durum sonucunda gıdanın yüzeyinde su damla damla birikintiler oluşturur. Mikrodalgaların su moleküllerine doğrudan etki ettiği bilinen bir gerçektir. Eğer gıda o şekilde mikrodalga fırınına konulursa su damlacıkları hızla ısınarak buharlaşırlar. Gıda yüzeyinde su damlacıklarının bulunduğu konum ise aşırı ısınma sonucunda külleşir. Sonuç olarak bu tipteki meyve ve sebzelerin mikrodalga ile kurutması yapılacaksa eğer mutlaka dilimlenmesi, soyulması veya kıyma makinesinden geçirilmesi gerekmektedir. Ön-işlemlerden geçirilmiş gıda yüzeyinin sulu olmamasına dikkat edilerek kurutma başlatılabilir. Mikrodalga ile kurutmada, ışınların doğrudan uzaklaştırılmak istenen su molekülleri gibi dipol moleküllere odaklanması kurutma işlemi sırasında enerji ve zaman tasarrufu sağlamaktadır [12]. Mikrodalga ile kurutma işleminde enerji tasarrufu sağlayan en önemli parametreler başta mikrodalganın gücü olmak üzere, kurutulacak ürünün dilim kalınlığı da sayılabilir. Mikrodalga gücünün artırılması ile daha hızlı bir kurutma elde edilerek enerjiden tasarruf edilebilmektedir [13]. Şekil 2.3’ de bir mikrodalga fırınının genel yapısı görülmektedir



Şekil 2.3 Bir mikrodalga fırınının genel yapısı [12]

2.2.3 Güneş Altında Kurutma

Güneş altında kurutma yapılacak ürünler doğrudan güneşin altına toprak veya beton zenine tek bir katman oluşturacak şekilde serilmektedir. Genellikle hasat işlemi yapıldıktan sonra, güneş ışınlarını yoğun olarak alan illerimizde, hasat ürünlerinin tüketim fazlasının korunması için yaygın olarak uygulanan bir kurutma yöntemidir. Güneş altında kurutma Türkiye genelinde en çok Şanlıurfa'da yapılmaktadır. Güney Doğu Bölgesinde yer alan Şanlıurfa ilimizde kırmızıbiber kurutulması güneş altında gerçekleşmektedir. Güneş altında kurutma ekonomik yönden ucuz bir yöntemdir. Güneş altında kurutma için bir enerji maliyeti harcanmamaktadır. Gerekli enerji doğrudan güneş enerjisinden sağlanmaktadır. Ancak güneş altında kurutmanın avantajlarının yanında dezavantajları da mevcuttur. Güneş altında kurutulan gıda doğrudan dış etkilere açık durumdadır. Havadan gelebilecek toz zerrecikleri ürüne yapışabilmekte, yağın yağmur ile birlikte ürün ıslanabilmekte veya topraktaki mikroorganizmalar gıdaya bulaşabilmektedir. Bütün bunlara ek olarak kurutması yapılan tarım ürünlerini kuşlar böcekler yiyerek ürün kayıplarına neden olabilmektedirler. Ayrıca güneş ışınları sürekli değildir. Işınlardan açısı değişebilir, ürünler gölgede kalabilir veya güneşin batması ile kurutma olayı tersine dönerek ürün nem almaya başlayabilir. Bütün bunlar göz önüne alındığında güneş altında kurutmanın uzun bir süreç olduğu anlaşılmaktadır. Yaklaşık olarak %80 nem içeriğinde (yaş baz) olan bir ürünün kurutulması 10 günü geçmektedir. Bu kadar uzun bir süre dışarıda olan bir ürünün kontamine olmaması olanaksızdır. Bu sebeptendir ki güneş altında kurutularak elde edilen baharatlarda küf (*Aspergillus flavus*) oluşma olasılığı daha fazladır. Güneş enerjisinin avantajlarından faydalanıp, dezavantajlarını azaltmak için sera tipinde kurutucular geliştirilmiştir. Şekil 2.4'te bir sera tipi kurutucu görülmektedir.



Şekil 2.4 Sera Tipi kurutucunun genel görüntüsü [14]

Bu tipteki kurutucularda kurutma havasının ısıtılması güneş enerjisi ile olmaktadır. Güneş kolektörleri ile toplanan enerji ile hava ısıtılır. Kurutulacak olan mahsüller yere serilerek üzerleri sera şeklinde, dış etkenlerden korunmaları amacıyla örtülür. Isıtılmış olan hava seranın içerisinde gezdirilmek suretiyle gıdaların içerisindeki nem çekilir. Nemli havanın ortamda birikmesi kurutma işlemini olumsuz etkiler. Bundan sebep nemli havanın uzaklaştırılması için sera odalarında aspiratör bulunmaktadır [14]. Tablo 2.1’de ülkemizin bölgelerinin yılda güneş alma süreleri verilmiştir.

Tablo 2.1 Ülkemizin çeşitli bölgelerinin yılda güneş alma süreleri [15]

Bölge	Toplam Güneş Enerjisi (kW/m ² yıl)	Güneşlenme Süresi (saat/yıl)
Güney Doğu Anadolu	1460	2993
Akdeniz	1390	2956
Doğu Anadolu	1365	2664
İç Anadolu	1314	2628
Ege	1304	2738
Marmara	1168	2409
Karadeniz	1120	1971

Tablo 2.1’de görüldüğü gibi yıl içerisinde en çok güneş alan ve güneş altında kurutma yapılmasına en uygun olan yer Güney Doğu Anadolu bölgesidir.

2.2.4 Vakum Altında Kurutma

Vakum altında kurutma işlemi, atmosfer basıncından daha düşük basınçlarda gerçekleştirilir. Ortamdaki dış basıncın azalması ile birlikte gıda içerisindeki suyun buharlaşması daha düşük sıcaklıklarda gerçekleşmektedir (100°C’nin altında). Kurutma işleminin daha düşük sıcaklıklarda gerçekleşmesine imkân

dondurulmuş gıdanın sıcaklığı daha da düşer. Sıcaklığı düşmüş buz parçacıklarının buhar basınçları da düşecektir. Bunun sonucunda ya süblimleşme çok yavaş gerçekleşir ya da tamamen durur. Burada açıkça görülen sisteme ısı verilmesinin gerektiğidir. Sisteme ısı iletim, taşınım veya ışıınım ile verilebilmektedir. Ancak verilecek ısı kontrollü bir şekilde verilmelidir ki donmuş haldeki ürünün bazı bölgelerinde olası çözünmelerin önüne geçilsin. Eğer gıdada bir sıvılaşma gerçekleşirse bu gıdanın kalitesini olumsuz yönde etkileyecektir. Dondurarak kurutma işlemi genellikle ısıya karşı hassas olan ürünlere yapılmaktadır. Buna örnek verilecek olursa sıvı halde bulunan bazı ilaçların raf ömrü kısadır. İlaçların içerisinde bulunan etken maddeler sıcaklığa karşı hassas bileşenlerdir. Bu tipte ilaçlar dondurularak kurutma prosesi ile nemlerini kaybederek daha uzun süre muhafaza edilebilirler. Isıya karşı hassas olan biyolojik maddelerin kurutulması da bu yöntem ile olmaktadır. Dondurarak kurutma işlemi düşük sıcaklıklarda gerçekleştiği için gıdanın kalitesini bozacak reaksiyonların gerçekleşmesine imkân verilmemektedir. Bundan dolayı dondurarak kurutması yapılan bir ürün büyük miktarda tadını, kokusunu, rengini ve besin değerini korur. Bu proses, gerçekleşirken ürün donmuş vaziyette bulunduğundan kurutma işlemi sonucunda gıdanın yapısında büyük oranda bir değişiklik gözlemlenmez. Yani gıdanın yapısında kurutmaya bağlı bir deformasyon olan büzüşme gözlemlenmez. Yalnızca, kurutmadan önce gıdanın içerisinde buz parçacıklarının bulunduğu yerlerde kurutma işleminden sonra gözenekler oluşur. Bu gözenekler sayesinde dondurarak kurutma işlemi gerçekleştirilen bir ürünün rehidrasyon yeteneği çok yüksektir. Kurutma sonrasında gıda suyun içerisinde bekletilirse büyük oranda suyu emerek kurutmadan önceki yapısına geri dönmektedir. İlaç ve biyolojik malzemeler dışında geleneksel prosesler ile kurutması yapılamayan soğan, çorba kahve gibi gıdaların da kurutma işlemi dondurarak yapılmaktadır. Diğer kurutma işlemlerine nazaran dondurarak kurutma yapılarak elde edilen ürünlerin besin değerini büyük oranda koruduğu görülmüştür. Bu kadar avantaja sahip bir prosesin gıda endüstrisinde çok fazla yer bulamamasının sebebi sistem maliyetinin yüksek olmasıdır. Ortama vakum uygulamak için harcanan güç maliyetin büyük bir bölümünü kapsamaktadır. Ayrıca bu kadar basınç farkına

dayanabilecek malzemeler ile çalışılması da ekstra bir maliyet oluşturmaktadır. Dondurarak kurutma işlemi genel olarak üç adımda gerçekleşmektedir. Bu aşamalar; kurutulacak olan ürünün dondurulması, birinci kurutma evresi ve ikinci kurutma evresinden oluşmaktadır. Birinci aşamada kurutulacak olan ürün vakum altına alınarak yaklaşık olarak -10°C ' ta dondurulur. Gıda içerisinde bulunan su gıda içerik maddeleri için bir çözücü ortam oluşturur. Bu sebeple suyun donma noktası 0°C ' ın altına düşmektedir. Donmuş gıda içerisinde oluşan buz parçacıklarının büyüklüğü ve konumu kurutma hızını etkilemektedir. Eğer buz parçacıkları büyük ve gıda içerisinde üniform bir dağılım gösteriyorsa kurutma işlemi daha hızlı oluşmaktadır. Kurutma evrelerine geçildiğinde ise dondurulmuş gıdaya süblimleşme enerjisi verilerek gıda içerisindeki buz parçacıklarının buhara dönüşmesi sağlanmaktadır. İki farklı kurutma evresinin olmasının sebebi gıda içerisindeki suyun durumudur. Gıda içerisinde su, bağlı su ve serbest su olmak üzere iki farklı şekilde bulunabilir. Dondurma işlemi sırasında serbest su sıcaklığın düşmesi ile buz kristalleri haline gelirken; bağlı halde bulunan suda faz değişimi gözlenmemektedir. Kurutmanın birinci evresinde donmuş buz kristalleri halinde olan serbest su uzaklaştırılır. Kurutmanın ikinci evresinde ise bağlı olan suyun uzaklaştırılması sağlanmaktadır. Genellikle gıda içerisindeki suyun %65-90'ı serbest ve %10-35'i bağlı sudur. Dolayısıyla gıdanın içerisindeki suyun %65-90 arasındaki oranı birinci kurutma evresinde uzaklaştırılırken, %10-35 arasında bağlı olan su ikinci kurutma evresinde uzaklaştırılmaktadır. Birinci kurutma evresinde gıda içerisinden süblimleşme ile ayrılan su buharı bir kondensör yardımı ile ortamdan uzaklaşmaktadır. Çünkü donmuş gıda ile su buharının aynı ortamda bulunması kurutma olayını durdurabilir. Ortamın su buharı basıncının aşırı artması sonucunda su buharı basınç gradienti tersine dönebilir. Kurutmanın ikinci evresinde donmuş gıdaya kontrollü bir şekilde ısı verilir. Sıvı halde bulunan suyun buharlaşması sağlanır. Genellikle kurutmanın ikinci evresi ya birinci evre ile aynı sürede gerçekleşir ya da daha uzun sürebilir. İkinci kurutma evresinde ısı iletim, taşınım veya ışıınım yollarından herhangi biri ile verilebilmektedir. Dondurarak kurutulmuş bir ürünün muhafazası kontrollü atmosferde, uygun bir

şekilde paketlenerek ve serin koşullarda yapılmalıdır. Unutulmamalıdır ki bir ürünün kalitesi sıcaklık ve içerdiği nemin bir fonksiyonudur [18].

2.3 Kurutucu Tipleri

Kurutucular kullandıkları enerjinin tipine göre sınıflandırılabilirler. Güneş enerjisini kullanan sera tipi, termosifon tipi, tünel tipi, zorunlu hava akışlı ve entegre olanlardır. Kurutma işlemi için sıcak havayı kullanan kurutucular, tepsili, tünel, akışkan yatak, püskürtmeli, konveyör, döner ve ambar kurutucular şeklinde sıralanabilir. Kurutma işlemi için gerekli ısıyı sıcak bir yüzeyden sağlayan kurutucular sıcak yüzey kurutucuları şeklinde adlandırılmaktadır. Bu tipteki kurutuculara örnek silindirik kurutuculardır. Diğer bir kurutucu sınıfı ise vakum altında çalışan kurutuculardır. Son kurutucu sistemi ise dondurma kurutma sistemleridir [8].

2.3.1 Sera Tipi Kurutucular

Kurutma işlemi için güneş enerjisinin kullanılması ilkel çağlardan bu yana kullanılan bir yöntemdir. Kurutma için gerekli enerjinin güneş ışınlarından karşılanması bu yöntemi cazip kılmaktadır. Enerji tasarrufu avantajının yanında bu yöntemin dezavantajları da bulunmaktadır. Sistemin atmosferik koşullara açık olması, ortamın nem oranının ve sıcaklığının kontrol edilememesi, gıdanın atmosferik koşullara doğrudan açık olması gıdanın kalitesini olumsuz etkileyecek faktörlerdir. Hem dezavantajları azaltmak hem de güneş enerjisinden faydalanabilmek amacıyla çeşitli sistemler geliştirilmiştir. Bu sistemlerden biri de sera tipi kurutuculardır. Bu tip kurutucularda, duvarlar ve çatı saydam bir örtü ile örtülür. Böylece güneş ışınlarının kurutucunun içine geçmesi hedeflenmektedir. Bu tip kurutucular saydam örtüler ile örtülmüş odacıklara benzer. Örtülerin altında bulunan kollektörler yardımı ile güneş enerjisi tutulur ve havaya aktarılır. Odada bulunan fanlar yardımı ile sıcak hava odanın içerisinde gezdirilerek meyve ve sebzelerin üzerinden geçirilir. Aynı şekilde meyve ve sebzelerden alınan nem sonucunda su buharına doymuş hava da sera tipi kurutuculardan uzaklaştırılır. Böylece hem güneş enerjisi kullanılır hem de gıda dış etkilere olabildiğince korunmuş olur [19].

2.3.2 Tepsili Kurutucular

Tepsili kurutucular, motor, fan ve tabanları delikli olan elek tipi tepsilerden oluşmaktadır. Tepsilerden oluşan bu kurutucu aynı zamanda kabin tipi kurutucu olarak da adlandırılabilir. Bu tip kurutucular genellikle sanayide en çok kullanılan kurutucu tipidir. Hem seri üretimde hem de küçük ölçekli pilot tesislerde ve laboratuvarlarda kullanılabilirler. Bu tip kurutucularda sıcak hava tepsilerin üzerinde özel hava kanalları ve yönlendirici perdeler yardımı ile taşınmaktadır. Her ne kadar ön işlemlerden geçirilmiş gıda tepsilere uniform bir şekilde ve tek katman olacak şekilde serilse de bu tip kurutucularda kurutma her zaman homojen olmamaktadır. Kabin tipi kurutucuların bir diğer dezavantajı ise kurutma sürelerinin uzun olmasıdır. Şekil 2.6'da bir kabin tipi kurutucu gösterilmiştir.



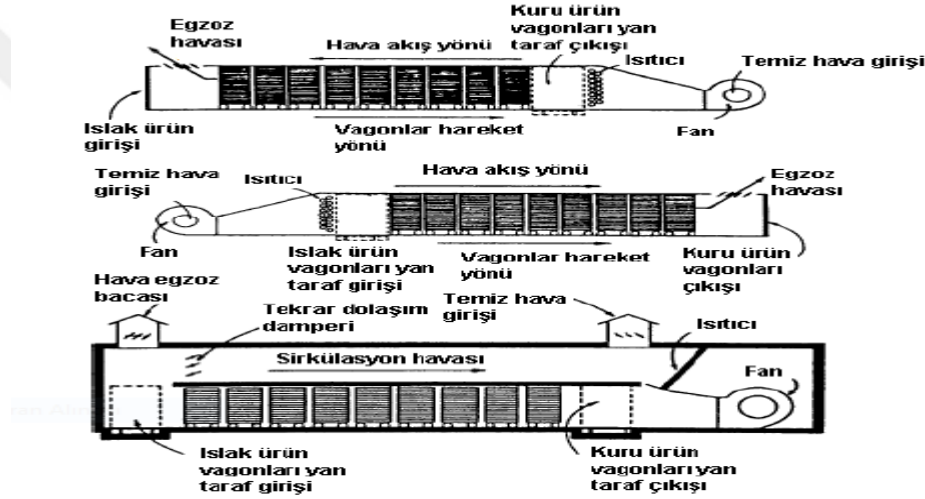
Şekil 2.6 Tepsili (kabin) kurutucu

Kabin kurutuculara vakum uygulanırsa eğer bu tip kurutucular vakumlu kabin tipi kurutucu adını almaktadır [8, 11, 20].

2.3.3 Tünel Kurutucular

Tünel kurutucular genellikle 20 m uzunluğunda ısı izolasyonu yapılmış bir tünelden oluşmaktadırlar. Bu tip kurutuculara kerevetli kurutucular da denmektedir. Tünel içerisinde, üzerine ürün yerleştirilmiş tepsiler altlarında bulunan tekerlekli sistem yardımı ile hareket ettirilmektedir. Bu hareketli sistemlere vagon veya araba denilmektedir. Genellikle bir tünel kurutucu 12 ile 15 civarında araba taşımaktadır. Tünel içerisinde uniform bir kurumanın

gerçekleşmesi için hava akımı homojen bir şekilde dağıtılmalıdır. Bir bant gibi hareket eden yaş gıdalar ile hava akımı paralel veya zıt akımlı olabilmektedir. Genellikle gıdanın ısıya duyarlı olmasına göre hava akımı paralel veya zıt bir şekilde ayarlanmaktadır. Isı duyarlılığı olan ve kurutmaya karşı olumsuz etkiler göstererek kalitesini kaybedebilecek gıdalar genellikle zıt akışlı tünel kurutucularda kurutulmaktadır. Ayrıca bantlı bir sistem olduğu için sürekli kurutma işlemi için de kullanılabilir. İstenen nem düzeyine ulaşmış ürün tünelin sonundan çıkış kapısından dışarıya alınırken giriş kapısından yaş ürün arabalar ile tünele verilebilmektedir. Şekil 2.7’de tünel tipi bir kurutucu gösterilmiştir [21].



Şekil 2.7 Tünel tipi kurutucu sistemleri [22]

2.3.4 Bantlı Kurutucular

Bantlı kurutucular çalışma prensibi olarak tünel kurutuculara benzemektedirler. Ancak bantlı kurutucular tünel kurutuculardan daha gelişmiş bir düzeneğe sahiptirler. Bantlı kurutuculara aynı zamanda konveyör kurutucular da denilmektedir. Bant uzunluğu genellikle 20 m ve bant eni 3 m civarındadır. Bantın yapısı elek şeklindedir ve gıdanın kuruması için gerekli hava bantın altından verilerek deliklerden gıdaya ulaştırılır. Kurutması yapılacak ürün 5-10 cm dilim kalınlığında kesilerek tek katman olacak şekilde bantın üzerine serilir. Kuruma büyük oranda gerçekleştikten sonra sıcak hava kurutulmuş ürün taneleri uçmasın diye yukarıdan verilir. Kuruma süresi 3 ile 6 saat arasındadır.

2.3.5 Akışkan Yatak Kurutucular

Akışkan yatak kurutucular, kurutma işlemi için sıcak havayı kullanan ve ısı transferinin konveksiyon ile gerçekleştiği tipte kurutuculardır. Bu kurutucularda temel prensip kurutulacak olan ürün parçacıklarının akışkanlaştırılmasıdır. Belli bir boyuta getirilen meyve ve sebzeler delikli bir tepsi (elek) üzerine dizilirler. Tepsinin altından kurutması yapılacak gıda parçacıklarına dik yönde yüksek hızda hava gönderilir. Hava hızının etkisi ile kurutması yapılan parçacıklar hava akımına kapılarak akışkanlaşırlar ve tank içerisinde askıda kalırlar. Ürünün her tarafı sıcak hava ile kaplandığından dolayı ürün içerisindeki nem yüksek bir hızla buharlaşmaktadır. Bu yöntem ile ancak belli bir boyuta kadar olan ürünler kurutulabilmektedir. Parçalara ayrılmış meyve ve sebzeler, tahıllar, bezelye taneleri genellikle bu yöntem ile kurutulmaktadırlar [8].

Geleneksel kurutma sistemlerine göre akışkan yatak kurutucuların bazı avantajları mevcuttur. Yüksek kurutma verimi, yüksek kontrol gücü, küçük akış alanı bu avantajlar arasındadır [23].

2.3.6 Silindirik Kurutucular

Silindirik kurutucular sıcak yüzey kurutucuları olarak bilinirler. Diğer kurutma sistemlerinden farklı olarak gıdanın ısıtılması sıcak hava ile değil sıcak bir yüzey ile yapılmaktadır. Yani ısı iletimi kondüksiyon ile gerçekleşmektedir. Silindir kurutucular, paslanmaz çelikten yapılmış 50-150 cm çapında ve 100-300 cm uzunluğundaki içten ısıtmalı silindirlerden oluşmaktadırlar. Sıcak hava kurutucularında belli bir nem düzeyine gelmiş hava ısı enerjisi yüksek olsa dahi sistemden atılmaktadır. Dolayısıyla sıcak hava ısıtıcı sistemlerde bir enerji kaybı söz konusu olabilmektedir. Sıcak yüzey ısıtıcıları sıcak hava ısıtıcıları ile kıyaslandığında ısı enerjiden yararlanma verimi açısından daha üstündürler. Bu durum bir örnek ile açıklanacak olursa; gıda içerisinden 1 kilogram su buharlaşmasını sağlamak için sıcak hava kurutucuları ile sağlanması gereken enerji 4.000-10.000 kJ iken; sıcak yüzey ısıtıcılarında gereksinim duyulan enerji yalnızca 2.000-3.000 kJ'dür. Silindirik kurutucular içeriden buhar enerjisi ile ısıtılmaktadırlar. Silindirik yüzeyin üzerine yaklaşık olarak 0.1-0.5 mm

kalınlığında kurutulacak ürün serilmekte ve yaklaşık olarak 20-200 saniyede ürün kurumaktadır.

2.3.7 Vakum Kurutucular

Yukarıda bahsedilmiş tüm kurutucu tipleri düşük basınçlı bir ortamda çalıştırılırsa vakum kurutucu ismini almaktadır. Vakumlu kurutucularda 10-100 Torr civarında düşük bir basınç hakimdir. Kurutucu içerisindeki kısmi su buharı basıncı düşürülerek kurutma prosesinin daha hızlı gerçekleşmesi amaçlanmaktadır. Vakum altında gerçekleşen kurutma olayında gıda içerisindeki su daha düşük sıcaklıklarda buharlaşma imkanı bulmaktadır. Bu nedenle ısıya hassas materyallerin kurutulmasında sıkça kullanılan bir yöntemdir. Vakumlu kurutucularda gıda maddesini ısıtma işleminin sıcak hava ile gerçekleşmesi olanaksızdır. Dolayısıyla ısıtma işlemi genellikle içten ısıtmalı bir yüzeyden gıdaya doğru olmaktadır. Vakumlu ortamda kurutma işlemi yapılan gıdada oksidasyona bağlı kalite kayıpları en aza indirgenmektedir. Vakum altında kurutma ile gıdaların doğal gözenekli yapısının ve gıdanın renk, tat, koku kalitesinin korunması büyük oranda sağlanabilmektedir [17].

2.3.8 Dondurma ile Kurutma Sistemleri

Dondurarak kurutma işleminde düşük sıcaklıklarda ve vakum altında gıdanın içerisindeki suyun donması sağlandıktan sonra gıdaya kontrollü bir şekilde ısı transferi yaptırılarak buz halde bulunan suyun buhar haline geçmesi sağlanmaktadır. Buhar halinde gıdadan ayrılan su soğutmalı kondenserden geçirilerek tekrar buz haline getirilmektedir. Böylece ortam basıncı sabit tutulmaktadır. Bu tip kurutucularda hem dondurma işlemi için yüksek oranda enerjinin ortamdaki çekilmesinin gerekliliği hem de vakum için uygulanan enerji maliyeti yüksektir. Her ne kadar dondurma kurutma sistemleri ile elde edilen ürünün kalitesi çok yüksek olsa da bu sistemler maliyet kaygılarından dolayı kendilerine endüstride çok sık kullanım alanı bulamamışlardır [8]. Tablo 2.2’de bazı kurutucu çeşitlerinin gıda sanayinde hangi ürünlerin kurutulmasında tercih edildiği gösterilmiştir.

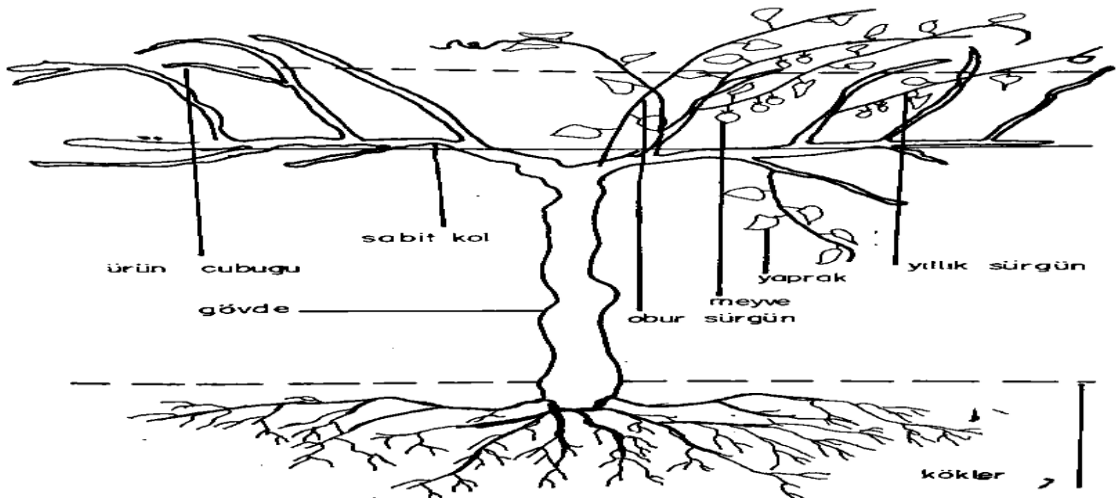
Tablo 2.2 Bazı kurutucular ve gıda sanayinde kullanım alanları [8]

Kurutucu	Ürünler
Kabin Kurutucu	Meyve, sebze, et, şekerlemeler
Tünel Kurutucu	Sebze ve meyveler
Bant Kurutucu	Tohum, tahıl, sebze, kabuklu meyve
Akışkan Yatak Kurutucu	Sebze, baklagil, tahıl, tohum,
Silindirik Kurutucu	Süt, çorba, püre
Dondurarak Kurutma Sistemi	Meyve suyu, kahve, karides

3.1 Kivi Meyvesinin Özellikleri

Kivi, *Actinidia deliciosa* bitkisi ve diğer *Actinidia* bitki türlerinin melezlerinden hasat edilen bir meyvedir. Kivi meyvesinin anavatanı Doğu Çin'dir. 1930'lu yıllarda kivi meyvesinin tohumları Yeni Zelanda'ya getirilmiş ve bu bölgede yetiştirilmeye başlanmıştır. Kivi meyvesinin popüleritesinin artması ile 1970'li yıllarda Japonya, Avustralya, ABD gibi ülkeler de kivi yetiştiriciliğine başlamıştır. Türkiye kivi meyvesini 1988 yılına kadar ithal etmiştir. 1988 yılı ile birlikte İtalya'dan 1800 adet kivi fidanı ithal edilmiş ve ülkemizin farklı bölgelerinde deneme çiftlikleri kurulmuştur. 1994 yılı ile birlikte Türkiye kivi üretmeye başlamıştır. Kivi meyvesi ülkemizde Doğu Karadeniz ve Marmara Bölgelerinde yetiştirme alanı bulmuştur. Karadeniz bölgesinde kivi yetiştiriciliğinin en çok yapıldığı iller arasında Ordu ve Rize gösterilebilir.

Kivi meyvesi, az kireçli ve asidik (pH= 5.5-7) topraklarda daha verimli bir şekilde yetiştirilebilmektedir. Genellikle kışın sıcaklığın -10°C'ın altına düşmediği ve yaz kış yağış alan bölgeler kivi yetiştiriciliği için uygundur. Şekil 3.1'de kivi asmasının yapısı verilmiştir.



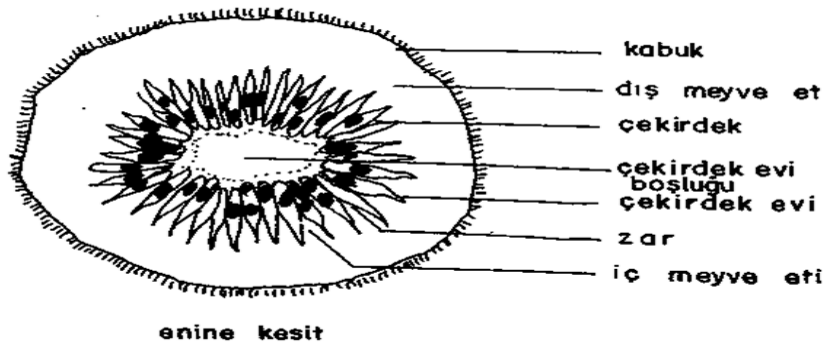
Şekil 3.1 Kivi asmasının yapısı [24]

Şekil 3.1’de bir kivi asmasının yapısı ve asma üzerinde yer alan bitki bölümleri görülmektedir. Asma üzerinde yer alan erkek çiçeklerin oluşturduğu polenler doğal veya yapay yollarla dişi çiçeğe taşınmaktadır. Nisan ayının başında uyanmaya başlayan kivi asması Haziran ayının başında çiçeklenmeye başlar. Tozlaşma olayından sonra, 24 haftalık bir süreç sonucunda kivi meyveleri hasat olgunluğuna erişmektedir. Hasat zamanı Kasım ayını bulan kivi meyvesinin yeme olgunluğuna erişmesi için hasat zamanından sonra 1-2 hafta beklenmesi gerekmektedir. Şekil 3.2’de kivi meyvesinin genel yapısı görülmektedir.



Şekil 3.2 Kivi meyvesi

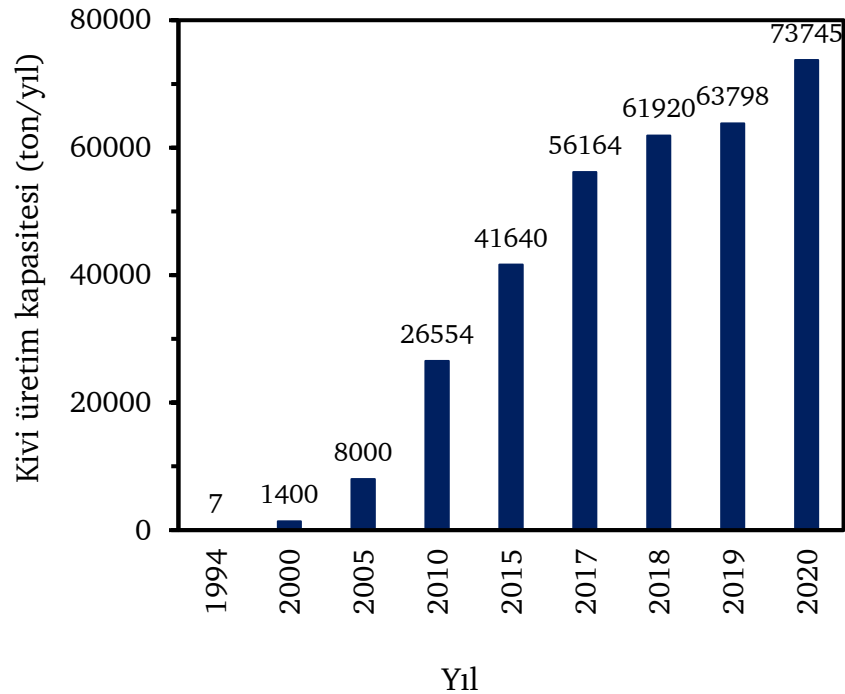
Kivi meyvesinin genişliği genellikle 4-5 cm, uzunluğu da 6-9 cm olmaktadır. Meyvenin kabuğu açık kahverengi tonlarında, kısa ve yumuşak tüyler ile örtülüdür. Meyvenin ağırlığı 40-150 gram arasındadır. Kabuğun altında, içeriğindeki çokça klorofilden dolayı, yeşil renkli meyve kısmı bulunmaktadır [24]. Şekil 3.3’de kivi enine kesiti şematize edilmiştir.



Şekil 3.3 Kivi meyvesinin enine kesiti [24]

Şekil 3.3’te görüldüğü gibi kivi meyvesi dıştan içe doğru kabuk, dış meyve eti, iç meyve eti, çekirdek ve çekirdek evi boşluğundan oluşmaktadır.

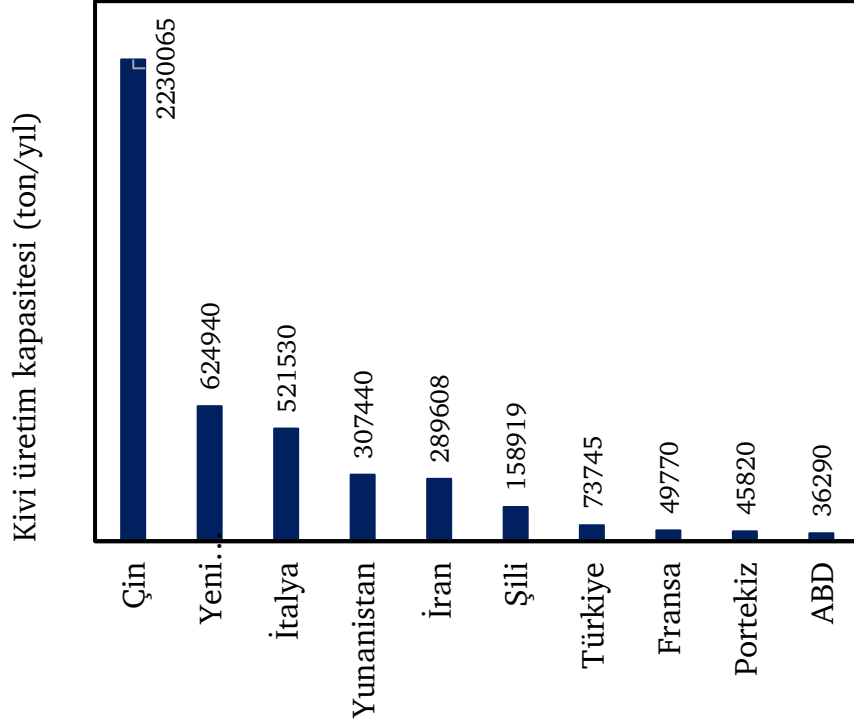
Kivi meyvesi içeriğinde çözünmüş olarak %12.2-15.8 civarında katı madde içermektedir. Kivinin içerdiği nem yaklaşık olarak %86'dır. Yapılan çalışmalar sonucunda kivi meyvesinin içerisindeki katı maddeler, basit şekerler, mineraller, organik asitler, aroma ve renk maddelerinden oluşmaktadır. Glikoz ve fruktoz basit şekerleri kivi meyvesinin içeriğinde çözünmüş halde bulunan katı maddelerin büyük bir bölümünü oluşturmaktadır. Yapılan deneyler sonucunda kiviye glikoz oranı 20-57 g glikoz / kg kivi şeklinde; fruktoz oranı ise 28.2-61.9 g fruktoz / kg kivi şeklinde verilebilmektedir. Katı maddelerin büyük çoğunluğunu oluşturan diğer bir grup organik asitlerdir. Kivide bulunan organik asitler, sitrik asit, malik asit, askorbik asit şeklinde sıralanabilir. Sitrik asit kiviye en çok bulunan organik asittir. Mineral içeriğine bakıldığında en çok potasyum olmak üzere kalsiyum, fosfor, magnezyum ve sodyum şeklinde sıralanabilmektedir. Renk maddelerine bakıldığında meyveye rengini veren klorofilin en çok bulunduğu söylenebilir. 100 g kivi meyvesinin enerji değeri 55 kCal'dir [25, 26]. Şekil 3.4 ile Türkiye'deki kivi üretiminin yıllara göre dağılımı gösterilmiştir.



Şekil 3.4 Yıllara göre Türkiye'deki kivi üretimi [27]

Şekil 3.4'te görüldüğü gibi 1994 yılı ile birlikte ülkemizde kivi üretimi yıllık 7 ton mahsül ile başlamıştır. Türkiye'de kivi üretimi yıl bazında büyük artış göstermiş

ve 2020 yılında toplanan kivi mahsulü 73745 tonu bulmuştur. Şekil 3.5 ise 2020 yılında bazı ana kivi üreticisi konumundaki ülkelerin kivi üretim kapasiteleri gösterilmiştir.



Şekil 3.5 2020 yılında ülke bazında kivi üretimi [27]

2020 yılında dünyada hasat edilmiş kivi miktarı 4407407 ton'dur. Bu hasatın yarısını kiviin anavatanı olan Çin'in yaptığı Şekil 3.5'te görülmektedir. Çin'i 624940 ton ile Yeni Zelanda takip etmektedir. Çin, Yeni Zelanda, İtalya, Yunanistan ve İran kiviin 2020 yılında en çok hasat edildiği ülkelerdir [28].

3.2 Kivi Kurutma Literatür Özeti

Doymaz [29], 2008 yılında yaptığı çalışmada, sıcaklığın etkisinin kiviin kuruma kinetiği üzerine etkilerini incelemiştir. Sıcak hava ile kurutma prosesi gerçekleştirilmiş olup kurutma sıcaklıkları 50, 55 ve 60°C olarak belirlenmiştir (hava hızı 2.4 m/s ve havanın bağıl nemi %10-25 arasındadır). Literatürde yer alan 12 farklı ince tabaka modeli kiviin deneysel kurutma verilerine uygulanmıştır. Henderson & Pabis ve Verma vd. modelleri kivi dilimlerinin sıcak hava ile kurutma kinetiğine en uygun modeller olarak seçilmiştir. Kurutma işlemi azalan debi periyodunda gerçekleşmiştir. Kurutma sıcaklığının artması ile

kurutma süresinin kısaldığı gözlemlenmiştir. En yüksek rehidrasyon oranı 55°C ile yapılan kurutmada saptanmıştır. Her bir kurutma sıcaklığı için efektif difüzyon katsayısı değerleri hesaplanmış olup 50, 55 ve 60°C sıcaklıklar için bu değerler sırası ile 1.743×10^{-10} , 1.929×10^{-10} ve 2.241×10^{-10} m²/s'dir. Kivi dilimlerinin kurutulması esnasında gerekli aktivasyon enerjisi 22.48 kJ/ mol olarak bulunmuştur.

Aidani vd. [30], 2016 yılında yaptıkları çalışmada vakumlu infrared bir kurutucuda dilim kalınlığı 0.5 mm olan kivileri, infrared kurutucunun 200, 250 ve 300 W radyasyon güçleri ve ortam basıncının 5, 10, 15 kPa basınç değerleri için kurutma prosesini gerçekleştirmişlerdir. İnfrared gücünün ve ortam basıncının, kivi dilimlerinin kurutulmasının üzerine etkilerini incelemişlerdir. Ortam basıncı 5 kPa'da sabit tutularak yapılan kurutma prosesinde 200, 250 ve 300 W infrared güçleri için kurutma süreleri sırası ile 80, 60 ve 47.5 dakika olarak ölçmüşlerdir. Ortam basıncının artması ile kurutma sürelerinin de arttığını bildirmişlerdir. Kurutma kinetiğinin modellenmesi için Page, Midilli & Küçük, Logaritmik, Newton, Difüzyon yaklaşım modeli, İkinci dereceden denklem gibi denklemler ile çalışmışlardır. En yüksek kolerasyon katsayısı (R^2) ve en düşük standart hata (SE) değerleri ile İkinci dereceden denklem kurutma kinetiğinin modellemesinde en uygun ince-tabaka kurutma modeli olarak seçmişlerdir. Değişik ortam koşullarında kurutulan kivi dilimleri için hesaplanan D_{eff} 1.04×10^{-9} ile 2.29×10^{-9} m²/s aralığında değişkenlik göstermiştir. Difüzyon katsayısını arttıran temel unsur radyasyon gücü oluşturmaktadır. Farklı infrared güçlerinde kurutma işlemi için kivi dilimleri için renk analizi yapmışlardır. Radyasyon gücünün artması ile kivin kurutma süresi kısalmış ancak önemli bir kalite parametresi olan renginde değişimler gözlemlenmiştir.

Akar ve Barutçu [31], 2018 yılında kivi ile ilgili yaptıkları çalışmada farklı kurutma tekniklerini kullanarak kivin kuruma kinetiğini, askorbik asit bozunma kinetiği ve renk değişim kinetiklerini modellemişlerdir. Sıcak hava ile kurutma, vakum altında kurutma, dondurarak kurutma ve sıcak hava ile kombine edilmiş vakumlu mikrodalga ile kurutma olmak üzere dört farklı kurutma yöntemi ile kivi kurutma prosesini gerçekleştirmişlerdir. Sıcak hava ile kurutma işleminde hem yüksek hızda kuruma sağlanması hem de ürün

kalitesinin sıcaklıktan etkilenmesinin engellenmesi için 60°C' ta sıcak hava kullanılmıştır. Vakum ile kurutma işleminde 60°C sıcaklığında sıcak hava kullanılmış olup ortamın vakum basıncı 100 mbar'dır. Dondurarak kurutma işleminde -50°C sıcaklık ve 0.1 mbar basınç koşullarında çalışmışlardır. Sıcak hava ile kombineli vakumlu mikrodalga kurutucuda ise, kivi dilimleri 60°C sıcak hava ile 200 dakika muamele edilmiş daha sonra 500 mmHg basıncında ve 450 W infrared gücünde çalışan mikrodalga fırınında kurutma işlemine tabi tutulmuştur. Sıcak hava, vakum kurutma, sıcak hava ile kombine edilmiş vakumlu mikrodalga ile kurutma ve dondurarak kurutma işlemleri için kurutma süreleri sıra ile 600, 480, 206 ve 1440 dakika olarak bildirmişlerdir. Kivinin kurutma kinetiğinin modellenmesi için 9 farklı çok bilinen kurutma modeli (Page, Henderson & Pabis, Wang & Singh, Weibull, Midilli & Küçük, Difüzyon yaklaşım modeli, Logaritmik, Verma vd.) denemişlerdir. Page ve Weibull modelleri en yüksek R^2 ve en düşük RMSE değerleri ile kivi dilimlerinin kurutma kinetiğinin modellenmesinde en uygun ince-tabaka kurutma modeli olarak gösterilmiştir. Askorbik asit parçalanması en yüksek sıcak hava ile kurutma işleminde gözlemlenmiş olup, bunu vakum altında kurutma ve sıcak hava ile kombine vakumlu mikrodalga kurutucusu takip ettiği görülmüştür. En düşük askorbik asit parçalanması dondurarak kurutma işleminde gerçekleşmiştir. Dondurarak kurutulmuş kivi dilimlerinin rehidrasyon yeteneği incelendiğinde her iki sıcaklık değeri (20 ve 50°C) için diğer yöntemlerle kurutulmuş kivi dilimlerinden daha üstün rehidrasyon yeteneğine sahip olduğu görülmüştür. Genel olarak, dondurarak kurutma prosesi uygulanmış kivi dilimlerinin en yüksek renk kalitesi, en yüksek askorbik asit içeriği, en yüksek fenolik bileşik içeriği ve en yüksek rehidrasyon gücüne sahip olduğu görülmüştür. Yapılan çalışmalara göre dondurarak kurutma prosesi ile en yüksek kalitede ürün elde edilmesine karşın dondurarak kurutma yöntemi kuruma süresi bakımından en uzun yöntemdir. Sıcak hava ile kombine edilmiş vakumlu mikrodalga kurutma prosesi incelendiğinde dondurarak kurutma prosesine göre %85.7 daha düşük kurutma süresi göstermiştir.

Chin vd. [32], 2015 yılında yaptıkları çalışmada kivinin sıcak hava ile kurutulması üzerine çalışmışlardır. Kurutma sıcaklığının ve kivinin dilim

kalınlığının kurumaya etkisini araştırmışlardır. Yapılan denemelerde 40, 50 ve 60°C sıcaklıklarında hava ve 0.3 cm ve 0.6 cm kivi dilimleri kullanılmıştır. Kivinin kuruma kinetiğinin modellenmesi için 9 farklı ince-tabaka kurutma modeli kullanmışlardır. Bu modeller Wang & Singh, Page, Modified Page, Henderson & Pabis, Newton, Logaritmik, Difüzyon yaklaşım modeli, Two-term model ve 2. derece üstel fonksiyon modeli şeklinde sayılabilir. Her bir denklem modeli için kolerasyon katsayısı (R^2), ki-kare testi (χ^2) ve ortalama hata kareleri kare kökü (RMSE) hesaplanmıştır. Hesaplamalar sonucunda 40-60°C arasındaki sıcak hava kurutma yöntemi ve 0.3-0.6 cm dilim kalınlığındaki kivi dilimlerinin kuruma kinetiğinin modellenmesinde en uygun ince-tabaka kurutma modeli Difüzyon yaklaşım modeli olarak belirlenmiştir. 0.3 cm kalınlıktaki kivi dilimlerinin kurutma prosesi sonucunda 40, 50 ve 60°C sıcaklıklar için denge nemine inme süreleri sırası ile 3200, 1500 ve 1200 dakika olarak kaydedilmiştir. Kurutma sıcaklığının 40°C'tan 60°C'a yükseltilmesi ile kurutma süresi %63 kısalmıştır. Benzer sonuçlar 0.6 cm kivi dilimi için elde edilmiştir. Ayrıca deneyler sonucunda ince kivi diliminin (0.3 cm) kalın kivi dilimine göre daha çabuk denge nemine eriştiği gözlenmiştir. Yapılan çalışmalar, kivinin içerdiği fenolik bileşik oranının kurutma süresi ile, C-vitamini içeriğinin ise doğrudan kurutma sıcaklığı ile ilgili olduğunu göstermiştir. Kurutma süresinin kısalması ile kivinin fenolik bileşik oranının arttığı, kurutma sıcaklığının azalması ile kivinin C-vitamini miktarının artmıştır. Böylece kiviye daha ince dilimler halinde kurutmanın toplam fenolik bileşik içeriği ve C-vitamini içeriğini koruyabileceği vurgulanmıştır.

Darıcı ve Şen [33], 2015 yılında yaptıkları çalışmada kurutma havasının sıcaklık, nem ve hız parametrelerinin kurutma kinetiğine etkisini incelemişlerdir. Kurutma deneylerini 50, 60, 70 ve 80°C hava sıcaklığı; 0.5, 1.0, 1.5 ve 2.0 m/s hava hızı ve %5-20 havanın bağıl nem düzeyi değerleri için gerçekleştirmişlerdir. Kivi 4 ve 6 mm dilim kalınlığında dilimlenmiştir. Kurutma havası sıcaklığının kurutma süresine etkisinin incelenmesi için kurutma havasının hız değeri 0.5 m/s ve havanın nemi %10 değerinde sabit tutularak deneyler yapılmıştır. 6 mm dilim kalınlığındaki kivi 50°C'ta yapılan kurutmada 500 dakikada denge nemine erişirken, 80°C'ta yapılan kurutmada yaklaşık olarak 180 dakikada erişmiştir. 4

ve 6 mm dilim kalınlığındaki kivi dilimlerinin farklı sıcaklık değerleri için difüzyon katsayısı ve aktivasyon enerjisi değerleri hesaplanmıştır. 4 ve 6 mm kalınlıktaki kivi dilimleri için aktivasyon enerjisi (E_a) sırası ile 34.337 kJ/mol ve 38.073 kJ/mol olarak bulunmuştur. Farklı sıcaklık ve dilim kalınlığı değerleri için hesaplanan efektif difüzyon katsayısı değerleri 1.844×10^{-10} - 7.010×10^{-10} m²/s aralığında değişkenlik göstermiştir. Kurutma olayının kinetiğinin modellenmesi için 6 farklı model (Newton, Page, Henderson & Pabis, Wang & Singh, Logaritmik ve Midilli & Küçük) kullanılmıştır. Kurutma kinetiği bütün modeller için yüksek uyum sağlamış olup en yüksek R² değeri ile Midilli & Küçük modeli en uyumlu model olarak gösterilmiştir.

Diken vd. [34], 2020 yılında kivi meyvesinin kuruma kinetiği ve sorpsiyon izotermi üzerine çalışmışlardır. Konvektif bir sıcak hava kurutucusunda kuruma havasının 50, 60 ve 70°C sıcaklık değeri için 3 mm dilim kalınlığındaki kivileri kurutmuşlardır. Kuruma havası hızı sabit olup 2.2 m/s'dir. Kivinin sorpsiyon izotermi oluşturulmasında gravimetrik yöntem kullanılmıştır. Ortamın bağıl neminin ayarlanmasında kullanılan tuz çözeltileri MgCl₂, Mg(NO₃)₂, NaCl ve KCl' dir. Çalışılan ortam sıcaklıkları ise 30, 40 ve 50°C' tır. Örneklerin düşük sıcaklık değerlerinde denge nemine erişmelerinin 29 gün sürerken yüksek sıcaklık değerlerinde yaklaşık olarak 10 gün sürdüğü bildirilmiştir. Deneysel kuruma verilerinin modellenmesi için 4 farklı ince-tabaka kurutma modeli kullanılmıştır. Bu modeller Henderson & Pabis, Page, Logaritmik, Wang & Singh modelleridir. Sorpsiyon eğrilerinin oluşturulmasında kullanılan modeller, BET, Oswin, Smith ve GAB modelleridir. Kurutma işlemi kivinin nem oranı kuru baza göre 0.1 kg su/kg kuru madde değerine erişene kadar devam ettirilmiştir. 70 ve 50°C'ta yapılan kurutma deneylerinde denge nem oranına erişilmesi için geçen süreler sırası ile 120 ve 210 dakika olarak kaydedilmiştir. Kurutma verilerine en uygun ince-tabaka kurutma modeli Page olarak seçilmiştir. 50, 60 ve 70°C sıcaklıklarda gerçekleştirilen kurutma prosesleri için D_{eff} değeri hesaplanmış ve 2.739×10^{-10} - 3.897×10^{-10} m²/s aralığında değişkenlik gösterdiği bildirilmiştir. Farklı sıcaklık değerleri için sorpsiyon izotermi çizilmiş olup sıcaklığın artması ile aynı su aktivitesi değerinde kivinin

daha düşük nem içeriğine sahip olduğu bildirilmiştir. Sorpsiyon eğrilerinin modellenmesinde en yüksek uyumluluğu GAB modeli göstermiştir.

Ergun vd. [35], 2016 yılında yaptıkları çalışmada kivi dilimlerinin dondurarak kurutmuşlar ve kurutulan örneklerin rehidrasyon kinetiklerini incelemişlerdir. Kurutma verilerine Lewis, Page, Modified Page I, Henderson & Pabis, Modified Henderson & Pabis, Logaritmik, Midilli & Küçük, Modified Midilli, Two-term, Two-term Exponential, Modified Two-term Exponential ve Wang & Singh modelleri uygulanmıştır. Uygulanan modellerin uyumluluğu R^2 , RMSE ve χ^2 değerleri hesaplanarak belirlenmiştir. Kurutma prosesi uygulanan kivi dilimlerinin kalınlığı 3 mm ve şekilleri üçgendir. Kivi dilimleri -40°C ' ta 2 saat boyunca dondurulmuştur. Daha sonra -48°C sıcaklık ve 13.33 Pa basınç değerinde kurutma prosesi gerçekleştirilmiştir. Sisteme süblimleşme enerjisi 30°C 'deki bir plakadan kondüksiyon ile sağlanmıştır. Two-term Exponential model kivi kuruma kinetiğine en uygun model olarak seçilmiştir. Uygulanan modelin R^2 değeri 0.997, RMSE değeri 0.0277 ve χ^2 değeri 0.0794 olarak bulunmuştur. Kurutma prosesi için hesaplanan efektif difüzyon katsayısı değeri (D_{eff}) $7.302 \times 10^{-10} \text{ m}^2/\text{s}$ olarak hesaplanmıştır. Dondurarak kurutulmuş kivi dilimleri için renk parametreleri ölçülmüştür. Kurutulmuş kivi için L ve b değeri artış göstermiş, a değeri düşüş gösterdiği bildirilmiştir. Dondurulmuş kivin rehidrasyon yeteneği ise Peleg's model ($R^2 = 0.9958-0.9989$) ile uyumlu bulunmuştur.

İzli vd. [36], 2016 yılında yaptıkları çalışmada farklı kurutma yöntemlerinin kivin kalite parametreleri üzerine etkisini araştırmışlardır. Kurutma yöntemi olarak sıcak hava, dondurarak ve mikrodalga ile kurutma yöntemlerini denemişlerdir. Kurutma sonucunda kivin renk değişimi, toplam fenolik bileşik değişimi ve antioksidan kapasitesini araştırmışlardır. Kurutma işlemi için ayarlanan hava sıcaklıkları 60, 70 ve 80°C şeklindedir. Mikrodalga tipi kurutucu 120 ve 350 W güç değerlerinde çalıştırılmıştır. Dondurarak kurutma işlemi laboratuvar ölçekli bir kurutucuda gerçekleşmiş olup proses -50°C sıcaklık ve 50 Pa basınçta gerçekleşmiştir. Sıcak hava ile gerçekleştirilmiş kurutma işleminde 60, 70 ve 80°C 'lerde gerçekleştirilen kurutma proseslerinin kurutma süreleri sırası ile 120, 85, 65 dakika olarak belirlenmiştir. Mikrodalga kurutma işleminde

120 ve 350 W güç değeri için kurutma süresi 14 ve 5 dakika olarak belirlenmiştir. Dondurarak kurutma işlemi ise 600 dakika sürmüştür. Diğer metotlar ile kıyaslandığında mikrodalga ile kurutma işleminin büyük ölçüde zaman tasarrufu sağladığı ortaya çıkmıştır. Mikrodalga ile kurutma işleminde gücün artırılması ile %64.29 zaman tasarrufu sağlanmıştır. Diğer yandan sıcak hava ile kurutma işleminde sıcaklığın 60°C'tan 80°C'a çıkarılması ile %45.83 zaman tasarrufu sağlanmıştır. Kurutma kinetiğinin belirlenmesi için 9 farklı ince-tabaka kurutma modeli denenmiş olup her bir model için istatistiksel doğruluk testleri (R^2 , RMSE ve χ^2) hesaplanmıştır. Kuruma kinetiği için Midilli & Küçük modeli en yüksek R^2 ve en düşük RMSE, χ^2 değerlerini vermiştir. Toplam fenolik bileşik içeriği ve antioksidan kapasitesi en çok, taze kividenden sonra dondurularak kurutulmuş kivide tespit edilmiştir. Sıcak hava ile kurutma işleminde toplam fenolik bileşik oranı en çok 80°C sıcaklığında kurutulmuş kivide tespit edilmiştir. Aynı şekilde mikrodalga ile kurutulmuş kivide 350 W güç değerinde yapılan kurutmada kuruma süresinin kısa olması dolayısıyla toplam fenolik bileşik oranı 120 W güç değerinde yapılan kurutmaya göre daha çok çıkmıştır. Taze kivin renk parametrelerine en yakın sonucu dondurularak kurutulmuş kivi dilimleri göstermiştir.

Sadeghi vd. [37], 2019 yılında yaptıkları çalışmada kivi, sıcak hava destekli infrared kurutucu kullanarak kurutmuşlardır. Kiviler dilim kalınlığı 2, 4 ve 6 mm olmak üzere kesilmiştir. Deneyler tek tepsili infrared bir kurutucuda gerçekleştirilmiştir. İnfrared kurutucunun tabanındaki delikten sıcak hava kolaylıkla kurutma kabini içerisine girebilmekte ve doğal taşınım ile kurutucunun duvarlarında bulunan deliklerden çıkabilmektedir. Kurutma olayı infrared kurutucunun gücü, infrared lambaların kivi dilimlerine yakınlığı, sıcak havanın zorlanmış taşınım veya doğal taşınım ile taşınması gibi parametrelere göre incelenmiştir. Kurutma deneyleri, infrared kurutucunun 1000-2000 W güç aralığında, kivin 2, 4 ve 6 mm dilim kalınlığı değerleri için yapılmış olup infrared lambanın numunelere mesafesi 550-850 mm arasında değiştirilmiştir. İnfrared kurutucunun gücünün artması, lambaların kivi dilimlerine yaklaştırılması ve kivin dilim kalınlığının azalması ile kurutma süresinin kısaldığı bildirilmiştir. Yapılan çalışmalar sonucunda dilim kalınlığının

4.1 Materyal

Deneylerde kullanılan taze kivi meyvesi Maltepe’de bir süper marketten temin edilmiştir. Kivi meyveleri deneylerde kullanılabileceği kadar +4°C’de muhafaza edilmiştir. Sitrik asit, askorbik asit ve sodyum disülfid maddeleri Merck Firması’ndan (Almanya) sağlanmıştır.

4.2 Deneylerde Kullanılan Ekipmanlar

Kurutma deneyleri Yıldız Teknik Üniversitesi Kimya mühendisliği Bölümünde gerçekleştirilmiş olup laboratuvarındaki ekipmanlar kullanılmıştır. Sıcak hava kurutma yöntemi APV & PASILAC (Carlisle, Cumbria, İngiltere) firması tarafından imal edilen ve genel görüntüsü Şekil 4.1’de verilen kabin kurutucu kullanılarak gerçekleştirilmiştir.



Şekil 4.1 Kabin kurutucu

Cihaz genel olarak içerideki hava akışını sağlamak için santrifüjlü bir fan, havanın ısıtılması için bir elektrikli ısıtıcı, hava filtresi ve oransal kontrol panelinden oluşmaktadır. Cihaz çelik malzemeden yapılmış olup 50 mm kalınlığında yassı rijit bir malzeme ile kaplanmıştır. Çalışılmak istenen sıcaklık

panelden ayarlandıktan sonra hava o sıcaklığa kadar ısıtılır ve kurutma kabinine gönderilir. Kurutma kabininde 21 cm çapında ve 7 cm genişliğinde tepsiler yer almaktadır. Kabin çoğu tarımsal ürünün kurutulması için uygundur. Kullanılan kabin kurutucu 0-200°C arasındaki sıcaklıklarda çalışmaktadır. Kurutma deneylerinde 50, 60, 70 ve 75°C kurutma havası sıcaklıklarında çalışılmıştır.

Deneylerde kabin kurutucunun yanı sıra infrared kurutucu da kullanılmıştır. Deneyler Snijders (Snijders b.v., Hollanda) marka bir infrared kurutucu kullanılarak gerçekleştirilmiştir. Cihazın genel görünümü Şekil 4.2 ile gösterilmiştir.



Şekil 4.2 İnfrared kurutucu

Cihaz 250 W gücünde bir lamba, 10 farklı güç ayarının yapılabildiği bir kontrol paneli ve kurutulacak olan maddenin koyulabileceği bir pottan oluşmaktadır. Kivi meyvesinin kurutulmasında bir dijital enerji ölçer cihazı (PeakTech 9035, Almanya) ile ölçülen 38, 50, 62, 74 ve 88 W infrared güçlerinde çalışılmıştır.

Kurutma prosesi esnasında kivi meyvesinde meydana gelen ağırlık kayıpları Mettler-Toledo marka bir terazi (model BB3000, Mettler-Toledo AG, Grefensee, İsviçre) ile ölçülmüştür. Hassas terazinin genel görünümü Şekil 4.3'de gösterilmiştir. Dijital terazi 0-3000 gr aralığında ± 0.1 hassasiyet ile tartım yapmaktadır.



Şekil 4.3 Mettler-Toledo marka terazi

Kivi meyvesinin içerdiği katı madde miktarı Selecta (İspanya) marka etüv kullanılarak tayin edilmiştir. Tayin esnasında AOAC metodu kullanılmıştır. Etüv 105°C'ye ayarlanarak kivi meyveleri ince ince doğranmış ve örnekler ağırlıkları sabit tartıma gelene kadar etüvde tutulmuştur. Kullanılan etüv Şekil 4.4 ile gösterilmiştir.



Şekil 4.4 Etüv

Nem tayini esnasında numunelerdeki ağırlık kayıpları Precisa firmasının ürettiği bir terazi (XB 220 A model, Precisa Instruments AG, Dietikon, İsviçre) kullanılarak ölçülmüştür. Dijital terazinin genel görünümü Şekil 4.5 ile gösterilmiştir. Precisa marka hassas terazi ile tartımlar 0.0001 g hassasiyetinde gerçekleştirilmiştir.



Şekil 4.5 Precisa marka hassas terazi

Kurutma deneyleri sonucunda kuru kivi meyveleri laboratuvar koşullarında yaklaşık olarak 15 dakika boyunca soğutulurak polietilen poşetlerle paketlenmiştir. Paketlerin ağzı, KRUPS marka (Fransa) Vacupak 2 Plus cihazı kullanılarak kapatılmış ve örneklerin oksijen ile teması engellenmiştir. Paketleme cihazı Şekil 4.6 ile verilmiştir.



Şekil 4.6 Vacupak 2 Plus vakum cihazı

4.3 Yöntem

4.3.1 Ön-İşlem Uygulamaları

Kivi meyveleri, deneylere başlanmadan önce soğuk su ile yıkanarak kabukları soyulmuştur. Daha sonra standart bir dilimleyici kullanılarak kivi 6 mm dilim kalınlığında dilimlenmiştir. Dilim kalınlığının kurutma prosesine etkisinin incelenmesi için kivi 2, 4 ve 6 mm dilim kalınlıklarında da dilimlenmiştir.

Ön-işlem çözeltilerinin kurutma prosesine etkisinin incelenmesi için iki farklı çözelti hazırlanmıştır. Bu çözeltilerden ilki sitrik asit (SA) çözeltisidir. Çözelti hazırlanırken 10 gr katı halde bulunan sitrik asit 490 gr saf su içerisinde çözülerek %2'lik (w/w) sitrik asit çözeltisi hazırlanmıştır. Diğer bir ön-işlem çözeltisi ise askorbik asit+sodyum disülfid (As+SD) çözeltisidir. Çözelti hazırlanırken 5 gram askorbik asit ve 5 gram sodyum disülfid tuzu toplam 490 gr saf suda çözülerek %2'lik (w/w) çözelti hazırlanmıştır.

4.3.2 Kuru Madde Tayini

Kuru madde tayini için Şekil 4.4 ile gösterilen etüv kullanılmıştır. İnce halde kıyılmış meyve dilimlerinden önceden sabit tartıma getirilen bir saat camına yaklaşık 5 gr tartılarak konulmuştur. Daha sonra örnekler 105°C'ye ayarlanmış etüvde sabit tartıma gelinceye dek kurutulmuştur. Kivi meyvesinin %nem içeriği Eşitlik (4.1) kullanılarak hesaplanmıştır.

$$Nem = \frac{m_2 - m_3}{m_2 - m_1} \times 100 \quad (4.1)$$

Bu eşitlikte, m_1 kurutma kabının ağırlığı (g), m_2 kurutma öncesi kurutma kabı ve analiz örneğinin ağırlıklarının toplamı (g) ve m_3 kurutma sonrası kurutma kabı ve analiz örneğinin ağırlıklarının toplamıdır (g).

4.3.3 Sıcak Hava ile Kurutma Yöntemi

Sıcak hava kurutma yöntemi için Şekil 4.1 ile gösterilen kabin kurutucu kullanılmıştır. Farklı kurutma sıcaklıklarının kurutma prosesinin hızına ve son ürün kalitesine etkisi incelenmiştir. Dilimlenmiş örnekler (6 mm dilim kalınlığında) üç farklı gruba bölünmüştür. Birinci grup sitrik asit (SA) ile ve ikinci grup Askorbik asit+sodyum disülfid (As+SD) çözeltisi ile 1 dakika boyunca

muamele edilmiştir. Üçüncü grup ise Kontrol grubudur ve bir ön-işlem çözeltisi ile işlem görmemiştir. Kivi meyvesi dilimleri 50, 60, 70 ve 75°C olmak üzere dört farklı sıcaklıkta ilk nem oranından %15 (yaş baz) nem oranına kadar sıcak hava kurutma yöntemi ile kurutulmuştur. Kurutulmuş kivi dilimleri Şekil 4.7 ile gösterilmiştir.



Şekil 4.7 Kurutulmuş kivi dilimleri

Her deneyde yaklaşık 60 gr örnek kullanılmıştır. Sıcak hava kurutma yönteminde kivi meyvesinin dilim kalınlığının kurutma prosesine etkisi incelemek için kivi meyveleri farklı dilim kalınlıklarında (2, 4 ve 6 mm) dilimlenmiştir. Kivi dilimleri 60°C hava sıcaklığına ayarlanmış kabin kurutucuda ilk nem oranından yaklaşık %15 (yaş baz) nem oranına kadar kurutulmuştur. Daha sonra 10 dakika boyunca laboratuvar koşullarında soğutulan kurutulmuş kivi dilimleri Şekil 4.6 ile gösterilen vakum cihazı kullanılarak paketlenmiştir.

4.3.4 İnfrared Kurutma Yöntemi

Kivi meyvesi dilimleri diğer bir kurutma yöntemi olan ve Şekil 4.2'de gösterilen infrared (IR) kurutma ile farklı infrared güç seviyelerinde kurutulmuştur. Ön-işlem olarak yıkanan ve kabuğu soyulan kivi meyveleri, 6 mm dilim kalınlığında dilimlenmiştir. İki farklı gruba ayrılan kivi dilimlerinden ilk gruptakiler SA ile 1 dakika boyunca muamele edilmiştir. Diğer grup kivi meyvesi dilimleri Kontrol grubudur ve herhangi bir çözelti ile ön-işlem görmemişlerdir. Her kurutma deneyinde yaklaşık 30 g örnek kullanılmıştır. İnfrared kurutma yönteminde farklı güç ayarlarının ve SA ön-işlem çözeltisinin kivi meyvesi dilimlerinin

kurutma karakteristiklerine etkisi incelenmiştir. Kivi meyvesi dilimleri 38, 50, 62, 74 ve 88 W IR güçlerinde %15 (yaş baz) nem içeriğine kadar kurutulmuştur.

4.3.5 Hibrit Kurutma Yöntemi

Hibrit kurutma yönteminde hem sıcak hava hem de infrared kurutma yöntemleri birlikte kullanılmıştır. İki farklı yöntemin birleştirilmesinin kivi meyvesi dilimlerinin kurutulmasına etkisi araştırılmıştır. 6 mm kalınlıkta dilimlenen kivi meyveleri 3 farklı gruba ayrılmıştır. Her grup yaklaşık olarak 30 g kivi meyvesi dilimi içermektedir. İlk grup 15 dakika, ikinci grup 30 dakika ve üçüncü grup 60 dakika boyunca infrared kurutucuda 50 W güç seviyesinde kurutulan kivi dilimlerinin kurutma işlemine 50°C sıcaklıktaki kabin kurutucuda %15 nem içeriğine kadar kurutulmuştur. Kurutulan örnekler laboratuvar koşullarında 10 dakika sürede soğumaya bırakılmıştır. Daha sonra düşük yoğunluklu polietilen torbalar içine konulup vakum cihazı kullanılarak torbaların ağızları ısısal olarak kapatılmıştır. Örnekler karanlık bir ortamda dolap içinde muhafaza edilmiştir.

4.3.6 Matematiksel Modelleme

Kurutma prosesinin modellenmesi için ilk önce kivi meyvesi dilimlerinin nem içeriği (M) yaş bazdan kuru baza göre hesaplanmıştır. Bu hesaplama için Eşitlik (4.2) kullanılmıştır.

$$M = \frac{W_i - W_d}{W_d} \quad (4.2)$$

Bu eşitlikte M, kuru bazda nem içeriği (g su/ g kuru madde), W_i yaş materyalin içerdiği su miktarı (g) ve W_d yaş materyalin katı madde içeriğidir (g).

Kivi meyvesi dilimlerinin kuruma hızı Eşitlik (4.3) kullanılarak hesaplanmıştır.

$$KH = \frac{M_t - M_{t+\Delta t}}{\Delta t} \quad (4.3)$$

Bu eşitlikte KH, kuruma hızını (g su/[g kuru madde×dakika]), M_t , t anındaki nem içeriği (g su/g kuru madde), $M_{t+\Delta t}$, t+Δt anındaki nem içeriğini (g su/g kuru madde) ve t ve Δt zamanı (dakika) temsil etmektedir. Nem oranları hesaplanırken Eşitlik (4.4) kullanılmıştır.

$$MR = \frac{M_t - M_e}{M_0 - M_e} \quad (4.4)$$

Bu denklemdeki MR nem oranını, M_t , M_e ve M_0 t anındaki, denge anındaki ve başlangıçtaki nem içeriklerini (g su/g kuru madde) temsil etmektedirler. Denge nem içeriği (M_e), özellikle uzun kuruma süresi için sıfır kabul edilir [38].

Kivi meyvesi dilimlerinin kurutma prosesinin modellenmesinde, Tablo 4.1 ile verilen dokuz farklı ince-tabaka modeli kullanılmıştır.

Tablo 4.1 Kurutma prosesinin matematiksel modellenmesinde kullanılan modeller

Model no	Model ismi	Denklem ^[1]
1	Lewis	$MR = \exp(-kt)$
2	Henderson & Pabis	$MR = a \exp(-kt)$
3	Logaritmik	$MR = a \exp(-kt) + c$
4	Page	$MR = \exp(-kt^n)$
5	Midilli & Küçük	$MR = a \exp(-kt^n) + bt$
6	Aghbashlo vd.	$MR = \exp\left[-\left(\frac{at}{1+bt}\right)\right]$
7	Jena & Das	$MR = a \exp(-kt + b\sqrt{t}) + c$
8	Vega & Lemus	$MR = (a + kt)^2$
9	Lojistik	$MR = \frac{a}{(1 + b \exp(kt))}$

^[1] a, b, c, k ve n: Kurutma sabitleri ve katsayıları

4.3.7 Regresyon Analizi

İnce-tabaka kurutma modellerinin deneysel veriler ile uyumluluğunun belirlenmesi için regresyon analizi gerçekleştirilmiştir. R^2 değerleri Statistica programı (StatSoft, Inc., Tulsa, OK) kullanılarak elde edilmiştir. Denklemlerin uyumluluğunun test edilmesinde kullanılan diğer parametreler oransal hata (P) değeri, khi-kare (χ^2) değeri ve ortalama karesel hata değeri'dir (RMSE). Regresyon analizinde R^2 değerinin yüksek, P, χ^2 ve RMSE değerlerinin düşük olması model ile veriler arasındaki uyumluluğun fazla olduğunu göstermektedir. P, χ^2 ve RMSE değerleri sırasıyla Eşitlik (4.5), (4.6) ve (4.7) ile hesaplanmıştır [39].

$$P = \frac{100}{N} \sum_{i=1}^N \frac{|MR_{exp,i} - MR_{pre,i}|}{MR_{exp,i}} \quad (4.5)$$

$$\chi^2 = \frac{\sum_{i=1}^N (MR_{exp,i} - MR_{pre,i})^2}{N-z} \quad (4.6)$$

$$RMSE = \left[\frac{1}{N} \sum_{i=1}^N (MR_{pre,i} - MR_{exp,i})^2 \right]^{1/2} \quad (4.7)$$

Bu eşitliklerdeki MR_{exp} ve MR_{pre} terimleri sırasıyla deneysel ve tahmini nem oranı değerleridir. N deney veri sayısı ve z değeri ince-tabaka kurutma modelindeki katsayı sayısıdır.

4.3.8 Difüzyon Katsayısı Hesabı

Difüzyon katsayıları hesaplanırken, Fick'in 2. Kanunu kullanılmaktadır. Bu kanunu kullanmak için bazı kabullerin yapılması gerekmektedir. Bu kabuller, nem kaybının azalan debi periyodunda gerçekleştiği, nem kaybı esnasında ürünün yapısında herhangi bir büzüşme ve bozulma olmadığı ve nem kaybının yalnızca difüzyon mekanizması ile gerçekleştiğidir. Fick yasasının 2. kanunu Eşitlik (4.8) ile gösterilmiştir.

$$\frac{\partial M}{\partial t} = D_{eff} \nabla^2 M \quad (4.8)$$

Denklemin kartezyen koordinatlar için çözümü yapılırsa Eşitlik (4.9) elde edilir.

$$MR = \frac{8}{\pi^2} \sum_{n=0}^{\infty} \frac{1}{(2n+1)^2} \exp \left(-(2n+1)^2 \pi^2 \frac{D_{eff} t}{4L^2} \right) \quad (4.9)$$

Burada; D_{eff} efektif difüzyon katsayısı (m^2/s), t kurutma süresi (s) ve L dilim kalınlığının yarısı (m) olarak ifade edilmektedir. Uzun süren kurutmalar için ilgili denklemin yalnızca ilk terimi ($n=0$) dikkate alınmaktadır. Bu durumda uzun kurutma süreleri için difüzyon katsayısı Eşitlik (4.10) kullanılarak çözülmektedir.

$$MR = \frac{8}{\pi^2} \exp \left(-\pi^2 \frac{D_{eff} t}{4L^2} \right) \quad (4.10)$$

Eşitlik (4.10)'un her iki tarafının logaritması alınırsa eğer eşitlik lineerleştirilerek grafiksel yöntem ile çözülebilmektedir.

$$\ln(MR) = \ln\left(\frac{8}{\pi^2}\right) - \frac{\pi^2 D_{eff} t}{4L^2} \quad (4.11)$$

$\ln(MR)$ ile t arasında çizilen doğrunun eğiminden (K) yararlanarak efektif difüzyon katsayıları hesaplanır.

$$K = \frac{\pi^2 D_{eff}}{4L^2} \quad (4.12)$$

4.3.9 Aktivasyon Enerjisi Hesabı

Efektif difüzyon katsayısının sıcaklık ile değişimi Arrhenius tipi üstel bir fonksiyonla açıklanmaktadır:

$$D_{eff} = D_0 \exp\left(-\frac{E_a}{R(T+273.15)}\right) \quad (4.13)$$

Burada D_{eff} efektif difüzyon katsayısı (m^2/s), D_0 sonsuz sıcaklıkta difüziviteye eşdeğer bir sabit (m^2/s), E_a aktivasyon enerjisi (kJ/mol), R üniversal gaz sabiti ($8.314 kJ/(mol \times K)$) ve T kurutma sıcaklığıdır ($^{\circ}C$). Eşitliğin her iki tarafının logaritması alınarak sıcaklığın efektif difüzyon katsayısına etkisi incelendiğinde bir doğru elde edilir. Bu doğrunun eğiminden yararlanarak aktivasyon enerjisi hesaplanmaktadır.

İnfrared kurutma prosesinde aktivasyon enerjisinin hesaplanmasında modifiye edilmiş Arrhenius denklemi kullanılmaktadır. İnfrared kurutucu içerisindeki sıcaklık ölçülemediği için sıcaklığa bağlı Arrhenius denklemi infrared güç ve kurutulan ürünün kütlesine göre modifiye edilmiştir. İlgili eşitlik Eşitlik (4.14) ile gösterilmiştir.

$$D_{eff} = D_0 \exp\left(-\frac{E_a \times m}{p}\right) \quad (4.14)$$

Burada, E_a aktivasyon enerjisini (W/kg), m nemli ürün ağırlığını (kg) ve p IR gücü (W) ifade etmektedir.

4.3.10 Renk Ölçümü

Farklı kurutma koşulları altında kurutulan kivi meyvesi dilimlerinin renk analizleri gerçekleştirilmiştir. Renk ölçümü Şekil 4.8'de gösterilen PCE-CSM 1 marka (PCE Instruments UK Ltd., Southampton Hampshire, United Kingdom) renk ölçüm cihazı ile gerçekleştirilmiştir.



Şekil 4.8 PCE-CSM 1 marka renk ölçüm cihazı

Renk belirlenirken kullanılan sistem CIE L*a*b (Commision Internationale de L'Eclairage) renk sistemidir. Bu sistem toplamda üç koordinat içerir. L koordinatı rengin açıklığını, a koordinatı kırmızı/yeşil eksenlerindeki pozisyonları, b koordinatı ise sarı/mavi eksenlerindeki pozisyonları temsil etmektedir. Cihaz ile örneklerin L, a ve b değerleri ölçülmüştür. Her bir ölçüm 5 kere tekrarlanarak sonuçlar ortalama olarak verilmiştir. L, a ve b değerlerinin yanı sıra kivi dilimlerinin kurutma prosesi sonucunda renk değişimlerinin daha iyi anlaşılabilmesi için toplam renk değişim katsayısı (ΔE) ve kroma (C) değerleri de Eşitlik (4.15) ve (4.16) kullanılarak hesaplanmıştır.

$$\Delta E = \sqrt{(L_0 - L)^2 + (a_0 - a)^2 + (b_0 - b)^2} \quad (4.15)$$

$$C = \sqrt{a^2 + b^2} \quad (4.16)$$

4.3.11 Rehidrasyon Kapasitesi

Kurutulan ürünün kalitesini belirleyen bir diğer unsur da rehidrasyon kapasitesidir. Rehidrasyon kapasitesi ne kadar yüksek olursa ürün o kadar başarılı bir şekilde kurutulmuş demektir [40]. Rehidrasyon kapasitesinin ölçülmesi için temiz beherlere 300 ml saf su doldurulmuştur. Daha sonra farklı yöntemler ile kurutulmuş olan kivi meyvesi dilimlerinin kuru ağırlığı hassas terazi kullanılarak tartılmış ve saf su içerisine atılmıştır. Ürünlerin su çekme oranlarının bulunması için 30 dakika aralıklar ile saf su içerisindeki örnekler çıkarılarak temiz bir kâğıt havlu ile üzerindeki fazla su alınmış ve hassas terazi ile ağırlık tartımı not edilmiştir. Rehidrasyon işlemi 6 saat boyunca

sürdürülmüştür. Rehidrasyon kapasitesi değerleri aşağıda verilen denklem ile hesaplanmıştır:

$$RK = \frac{W_2 - W_1}{W_1} \quad (4.17)$$

Denklemde RK rehidrasyon kapasitesini (g su/g kuru madde), W_1 ve W_2 simgeleri sırasıyla kuru madde ve ürün miktarlarını (g) göstermektedir.



5.1 Sıcak Hava Kurutma Yöntemi ile Gerçekleştirilen Deneyler

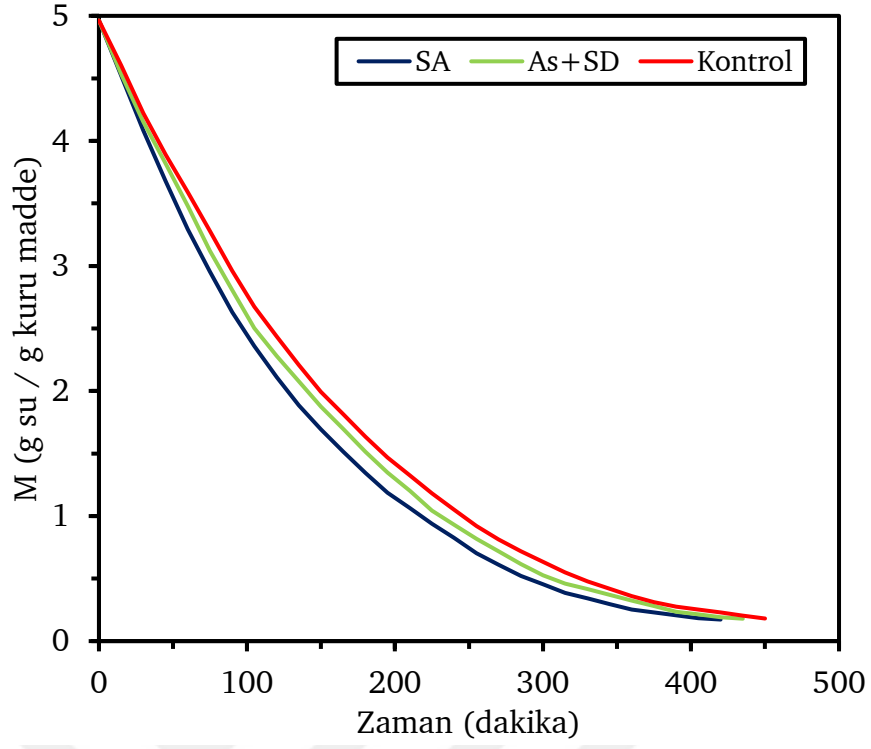
5.1.1 Kurutma Havaının Sıcaklığının ve Ön-İşlem Çözeltilerinin Kurutma Süresine Etkisi

Farklı kurutma havası sıcaklıklarında ve farklı ön-işlem çözeltileri ile muamele edilerek kurutulan kivi meyvesi dilimleri için kuruma süreleri Tablo 5.1 ile gösterilmiştir. Tablodan da görülebileceği gibi kurutma sıcaklığının artması ile kurutma zamanı kısalmıştır. Aynı zamanda çözeltiler ile işlem gören örneklerin Kontrol grubuna göre daha hızlı kuruduğu görülmektedir. Sitrik asit çözeltisi ile muamele edilen örneklerin Askorbik asit+sodium disülfid çözeltisi ile muamele edilen örneklere göre daha hızlı kuruduğu saptanmıştır.

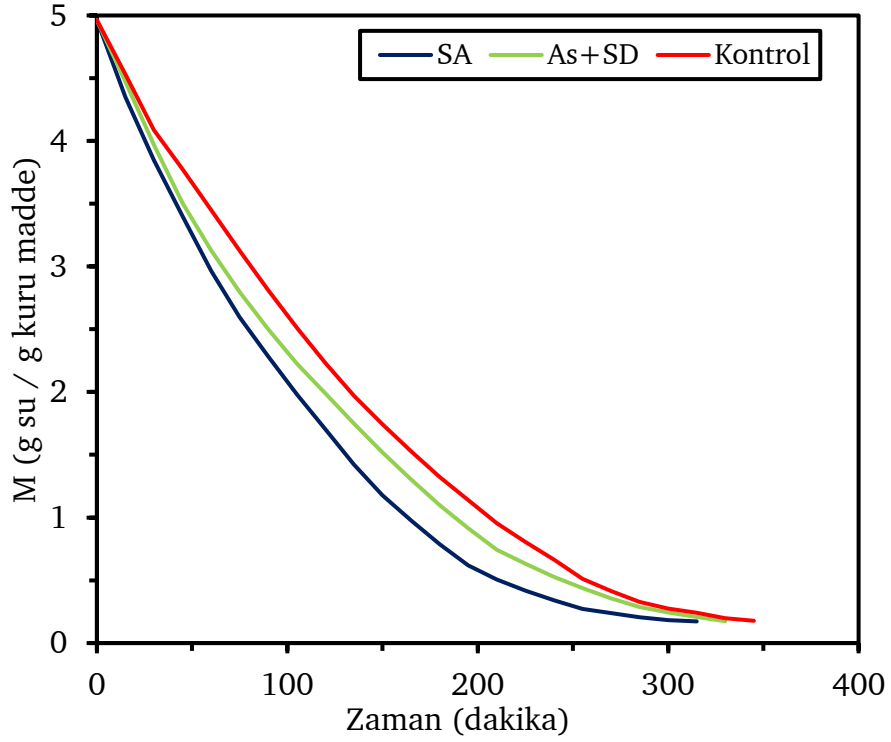
Tablo 5.1 Kurutma havaının sıcaklığı ve ön-işlem çözeltilerinin kurutma süresine etkisi

Sıcaklık (°C)	Kurutma Süresi (dakika)		
	SA	As+SD	Kontrol
50	420	435	450
60	315	330	345
70	195	240	255
75	180	210	225

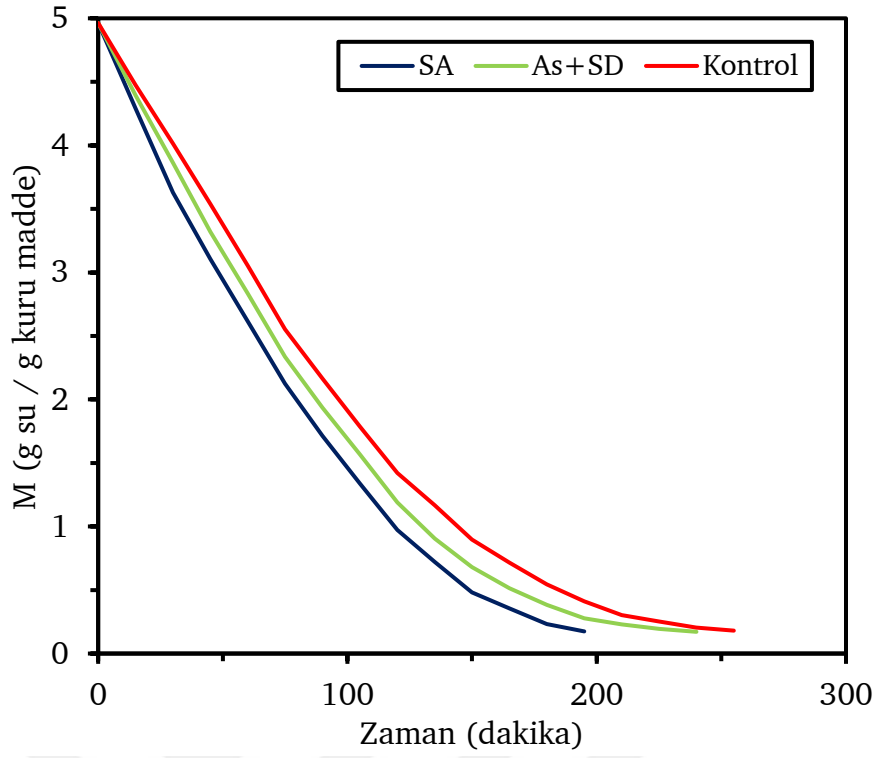
Farklı sıcaklıklarda ve farklı ön-işlem çözeltileri ile yapılan kurutma prosesleri için zamana karşılık nem içeriği grafikleri çizilmiştir. Grafikler Şekil 5.1, 5.2, 5.3 ve 5.4 ile gösterilmiştir.



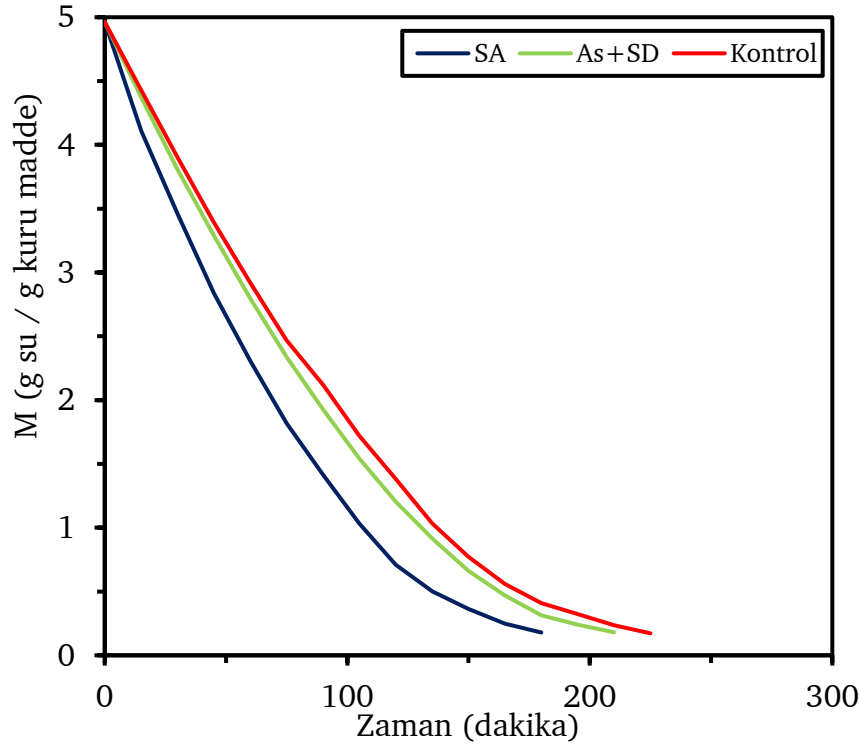
Şekil 5.1 50°C'ta yapılan kurutma için nem içeriğinin zaman ile değişimi



Şekil 5.2 60°C 'ta yapılan kurutma için nem içeriğinin zaman ile değişimi



Şekil 5.3 70°C'ta yapılan kurutma için nem içeriğinin zaman ile değişimi



Şekil 5.4 75°C'ta yapılan kurutma için nem içeriğinin zaman ile değişimi

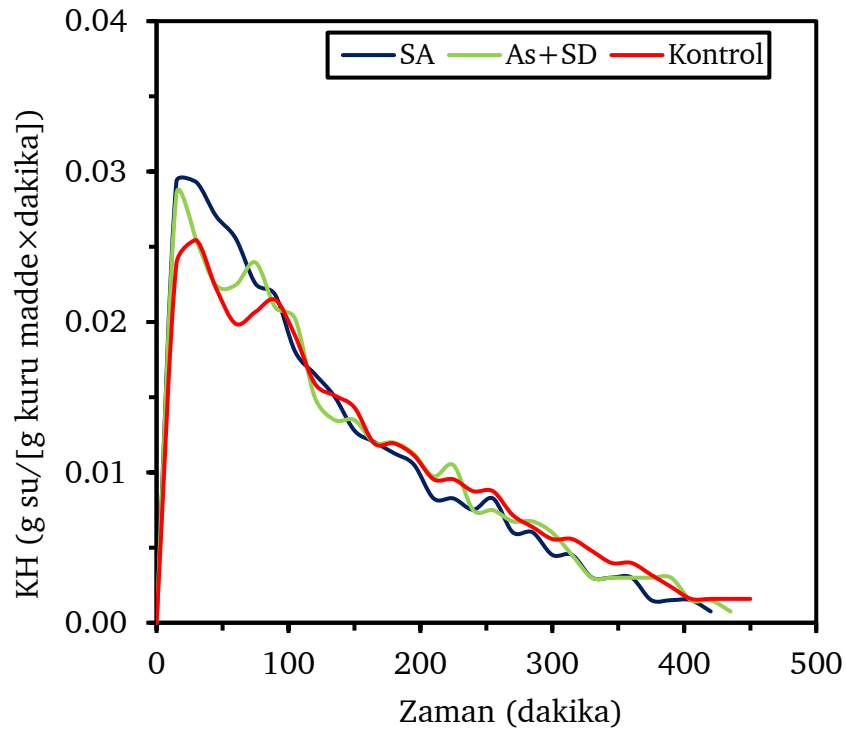
Orikasa vd. [41], kivi dilimlerini sıcak hava yöntemi ile kurutmuş ve kurutma sıcaklığının artması ile kurutma süresinin kıaldığını ifade etmiştir. Ayrıca, Hu

vd. soya fasülyesini [42], Maskan vd. üzüm derisini [43], Kumar vd. soğanı [44] ve havuç posasını [45], Wang vd. elma posasını [46], Sacilik vd. eriği [47], Sharma ve Prasad sarımsağı [48] sıcak hava kurutma yöntemi ile kurutmuşlardır. Yapılan çalışmalar, çalışmamızı destekler nitelikte olup araştırmacılar kurutma sıcaklığının artması ile kurutma zamanlarının kısaldığını bildirmişlerdir. Sıcaklığın artması gıda içerisindeki nemin difüzyon hızını arttırdığı için ürünün kuruması daha hızlı gerçekleşmektedir.

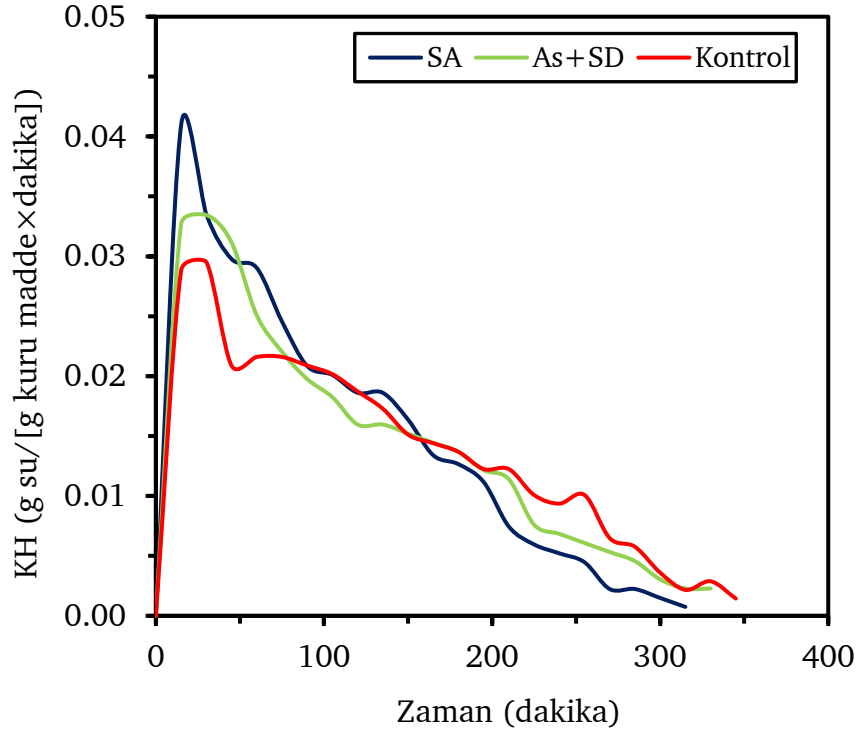
Ön-işlem uygulanmış kivi dilimlerinin tüm sıcaklıklar için Kontrol gruplarına göre daha hızlı kuruduğu gözlemlenmiştir. Daha önce yapılan çalışmalar da bu bulguları destekler niteliktedir. Doymaz, 2020 yılında kivi dilimlerini sitrik asit çözeltisine batırarak ve kurutma prosesine tabii tutmuştur. Ön-işlem görmüş numunelerin daha hızlı kuruduğunu tespit etmiştir [49]. Ön-işlem çözeltisi olarak sitrik asit çözeltisinin kullanıldığı bir diğer çalışmada ise Amasya elması sitrik asit çözeltisi ile muamele edilmiş ve sıcak hava yöntemi ile kurutulmuştur. Elde edilen sonuçlara göre ön-işlem görmüş örneklerin daha hızlı kuruduğu tespit edilmiştir [50]. Zaman vd., ananas dilimlerini farklı ön-işlem çözeltilerine daldırarak kurutmuştur. NaCl çözeltisine daldırılmış örneklerin diğer çözeltilere daldırılmış öneklere ve ön-işlem görmemiş öneklere göre daha hızlı kuruduğunu bildirmişlerdir [51]. Rojas vd., elma dilimlerini etanol çözeltisine daldırarak kurutmuşlar ve kurutma süresinin etanol ön-işlem çözeltisi ile kısaldığını bildirmişlerdir [52]. Önal vd., elma dilimlerini sıcak hava yöntemi ile kuruturken karnonhidrat ve tuzdan oluşan çözeltiyi ön-işlem çözeltisi olarak kullanmışlardır. Yapılan çalışmada ön-işlem görmüş örneklerin daha hızlı kuruduğu bildirilmiştir [53]. Literatürdeki çalışmalardan elde edilen sonuçlar çalışmamız ile paralel özellikler göstermektedir. Literatürdeki çalışmalarda ön-işlem çözeltisi olarak farklı çözeltiler kullanılmış ve bu çözeltilerin kurutma prosesine etkinliği değişmekle birlikte kurutma prosesine pozitif etkileri gözlemlenmiştir. Kullanılan çözeltilerin gıda içerisindeki mikro kanalcıkları genişleterek nemin çıkışını kolaylaştırdığı düşünülmektedir. Yapılan araştırmalar sonucunda askorbik asit+sodyum disülfid çözeltisinin kurutma prosesinde ön-işlem çözeltisi olarak kullanıldığı herhangi bir çalışmada rastlanılmamıştır. Yapılan çalışmanın literatüre katkı sağlayacağını umarız.

5.1.2 Kurutma Havası Sıcaklığının ve Ön-İşlem Çözeltilerinin Kurutma Hızına Etkisi

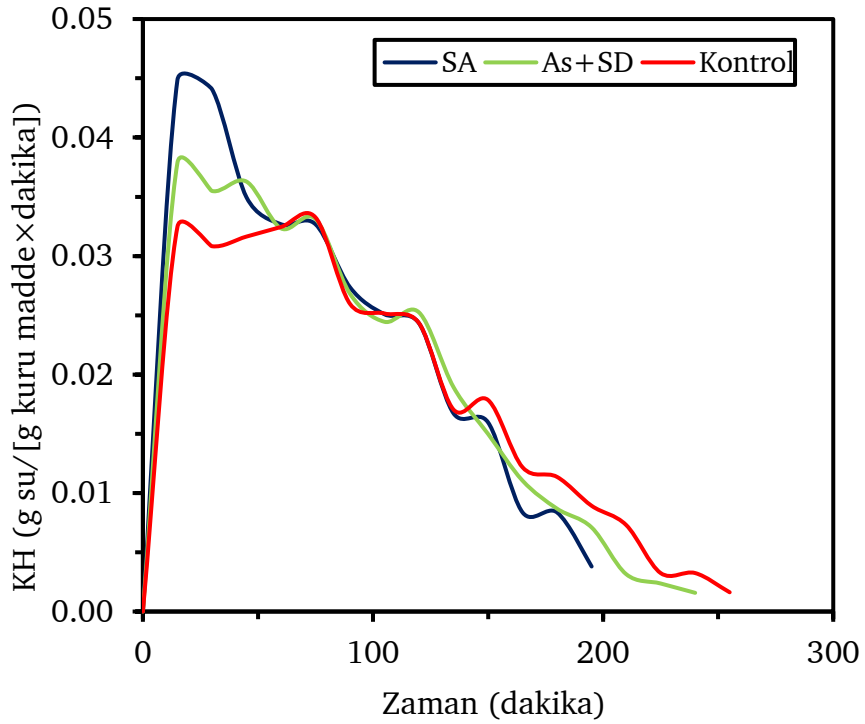
Farklı sıcaklıklarda kurutulan kivi meyvesi dilimlerinin zamana karşılık kurutma hızı grafikleri çizilmiştir. 50, 60, 70 ve 75°C sıcaklıklarda gerçekleştirilmiş kurutma proseslerine ait hız grafikleri Şekil 5.5 ve 5.8 arasında gösterilmiştir. Grafikler incelendiğinde 75°C'ta gerçekleştirilmiş olan kurutma prosesinde kurutma hızının en yüksek seviyelerde olduğu gözlemlenmiştir. Sıcaklığın atması kurutma hızını arttıran temel unsur olmuştur. Sıcaklığın artması ile difüzyon hızı artmakta ve gıda içerisinde bulunan su yüzeye daha hızlı çıkmaktadır. Ayrıca ön-ışlem çözeltilerinin uygulanmasının kurutma hızını arttırdığı açıkça görülmektedir. Farklı sıcaklık değerleri için gerçekleştirilmiş olan bütün deney setleri için, SA çözeltisi ile muamele edilmiş örneklerin kurutma hızının As+SD ve Kontrol gruplarından daha yüksek olduğu tespit edilmiştir. Aynı şekilde As+SD grubu örneklerin kurutma hızının Kontrol grubundaki örneklerden yüksek olduğu gözlemlenmiştir.



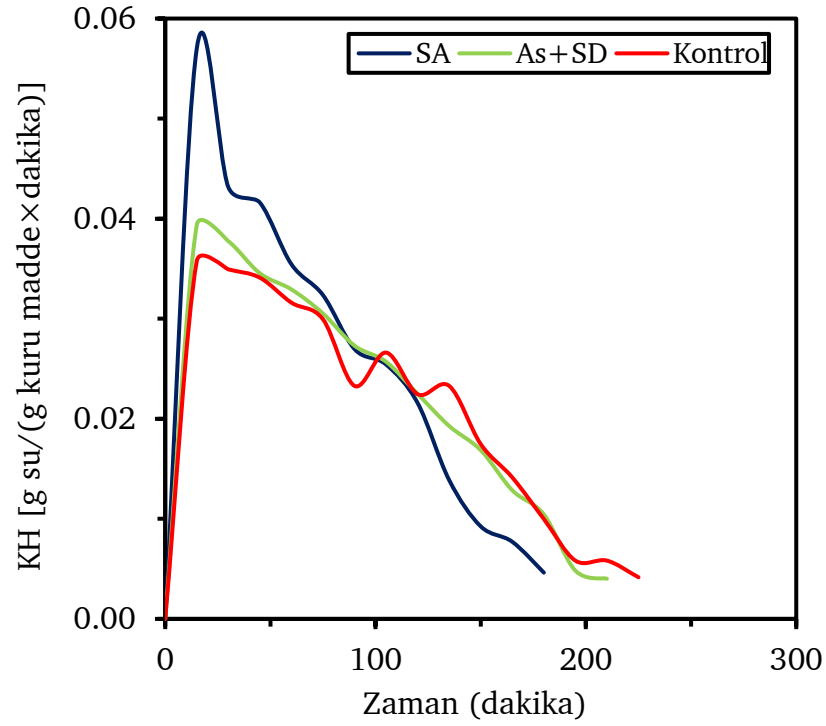
Şekil 5.5 50°C'de kurutulan kivi dilimleri için kurutma zamanına karşılık kurutma hız değerleri



Şekil 5.6 60°C'de kurutulan kivi dilimleri için kurutma zamanına karşılık kurutma hız değerleri



Şekil 5.7 70°C'de kurutulan kivi dilimleri için kurutma zamanına karşılık kurutma hız değerleri



Şekil 5.8 75°C'de kurutulan kivi dilimleri için kurutma zamanına karşılık kurutma hız değerleri

Hızın zaman ile değişimi grafikleri incelendiğinde prosesin azalan debi periyodunda gerçekleştiği ve sabit debi kurutma hızı periyodunun gözlenmediği görülmektedir. Benzer çalışmalar literatürde değişik araştırmacılar tarafından rapor edilmiştir [54, 55, 56].

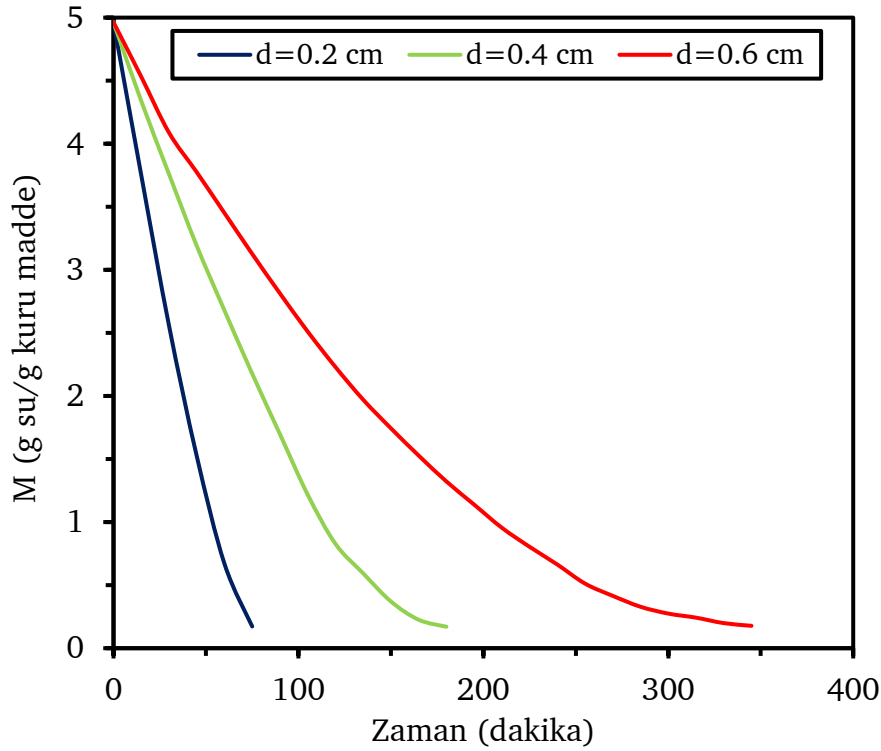
5.1.3 Kivi Meyvesi Dilim Kalınlığının Kurutma Süresine Etkisi

Kivi meyvesinin dilim kalınlığının kurutma prosesine etkisinin incelenmesi için 2, 4 ve 6 mm kalınlığındaki kivi dilimlerinin kuruma süreleri Tablo 5.2 ile verilmiştir.

Tablo 5.2 Farklı kalınlıklarda kesilmiş kivi meyvesi dilimlerinin kurutma süreleri

Dilim Kalınlığı (mm)	Kurutma Süresi (dakika)
2	75
4	180
6	345

Kurutma prosesi için çizilmiş olan nem içeriği zaman grafiği Şekil 5.9 ile gösterilmiştir.



Şekil 5.9 Farklı dilim kalınlıklarında dilimlenmiş kivi meyvesi için nem içeriği ve kurutma süresi arasındaki ilişki

Tablo 5.2 ve Şekil 5.9 incelendiğinde dilim kalınlığının kurutma süresini doğrudan etkilediği görülmektedir. Dilim kalınlığı düştükçe kurutma hızının arttığı ve bunun sonucu olarak kurutma süresinin kısaldığı Şekil 5.9'da açık bir şekilde görülmektedir. Kurutma prosesine dilim kalınlığının etkisi hakkında literatür taraması yapılmış olup literatürdeki araştırmaların çalışmamız ile benzer nitelikte olduğu görülmüştür. Özbek [57], farklı kalınlıklardaki havuç dilimlerini, Zhou vd. [58], farklı kalınlıklardaki sarımsak dilimlerini ve Doymaz [59] farklı kalınlıklardaki pırasa dilimlerini kurutmuştur. Bu çalışmalarda dilim kalınlığının artması ile kurutma zamanının arttığı belirtmişlerdir. Bunun iki temel sebebi olduğu düşünülmektedir. Birincisi maddenin kalınlığı arttıkça iç katmanlarda bulunan suyun kat etmesi gereken yol da artmaktadır. Diğer sebep ise daha yüksek kalınlığa sahip dilimin ağırlığı artarken suyun uzaklaştığı yüzey alanı sabit kalmaktadır.

5.1.4 Kurutma Verilerinin Matematiksel Modellenmesi

Kivi meyvesinin farklı sıcaklık ve ön-işlemler ile kurutulması deneylerine ait deneysel veriler kullanılarak matematiksel modelleme çalışması yapılmıştır. Bunun için için Tablo 4.1 ile gösterilen ince-tabaka kurutma modelleri kullanılmıştır. Deneysel verilerin ince-tabaka kurutma modellerine uyumluluğunun ölçülmesi için R^2 , P, χ^2 ve RMSE değerleri belirlenmiştir. İlgili veriler Tablo 5.3, 5.4, 5.5 ve 5.6 ile verilmiştir.

Tablo 5.3 50°C sıcaklıkta yapılan kurutma için istatistiksel analiz sonuçları

T (°C)	Kod	Model ismi	R^2	P	χ^2	RMSE
50	SA	Lewis	0.9973	12.7853	0.000229	0.070575
		Henderson & Pabis	0.9983	10.2886	0.000150	0.055411
		Logaritmik	0.9997	4.4683	0.000030	0.021064
		Page	0.9997	3.9143	0.000028	0.024037
		Midilli & Küçük	0.9998	3.3968	0.000016	0.017154
		Aghbashlo vd.	0.9998	2.6752	0.000016	0.016796
		Jena & Das	0.9993	6.4368	0.000059	0.035530
		Vega & Lemus	0.9879	28.3407	0.001042	0.150984
		Lojistik	0.9174	76.3414	0.007699	0.396392
	As+SD	Lewis	0.9954	15.6865	0.000380	0.096302
		Henderson & Pabis	0.9970	12.5885	0.000258	0.077007
		Logaritmik	0.9994	5.1222	0.000051	0.029759
		Page	0.9996	4.1824	0.000043	0.029781
		Midilli & Küçük	0.9997	3.0162	0.000024	0.020159
		Aghbashlo vd.	0.9997	2.5246	0.000018	0.017648
		Jena & Das	0.9988	7.4669	0.000104	0.046586
		Vega & Lemus	0.9904	24.5795	0.000836	0.133741
		Lojistik	0.9132	74.2903	0.007858	0.416014
	Kontrol	Lewis	0.9937	17.6260	0.000530	0.114018
		Henderson & Pabis	0.9959	14.0332	0.000355	0.091341
		Logaritmik	0.9993	5.7624	0.000064	0.033402
		Page	0.9995	4.0940	0.000040	0.029037
		Midilli & Küçük	0.9998	3.2274	0.000017	0.018409
		Aghbashlo vd.	0.9998	2.6417	0.000013	0.015433
		Jena & Das	0.9985	8.1674	0.000130	0.054856
		Vega & Lemus	0.9922	22.0035	0.000685	0.122626
		Lojistik	0.9094	73.0207	0.008267	0.431835

Tablo 5.4 60°C sıcaklıkta yapılan kurutma için istatistiksel analiz sonuçları

T (°C)	Kod	Model ismi	R ²	P	χ^2	RMSE
60	SA	Lewis	0.9921	22.7971	0.000708	0.111250
		Henderson & Pabis	0.9936	19.5392	0.000603	0.100860
		Logaritmik	0.9981	12.0746	0.000188	0.052344
		Page	0.9981	7.0582	0.000173	0.048735
		Midilli & Küçük	0.9987	7.7710	0.000127	0.041853
		Aghbashlo vd.	0.9993	6.7871	0.000061	0.029182
		Jena & Das	0.9965	12.2035	0.000343	0.071321
		Vega & Lemus	0.9943	23.8727	0.000535	0.083924
		Lojistik	0.9990	5.1232	0.000090	0.036508
	As+SD	Lewis	0.9920	22.3085	0.000700	0.115005
		Henderson & Pabis	0.9937	19.2470	0.000581	0.098188
		Logaritmik	0.9991	6.7450	0.000084	0.035250
		Page	0.9977	9.3010	0.000206	0.058867
		Midilli & Küçük	0.9991	6.0540	0.000086	0.036223
		Aghbashlo vd.	0.9993	3.1403	0.000059	0.029222
		Jena & Das	0.9963	13.7918	0.000357	0.078942
		Vega & Lemus	0.9946	16.8069	0.000492	0.083253
		Lojistik	0.9079	61.8860	0.008937	0.387344
	Kontrol	Lewis	0.9857	30.1085	0.001291	0.155504
		Henderson & Pabis	0.9887	26.0512	0.001061	0.135734
		Logaritmik	0.9988	9.1369	0.000119	0.041185
		Page	0.9965	12.1198	0.000331	0.076227
		Midilli & Küçük	0.9989	7.8791	0.000113	0.041706
		Aghbashlo vd.	0.9993	4.0114	0.000062	0.030601
		Jena & Das	0.9935	18.6322	0.000634	0.106138
		Vega & Lemus	0.9980	10.1615	0.000187	0.047358
		Lojistik	0.8963	82.6759	0.010272	0.418376

Tablo 5.5 70°C sıcaklıkta yapılan kurutma için istatistiksel analiz sonuçları

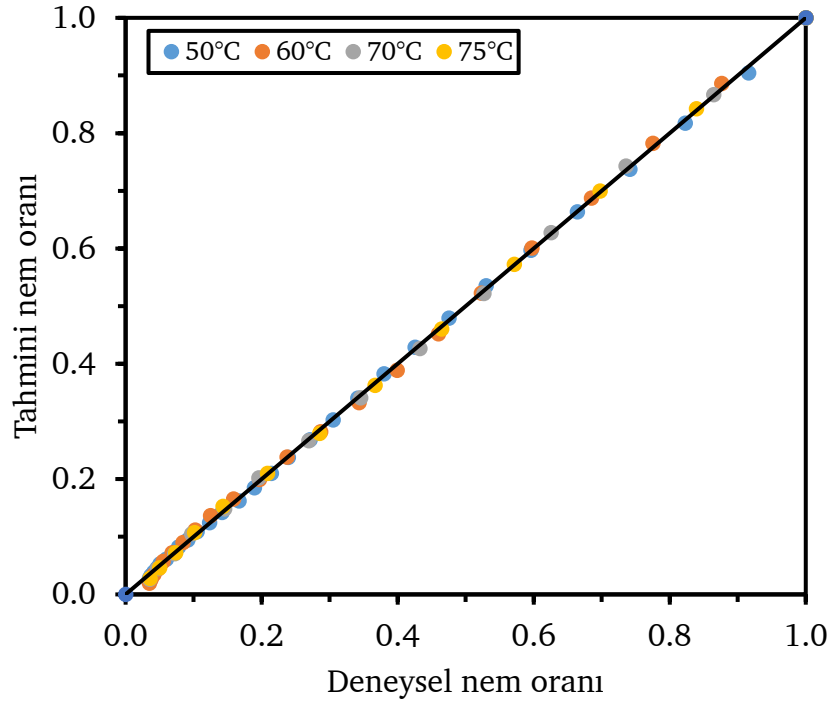
T (°C)	Kod	Model ismi	R ²	P	χ^2	RMSE
70	SA	Lewis	0.9802	35.4952	0.002037	0.145643
		Henderson & Pabis	0.9843	31.0728	0.001745	0.130519
		Logaritmik	0.9981	10.6768	0.000227	0.041733
		Page	0.9971	10.7485	0.000318	0.053580
		Midilli & Küçük	0.9990	6.5353	0.000129	0.031650
		Aghbashlo vd.	0.9997	3.5989	0.000028	0.015706
		Jena & Das	0.9929	20.1016	0.000858	0.090035
		Vega & Lemus	0.9993	8.5752	0.000082	0.022855
		Lojistik	0.8881	89.0485	0.013598	0.356947
	As+SD	Lewis	0.9797	35.9625	0.002098	0.167310
		Henderson & Pabis	0.9852	29.5882	0.001621	0.142972
		Logaritmik	0.9953	17.8280	0.000554	0.076703
		Page	0.9987	5.8772	0.000134	0.036746
		Midilli & Küçük	0.9990	6.7865	0.000117	0.035122
		Aghbashlo vd.	0.9988	10.7889	0.000125	0.033210
		Jena & Das	0.9950	15.2367	0.000586	0.081517
		Vega & Lemus	0.9973	19.0609	0.000289	0.049349
		Lojistik	0.8817	101.8377	0.013952	0.412137
	Kontrol	Lewis	0.9757	38.4331	0.002478	0.186426
		Henderson & Pabis	0.9820	32.1831	0.001947	0.161684
		Logaritmik	0.9959	16.3374	0.000473	0.073896
		Page	0.9978	7.2945	0.000233	0.050425
		Midilli & Küçük	0.9987	7.7069	0.000150	0.040937
		Aghbashlo vd.	0.9993	8.2120	0.000076	0.025040
		Jena & Das	0.9927	19.0506	0.000845	0.102924
		Vega & Lemus	0.9958	12.5979	0.000163	0.036532
		Lojistik	0.8781	95.8247	0.014091	0.422095

Tablo 5.6 75°C sıcaklıkta yapılan kurutma için istatistiksel analiz sonuçları

T (°C)	Kod	Model ismi	R ²	P	χ^2	RMSE
75	SA	Lewis	0.9865	29.1284	0.001383	0.116824
		Henderson & Pabis	0.9892	25.5718	0.001207	0.106213
		Logaritmik	0.9984	9.6969	0.000186	0.036093
		Page	0.9981	8.6076	0.000212	0.042111
		Midilli & Küçük	0.9992	5.9486	0.000103	0.027083
		Aghbashlo vd.	0.9998	3.7375	0.000026	0.013851
		Jena & Das	0.9954	15.6876	0.000560	0.067858
		Vega & Lemus	0.9979	13.6309	0.000235	0.040962
		Lojistik	0.8980	84.4663	0.012564	0.327128
	As+SD	Lewis	0.9772	36.5704	0.002337	0.162294
		Henderson & Pabis	0.9826	31.3978	0.001917	0.142192
		Logaritmik	0.9978	11.6467	0.000257	0.048709
		Page	0.9975	9.8472	0.000266	0.050849
		Midilli & Küçük	0.9992	6.4991	0.000098	0.029080
		Aghbashlo vd.	0.9998	3.9812	0.000018	0.010477
		Jena & Das	0.9927	19.7639	0.000863	0.092955
		Vega & Lemus	0.9994	7.0609	0.000062	0.018192
		Lojistik	0.8838	87.7202	0.013920	0.373816
	Kontrol	Lewis	0.9756	37.4198	0.002495	0.174428
		Henderson & Pabis	0.9818	31.9111	0.001992	0.152921
		Logaritmik	0.9972	12.6848	0.000321	0.054542
		Page	0.9976	9.2939	0.000254	0.052842
		Midilli & Küçük	0.9990	6.6554	0.000117	0.033287
		Aghbashlo vd.	0.9996	5.7681	0.000041	0.018483
		Jena & Das	0.9926	19.6700	0.000867	0.097675
		Vega & Lemus	0.9991	8.9623	0.000093	0.026197
		Lojistik	0.9989	6.3120	0.000121	0.036073

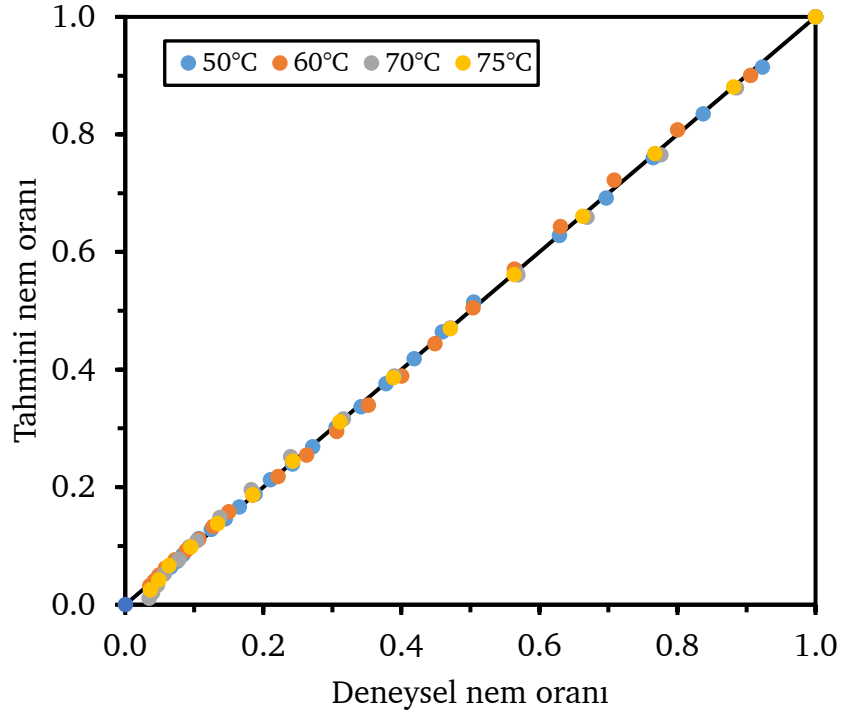
Tablolar incelendiğinde en yüksek R² ve en düşük P, χ^2 ve RMSE değerleri ile kurutma prosesine en uygun ince-tabaka kurutma modeli Aghbashlo vd. olarak belirlenmiştir. Aghbashlo vd. modeli için R², P, χ^2 ve RMSE değerleri sırası ile 0.9988-0.9998, 2.5246-10.7889, 0.000013-0.000125 ve 0.010477-0.033210 arasında değişkenlik göstermiştir. Kurutma prosesinden elde edilen deneysel veriler ile Aghbashlo vd. ince-tabaka kurutma modeli kullanılarak elde edilen tahmini veriler SA, As+SD ve Kontrol örnekleri için kıyaslanmış ve ilgili grafikler Şekil 5.10, 5.11 ve 5.12 ile gösterilmiştir. Deneysel veriler ile tahmin edilen

verilerin düz bir çizgi üzerinde yer alması Aghbashlo vd. ince-tabaka kurutma modelinin kurutma prosesine uygunluğunu kanıtlamaktadır.

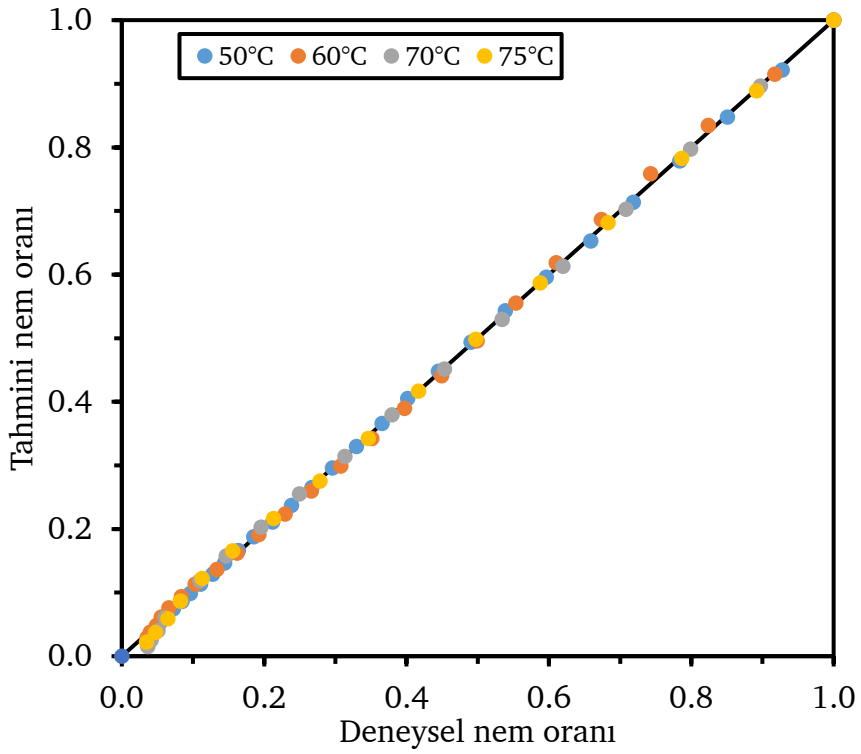


Şekil 5.10 SA kodlu örneklere ait deneysel verilerin Aghbashlo vd. modeli için hesaplanmış olan tahmini veriler ile kıyaslanması

Daha önce yapılan çalışmalarda Aghbashlo vd. ince-tabaka kurutma modeli elma [60], semizotu [61], ananas dilimleri [62], noni meyvesi [63], kayısı posası [64] ve Faba fasülyesi [65] gibi tarımsal ürünlerin kurutma kinetiklerinin modellenmesinde en uygun ince-tabaka modeli olarak belirlenmiştir.



Şekil 5.11 As+SD kodlu örneklere ait deneysel verilerin Aghbashlo vd. modeli için hesaplanmış olan tahmini veriler ile kıyaslanması



Şekil 5.12 Kontrol kodlu örneklere ait deneysel verilerin Aghbashlo vd. modeli için hesaplanmış olan tahmini veriler ile kıyaslanması

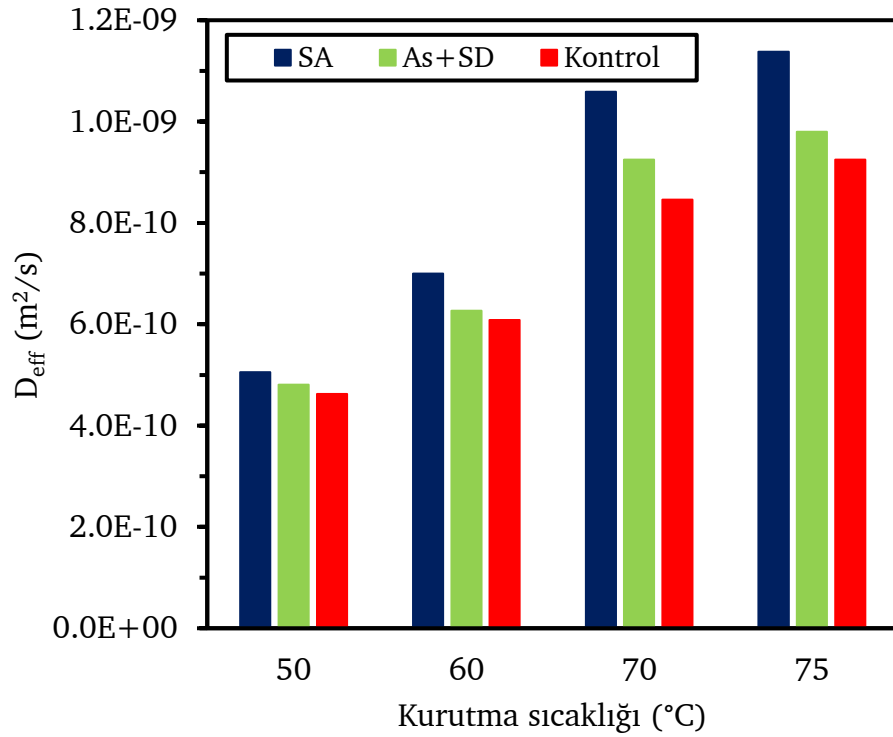
5.1.5 Efektif Difüzyon Katsayısının Hesaplanması

Kivi dilimlerinin kurutulması esnasında nemin yüzeye taşınma hızını ifade eden efektif difüzyon katsayısı Eşitlik (4.12) kullanılarak hesaplanmış ve hesaplanan efektif difüzyon katsayısı değerleri Tablo 5.7 ile gösterilmiştir.

Tablo 5.7 Farklı sıcaklık ve ön-işlem uygulamaları için hesaplanan D_{eff} değerleri

D_{eff} (m^2/s)			
Kurutma sıcaklığı ($^{\circ}\text{C}$)	SA	As+SD	Kontrol
50	5.050×10^{-10}	4.807×10^{-10}	4.624×10^{-10}
60	6.998×10^{-10}	6.268×10^{-10}	6.085×10^{-10}
70	1.058×10^{-9}	9.249×10^{-10}	8.458×10^{-10}
75	1.137×10^{-9}	9.797×10^{-10}	9.249×10^{-10}

Hesaplanmış olan efektif difüzyon katsayıları Şekil 5.13 ile gösterilmiştir. Literatürde yapılan çalışmalar incelendiğinde farklı tarımsal ürünlerin kurutulması sonucunda hesaplanan efektif difüzyon katsayıları benzerlik göstermektedir. Mango dilimlerinin [66], tatlı patates dilimlerinin [67] ve yeşil mikroalglerin [68] sıcak hava kurutma yöntemi ile kurutulması sonucunda hesaplanan efektif difüzyon katsayıları sırası ile 4.97×10^{-10} - 10.83×10^{-10} , 1.02×10^{-8} - 2.19×10^{-8} ve 5.91×10^{-10} - 1.10×10^{-10} m^2/s aralığında değiştiği bildirilmiştir.

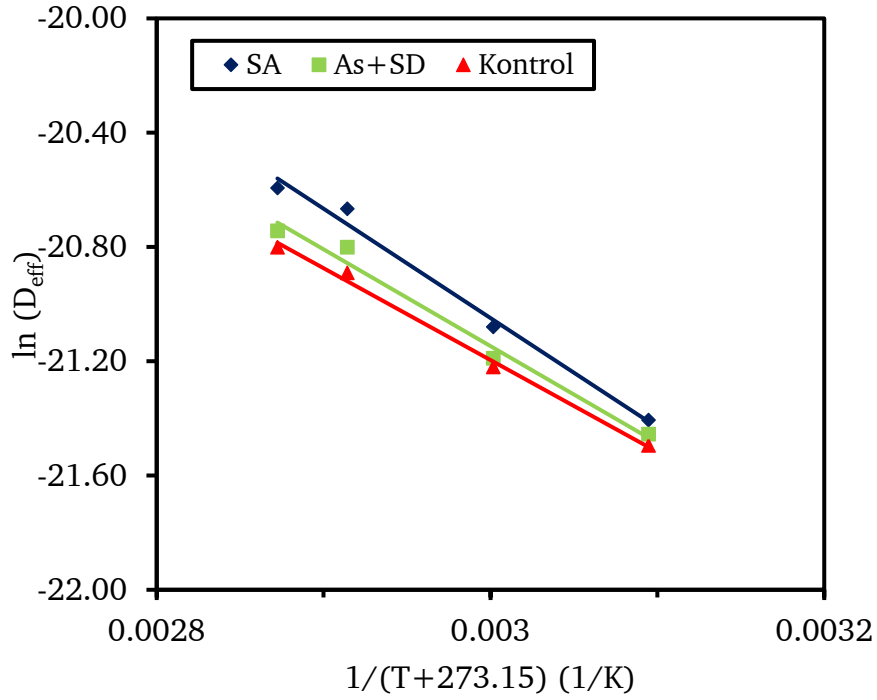


Şekil 5.13 Değişik sıcaklıklarda farklı ön-işlem çözeltileri ile muamele edilerek kurutulmuş kivi dilimlerinin D_{eff} değerlerinin değişimi

Tablo 5.7 incelendiğinde efektif difüzyon katsayısı değerlerinin kurutma sıcaklığının artması ile arttığı görülmektedir. Ayrıca ön-işlem uygulamasının kurutma prosesi esnasında, gıda içerisindeki suyun difüzyonunu arttırdığından SA ve As+SD çözeltileri ile muamele edilmiş örnekler için hesaplanmış olan efektif difüzyon katsayıları da Kontrol örneklerine göre daha yüksek olduğu açıkça görülmektedir.

5.1.6 Aktivasyon Enerjisinin Hesaplanması

Sıcak hava kurutma yöntemi ile kurutulan kivi dilimleri için aktivasyon enerjisi değerleri Eşitlik (4.13) kullanılarak hesaplanmıştır. İlgili eşitlikten yola çıkarak $(1/T+273.15)$ değerlerine karşılık $\ln(D_{eff})$ değerleri arasında bir grafik çizilmiş ve Şekil 5.14 ile gösterilmiştir.



Şekil 5.14 Sıcak hava kullanılarak kurutulan kivi dilimleri için kurutma sıcaklığının efektif difüzyon katsayısına etkisi

Şekil 5.14 ile gösterilen grafikteki doğruların eğimi E_a/R eşitliği ile ifade edilir. Bu eşitlik kullanılarak SA, As+SD ve Kontrol grubu numuneleri için aktivasyon enerjisi değerleri sırası ile 31.81, 28.15 ve 26.73 kJ/mol olarak hesaplanmıştır.

Kaya vd. [69], kivi dilimlerini sıcak hava kurutma yöntemi ile farklı hava hızlarında kurutmuştur. 0.3-0.9 m/s arasında değişen hava hızları için hesaplanan aktivasyon enerjisi değeri 27.707-29.117 kJ/mol arasında bulunmuş ve bu değerler bu çalışmada hesaplanan ve yukarıda verilen değerlere yakın olduğu gözlenmiştir. Ayrıca, bamya [70], patates dilimleri [71] ve havuç [72] gibi farklı tarımsal ürünler için hesaplanan aktivasyon enerjisi değerleri sırası ile 51.26, 39.49 ve 28.36 kJ/mol olarak literatürde yer almıştır.

5.1.7 Sıcak Hava ile Kurutulan Örnekler için Renk Değerleri

Sıcak hava kurutma yöntemi ile 50, 60, 70 ve 75°C kurutma havası sıcaklıklarında kurutulmuş olan kivi dilimlerinin renk değerleri (L, a ve b) incelenmiştir. Taze kivi dilimleri için L, a ve b değerleri sırası ile 57.99, -11.03 ve 23.22 olarak ölçülmüştür. Ön-işlem çözeltilerinin ve sıcaklığın kivi dilimlerinin renk değerlerine bir etkinliği olup olmadığı araştırılmıştır. Farklı sıcaklık

değerlerinde kurutulmuş olan SA, As+SD ve Kontrol örnekleri için renk değerleri sırası ile Tablo 5.8, 5.9 ve 5.10 ile gösterilmiştir.

Tablo 5.8 SA kodlu örnekler için renk ölçümleri

Sıcaklık (°C)	L	a	b	C	ΔE
50	51.60	5.78	23.33	24.03	22.46
60	49.72	6.06	23.88	24.69	23.75
70	49.11	6.50	24.08	24.94	24.38
75	48.51	6.98	24.92	25.87	24.82

Tablo 5.8 incelendiğinde kurutma sıcaklığının yükselmesi ile L değerlerinin düştüğü a değerlerinin ise arttığı gözlemlenmiştir. Ayrıca pozitif değerleri sarı rengini ifade eden b değerlerinin de artan kurutma sıcaklığı ile yükseldiği gözlemlenmiştir. Toplam renk değişim katsayısı incelendiğinde kurutma prosesi ile birlikte kivi dilimlerinde renk değişiminin olduğu ve kurutma sıcaklığının artması ile toplam renk değişiminin de arttığı gözlemlenmiştir.

Tablo 5.9 As+SD kodlu örnekler için renk ölçümleri

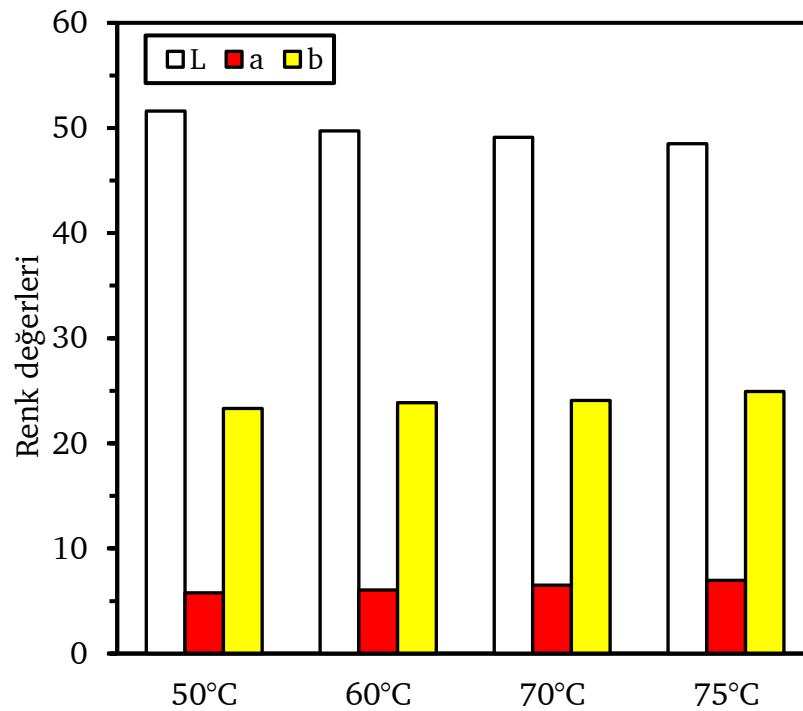
Sıcaklık (°C)	L	a	b	C	E
50	50.84	5.97	24.08	24.80	19.20
60	49.58	6.11	24.62	25.36	19.86
70	48.58	6.76	25.34	26.24	20.93
75	48.15	6.99	25.92	26.84	21.40

Tablo 5.9 incelendiğinde As+SD ile muamele edilmiş örneklerin farklı kurutma sıcaklıkları için elde edilmiş renk değerleri görülmektedir. SA ile muamele edilmiş örneklerde olduğu gibi kurutma sıcaklığının artması ile L değerleri azalmış ve a değerleri artmıştır. Ancak As+SD örneklerinin SA örneklerine göre L değerinin daha düşük a değerlerinin ise daha yüksek olduğu görülmüştür. Genel anlamda SA ile muamele edilerek kurutulan örneklerin renklerinin As+SD örneklerine göre daha parlak olduğu söylenebilir.

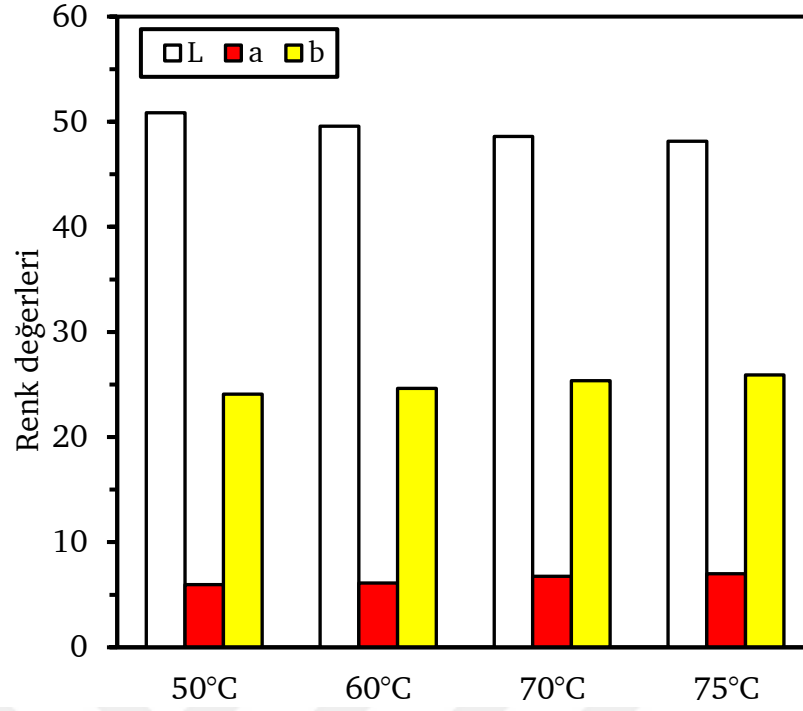
Tablo 5.10 Kontrol kodlu örnekleri için renk ölçümleri

Sıcaklık (°C)	L	a	b	C	E
50	50.36	6.24	23.49	24.30	19.61
60	48.50	6.48	23.69	24.55	20.62
70	47.38	7.76	24.39	25.58	22.28
75	44.74	8.24	24.79	26.12	24.10

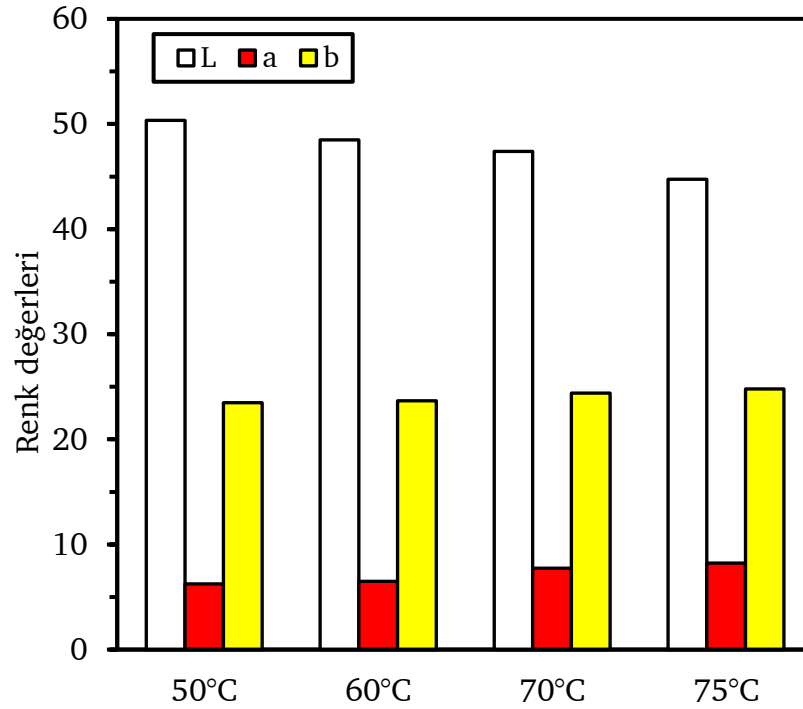
Kontrol örnekleri için çizilmiş olan Tablo 5.10 incelendiğinde elde edilmiş renk değerlerinin Tablo 5.8 ve 5.9 ile benzer olduğu saptanmıştır. Ancak herhangi bir çözelti ile ön-işlem yapılmamış olan Kontrol örneklerinin L değerinin SA ve As+SD örneklerine göre çok daha düşük olduğu ve a değerinin daha yüksektir. Ayrıca farklı sıcaklıklarda gerçekleştirilen kurutma prosesinde SA, As+SD ve Kontrol örnekleri için L, a ve b değerinin değişimini gösteren grafikler sırası ile Şekil 5.15, 5.16 ve 5.17 ile gösterilmiştir.



Şekil 5.15 SA kodlu örnekler için renk analizi



Şekil 5.16 As+SD kodlu örnekler için renk analizi

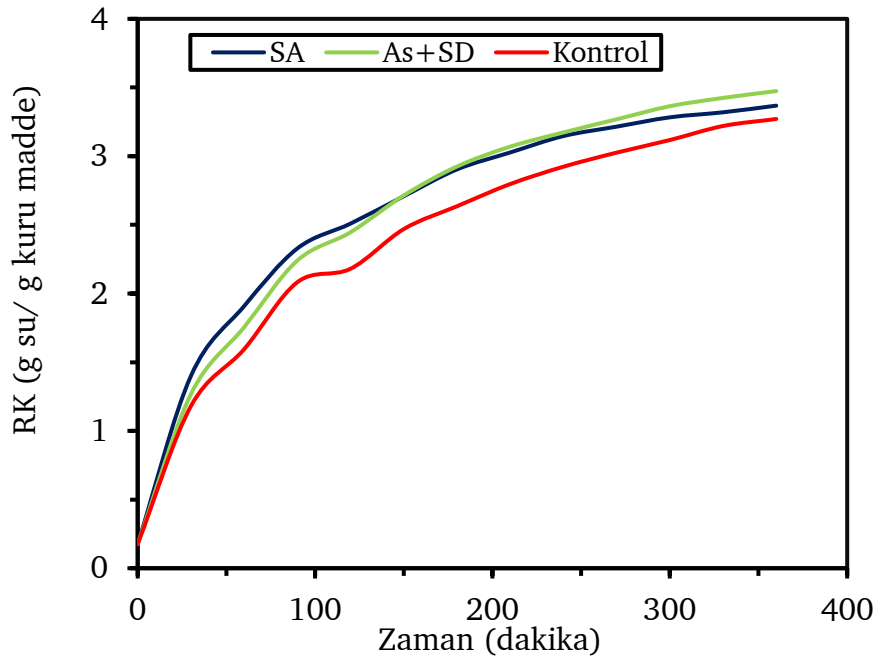


Şekil 5.17 Kontrol kodlu örnekler için renk analizi

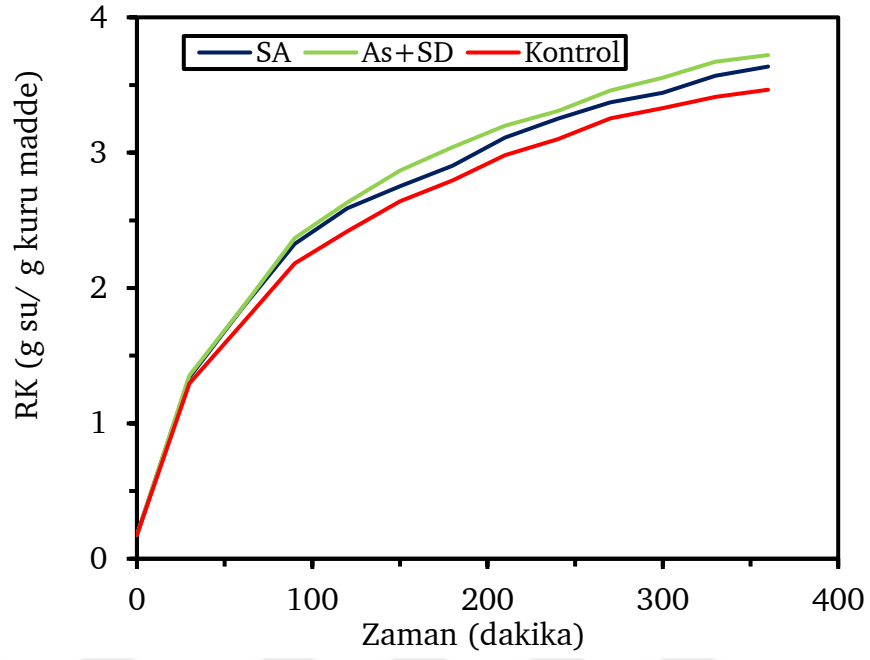
Kivi dilimlerinin sıcak hava yöntemi ile kurutulup renk parametrelerinin incelenmesi ile ilgili literatürde bazı çalışmalar vardır [73]-[76]. Bu çalışmalardan elde edilen sonuçlar çalışmamız ile örtüşmektedir.

5.1.8 Sıcak Hava ile Kurutulan Örnekler için Rehidrasyon Kapasitesi

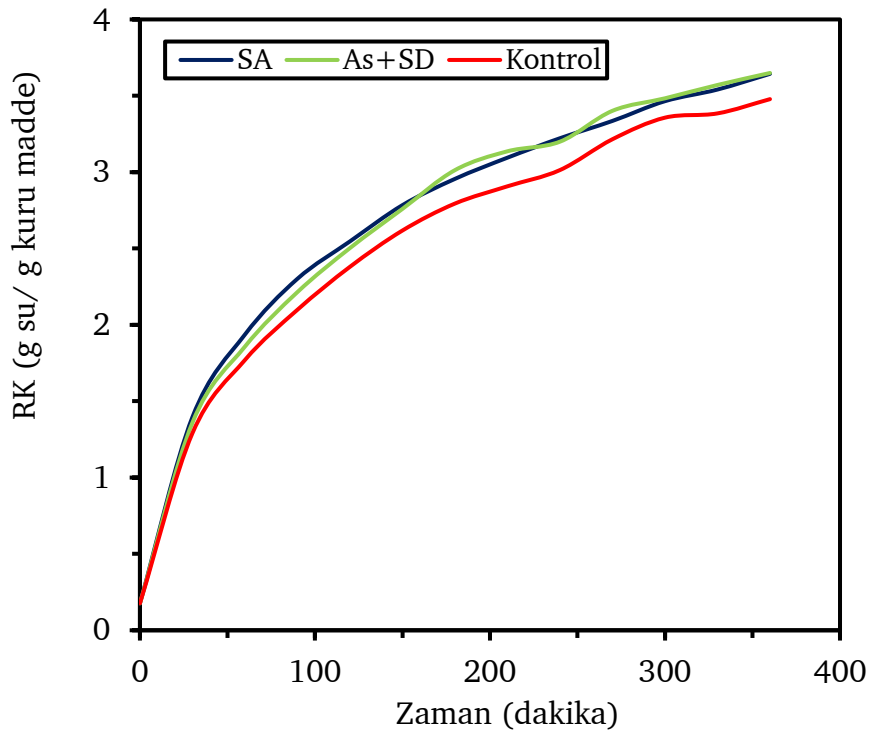
Sıcak hava kurutma prosesi ile 50, 60, 70 ve 75°C sıcaklıklarda kurutulmuş kivi dilimlerinin rehidrasyon kapasiteleri incelenmiştir. Kurutulmuş bir maddenin rehidrasyon yani suyu geri çekme yeteneği ne kadar yüksek olursa kurutma prosesinin o denli başarılı gerçekleştirilmiş olduğu varsayılmaktadır. Tüketiciler de kuru gıda satın alırken genellikle daha yüksek rehidrasyon kapasitesine sahip ürünleri tercih etmektedirler. Bunun sebebi suya atılan kuru gıda maddesi, ilk içerdiği nem oranına ne kadar yaklaşırsa tadı, görüntüsü ve şekli de taze haline o kadar yaklaşmaktadır. Yani gıdaların rehidrasyon kapasitesi tüketiciler için bir kalite unsuru olmaktadır. Genellikle ön-işlem görerek kurutulmuş gıda maddelerinin rehidrasyon kapasiteleri işlem görmemiş örneklerle göre daha yüksek olmaktadır. Kurutulmuş olan kivi dilimlerinin rehidrasyon kapasiteleri Eitlik (4.17) kullanılarak hesaplanmıştır. 50, 60, 70 ve 75°C sıcaklık değerleri ve SA, As+SD ve Kontrol kodlu kivi dilimleri için zamana bağlı rehidrasyon kapasitelerinin olduğu grafikler Şekil 5.18, 5.19, 5.20 ve 5.21 ile gösterilmiştir.



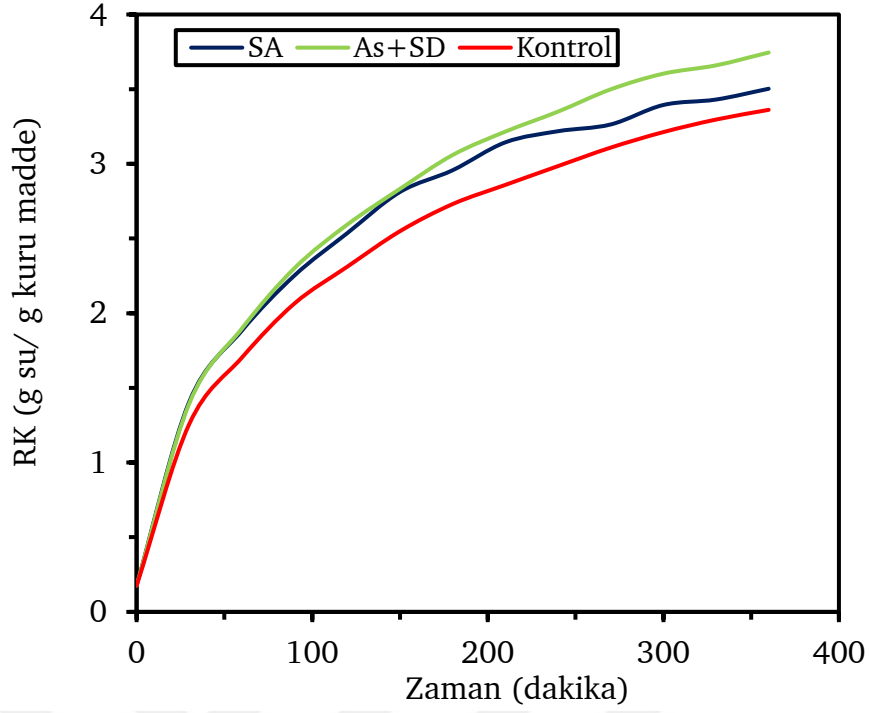
Şekil 5.18 50°C'ta kurutulmuş kivi dilimlerinin zamana bağlı rehidrasyon kapasitesi



Şekil 5.19 60°C'ta kurutulmuş kivi dilimlerinin zamana bağlı rehidrasyon kapasitesi

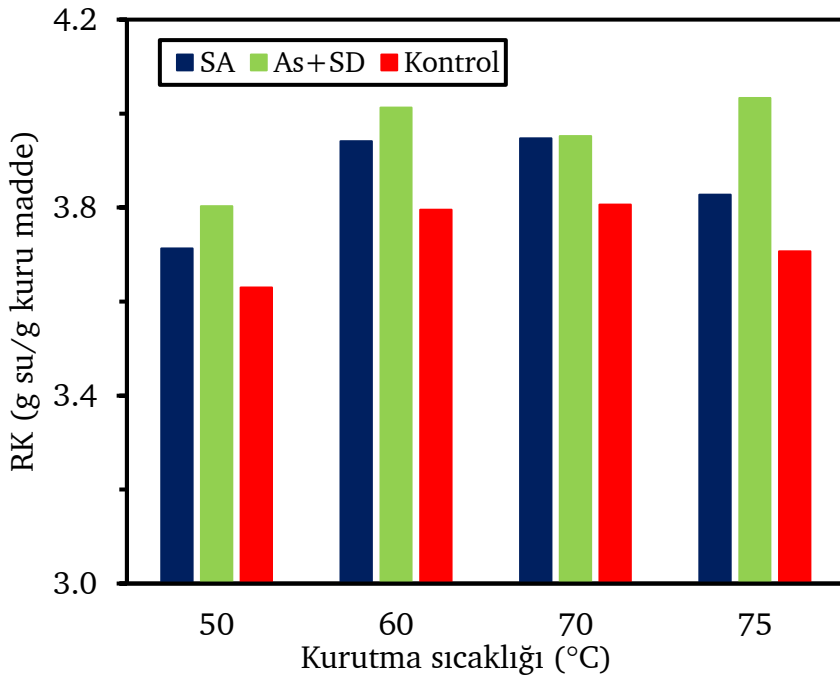


Şekil 5.20 70°C'ta kurutulmuş kivi dilimlerinin zamana bağlı rehidrasyon kapasitesi



Şekil 5.21 75°C'ta kurutulmuş kivi dilimlerinin zamana bağlı rehidrasyon kapasitesi

Kivi dilimlerinin 6 saat süren rehidrasyon prosesi sonucunda toplam rehidrasyon kapasitelerinin verildiği sütun grafiği Şekil 5.22 ile gösterimiştir.



Şekil 5.22 Kurutulmuş kivi dilimleri için toplam rehidrasyon kapasiteleri

Şekil 5.18 -5.21 incelenirse tüm sıcaklıklar için rehidrasyon kapasitesinin 3'ün üzerine çıktığı açıkça görülmektedir. Ayrıca SA ve As+SD ile muamele edilmiş kivi dilimlerinin tüm sıcaklıklarda rehidrasyon kapasitesi Kontrol kivi dilimlerine göre daha yüksek olduğu saptanmıştır. En yüksek rehidrasyon kapasitesine 75°C'ta kurutulmuş ve As+SD çözeltisi ile muamele edilmiş kivi dilimlerinde 4.0334 g su/g kuru madde seviyesine erişilmiştir.

5.2 İnfrared Kurutma Yöntemi ile Gerçekleştirilen Deneyler

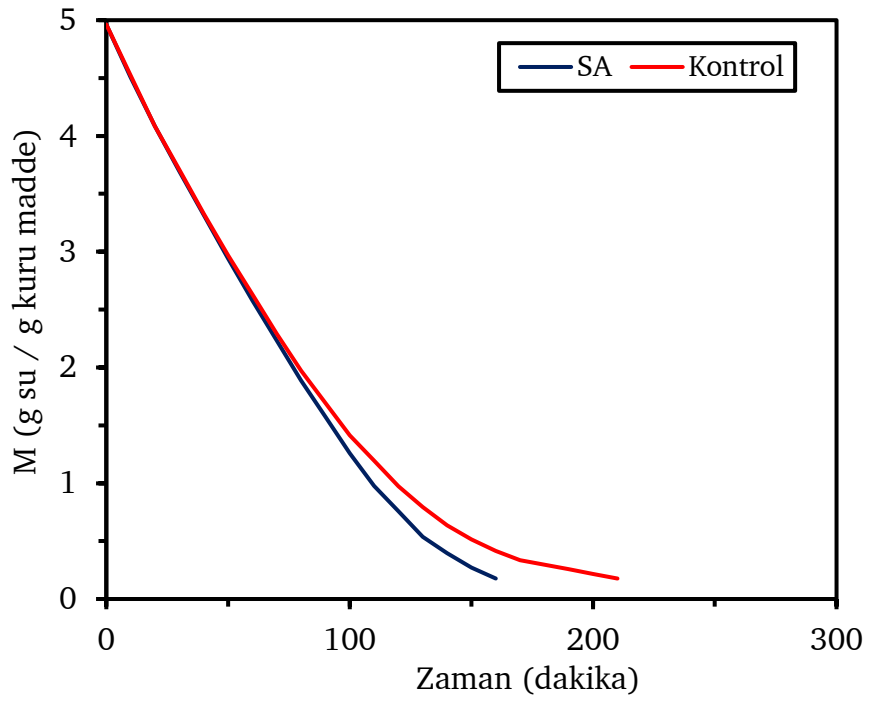
5.2.1 IR Güç Seviyesinin ve Ön-İşlem Uygulamalarının Kurutma Süresine Etkisi

İnfrared kurutucunun güç seviyesi kurutma süresini doğrudan etkileyen bir parametredir. İnfrared kurutucunun farklı güç seviyelerinde gerçekleştirilen kurutma prosesi için kaydedilen kurutma zamanları Tablo 5.11 ile gösterilmiştir.

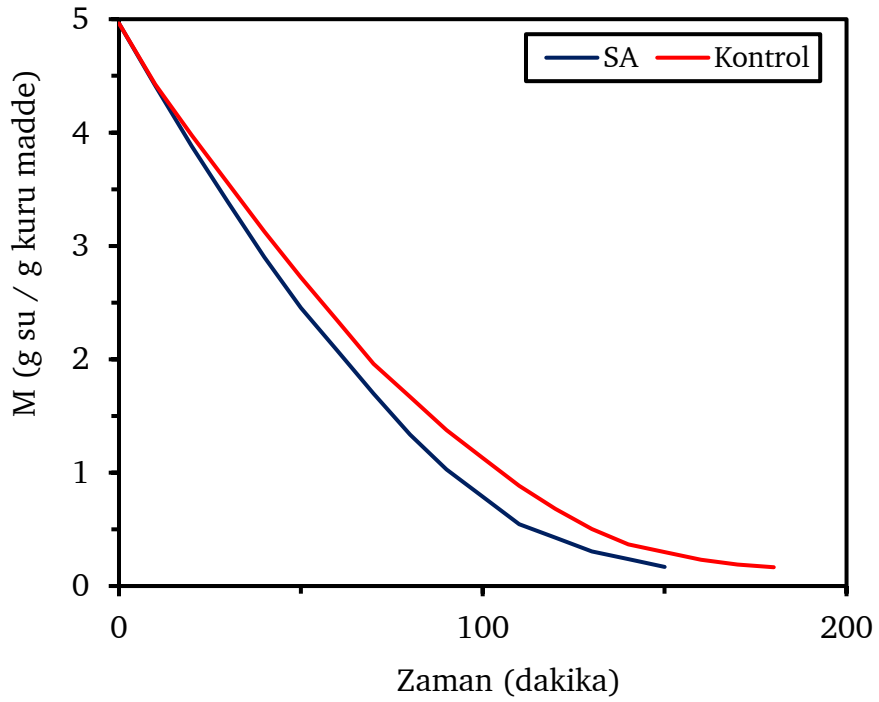
Tablo 5.11 Farklı infrared güçleri ve ön-işlem uygulaması için kurutma zamanları

İnfrared kurutucunun gücü (W)	Kurutma zamanı (dakika)	
	SA	Kontrol
38	160	210
50	150	180
62	120	140
74	100	120
88	90	110

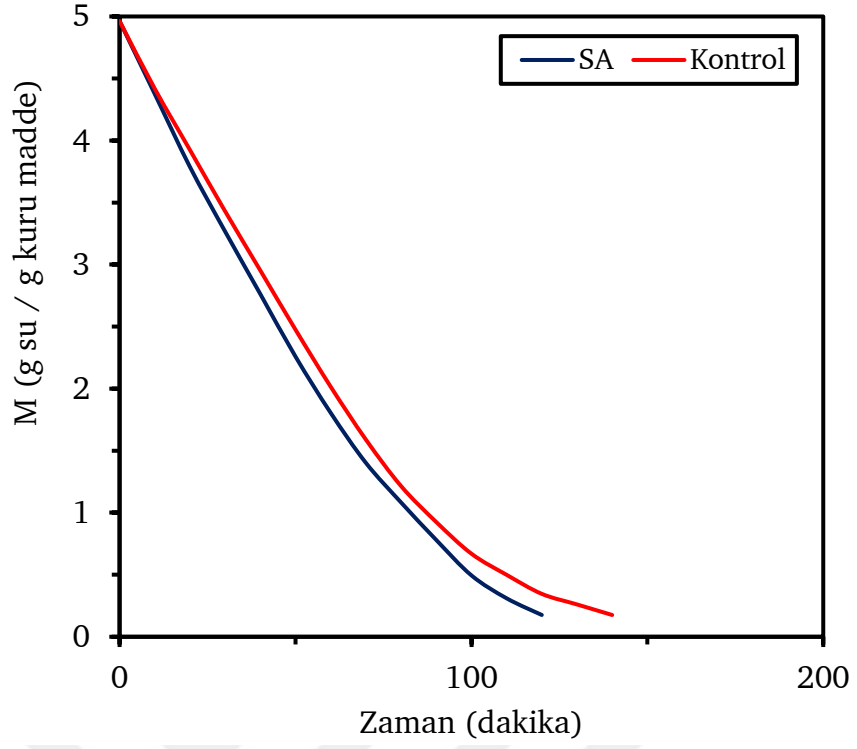
Tablo 5.11 incelendiğinde infrared gücün artırılması sonucunda kurutma zamanı kısalmıştır. Ayrıca sitrik asit çözeltisi uygulanan örneklerin kurutma zamanları Kontrol örneklerine göre daha kısa olduğu gözlemlenmiştir. Farklı infrared güçlerinde gerçekleştirilen kurutma proseslerindeki nem içeriklerinin zamanla değişimi gösteren grafikler Şekil 5.23 -5.27 ile ifade edilmiştir.



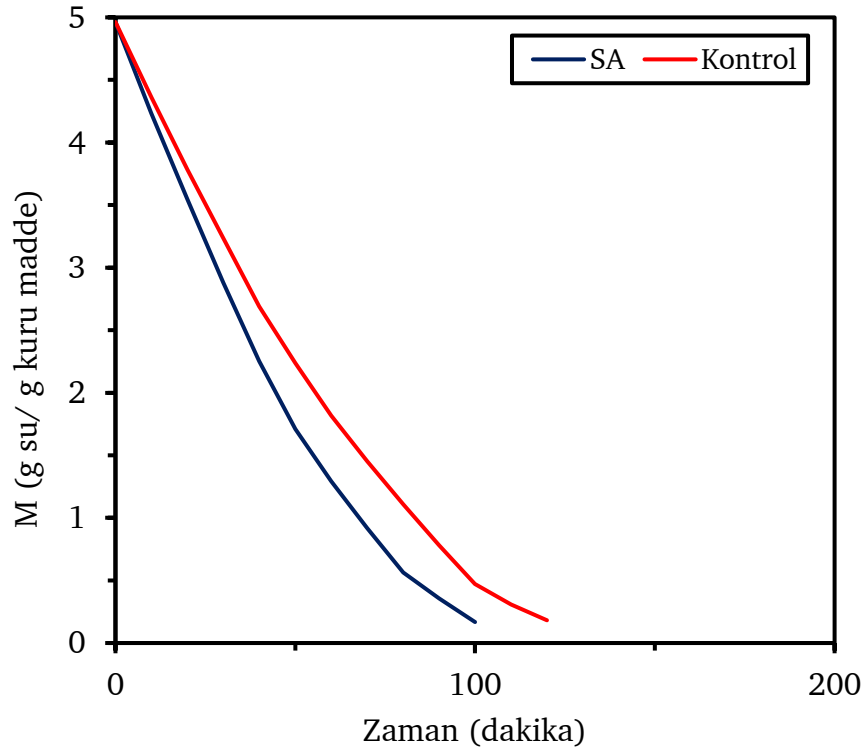
Şekil 5.23 38 W infrared gücünde gerçekleştirilen kurutma prosesi için zamana bağlı nem içerikleri



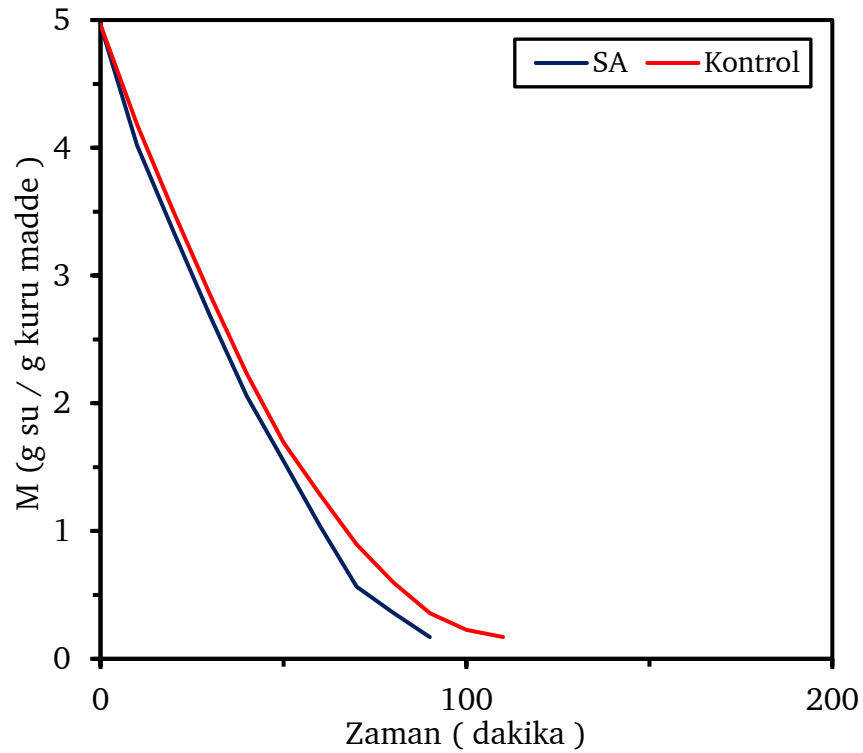
Şekil 5.24 50 W infrared gücünde gerçekleştirilen kurutma prosesi için zamana bağlı nem içerikleri



Şekil 5.25 62 W infrared gücünde gerçekleştirilen kurutma prosesi için zamana bağlı nem içerikleri



Şekil 5.26 74 W infrared gücünde gerçekleştirilen kurutma prosesi için zamana bağlı nem içerikleri

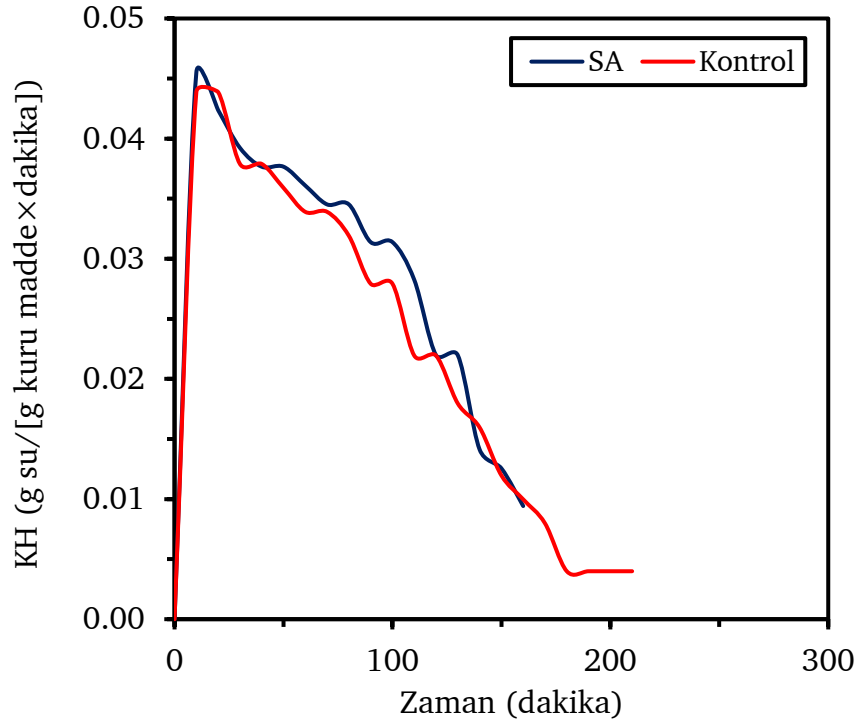


Şekil 5.27 88 W infrared gücünde gerçekleştirilen kurutma prosesi için zamana bağlı nem içerikleri

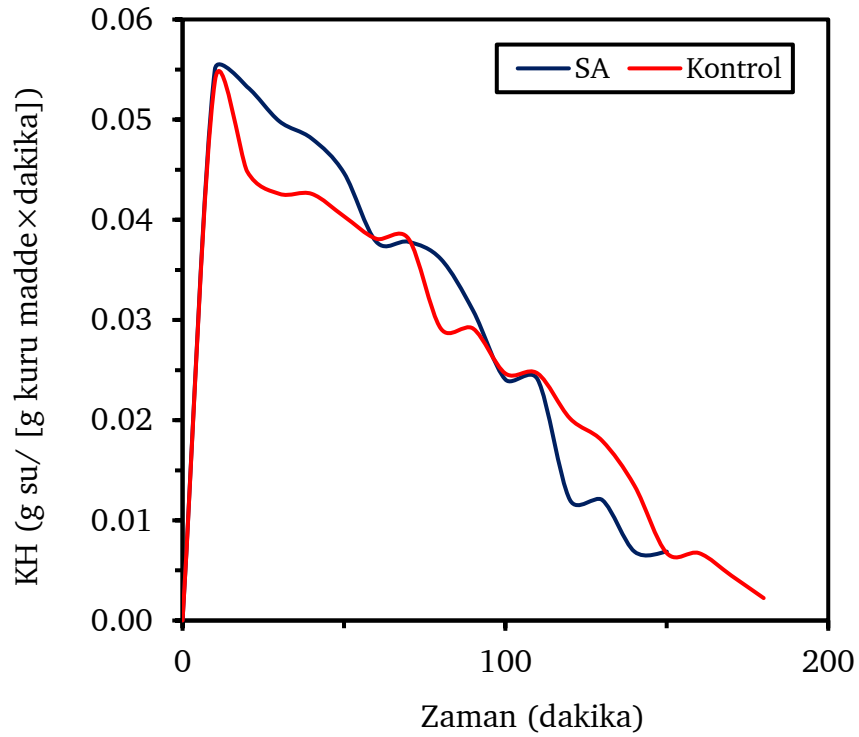
Grafikler incelendiğinde sitrik asit çözeltisine batırılmış kivi dilimlerinin nem içeriğinin daha hızlı azaldığı açıkça görülmektedir. Bunun sebebi sitrik asit çözeltisinin, kivin yapısında bulunan ve iç tabakalarda bulunan suyun yüzeye taşınmasında kullanılan mikro kanalcıkları genişleterek suyun çıkışını hızlandırdığı olarak düşünülebilir. İnfrared kurutma gücünün kurutma zamanına etkisinin incelendiği birçok çalışma literatürde yer almaktadır. Çilek [77], patates dilimleri [13], jak meyvesi [78] ve yaban mersini [79] infrared kurutma yöntemi ile kurutulmuş ve yapılan çalışmalar sonucunda infrared gücün artması ile kurutma zamanının kısaldığı bildirilmiştir.

5.2.2 İnfrared Kurutma Gücünün Kurutma Hızına Etkisi

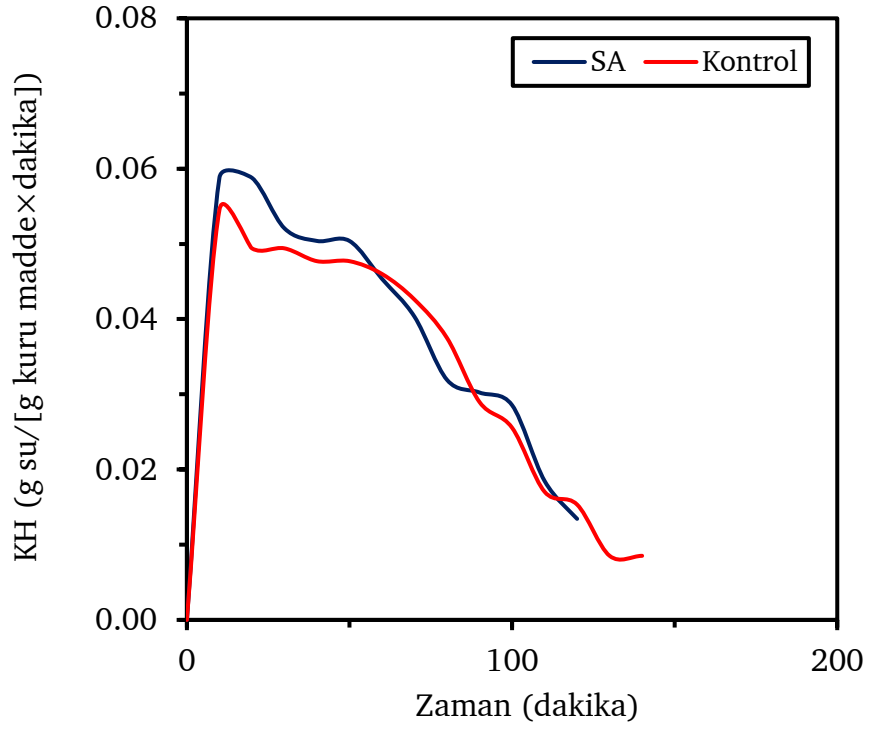
IR gücünün artması ile kurutma hızı da artmıştır. Farklı infrared güçlerinde SA ve Kontrol grubu için yapılan kurutma deneyleri için zamana bağlı kurutma hızı grafikleri Şekil 5.28 -5.32 ile gösterilmiştir.



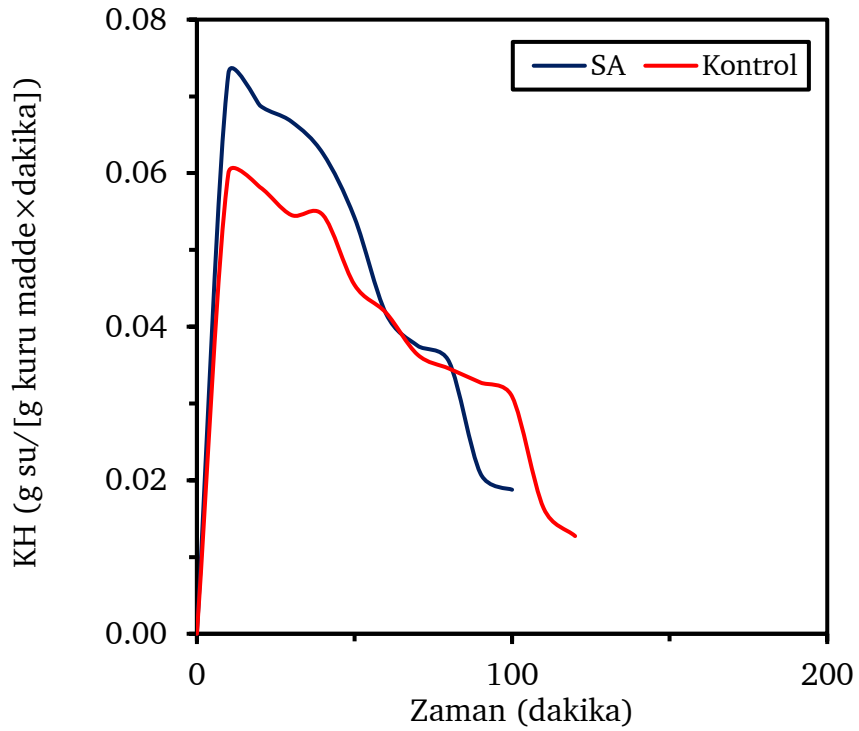
Şekil 5.28 38 W infrared gücünde gerçekleştirilen kurutma prosesi için zamana bağlı kurutma hızları



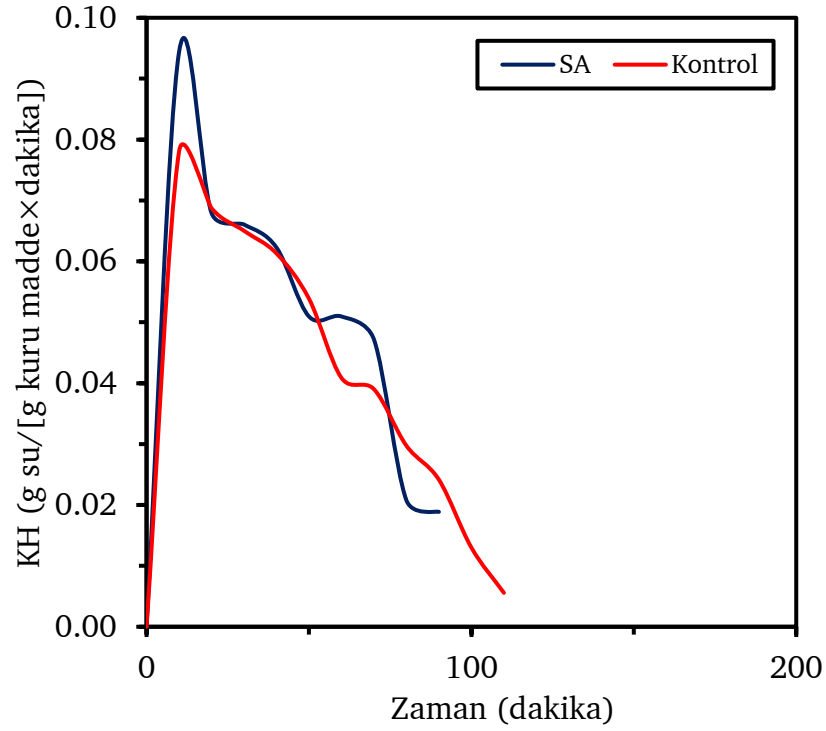
Şekil 5.29 50 W infrared gücünde gerçekleştirilen kurutma prosesi için zamana bağlı kurutma hızları



Şekil 5.30 62 W infrared gücünde gerçekleştirilen kurutma prosesi için zamana bağlı kurutma hızları



Şekil 5.31 74 W infrared gücünde gerçekleştirilen kurutma prosesi için zamana bağlı kurutma hızları



Şekil 5.32 88 W infrared gücünde gerçekleştirilen kurutma prosesi için zamana bağlı kurutma hızları

Farklı infrared güçlerinde yapılan kurutma prosesinde kurutma hızı Kontrol grubu örnekler için 0.0438 ile 0.0780, SA ile muamele edilen örnekler için 0.0455 ile 0.0943 g su/[g kuru madde×dakika] aralığında değişmektedir. En yüksek kurutma hızı 88 W infrared gücünde gerçekleştirilen SA grubu örneklerde gözlemlenmiştir.

Literatürde yer alan, infrared kurutma gücünün kurutma hızına ve zamanına etkisi üzerine çalışmalarda da benzer sonuçlar elde edilmiştir [80, 81].

5.2.3 Kurutma Prosesinin Matematiksel Modellenmesi

İnfrared kurutma prosesi sonucunda elde edilen verilerin matematiksel modellemesi çalışması için Tablo 4.1 verilen ince-tabaka modelleri kullanılmıştır. İnce-tabaka modellerinin uyumluluğunun belirlenmesi için R^2 , P , χ^2 ve RMSE değerleri kullanılmıştır. R^2 değerinin yüksek, P , χ^2 ve RMSE değerlerinin düşük olması kullanılan ince-tabaka modelinin deneysel datalara uyumlu olduğunu ifade etmektedir. Modelleme sonucunda elde edilen veriler özet şeklinde Tablo 5.12, 5.13 ve 5.14 ile verilmiştir.

Yapılan matematiksel modelleme çalışmaları sonucunda en yüksek R^2 ve en düşük P , χ^2 ve RMSE değerleri ile kurutma prosesine en uygun ince-tabaka kurutma modeli Aghbashlo vd. seçilmiştir. Aghbashlo vd. Ince-tabaka kurutma modeli için R^2 , P , χ^2 ve RMSE değerleri sırası ile 0.9988-0.9999, 1.2208-8.1885, 0.000008-0.000145 ve 0.007912-0.028334 arasındaki değerlerde değişkenlik göstermiştir. Deneyde elde edilen veriler ile Aghbashlo vd. modeli kullanılarak tahmin edilen veriler arasında modelin uyumluluğunu göstermek amacı ile şekil 5.33 ve şekil 5.34 ile gösterilen grafikler çizilmiştir.



Tablo 5.12 38 ve 50 W güçlerinde gerçekleştirilen kurutma prosesi için istatistiksel analiz sonuçları

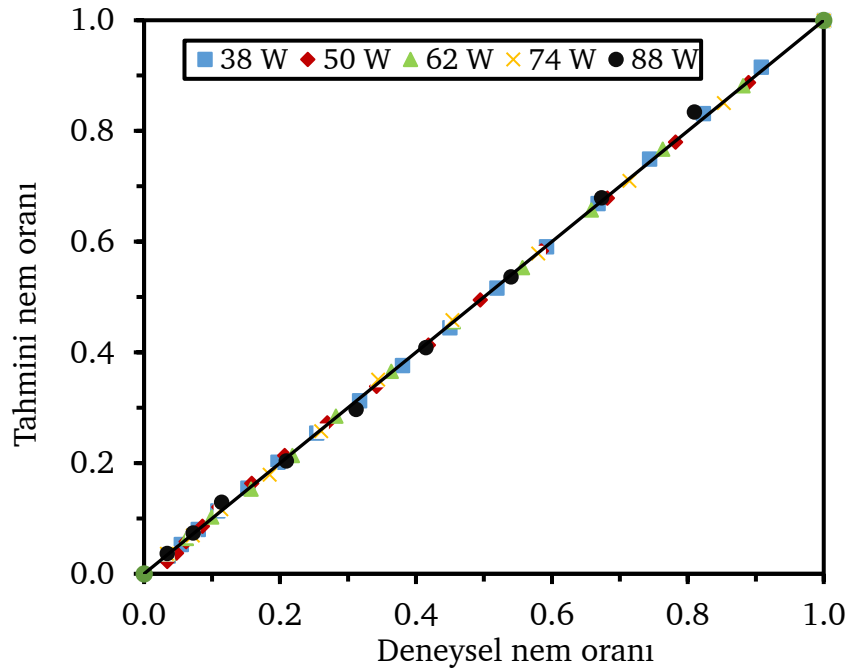
p (W)	Kod	Model ismi	R ²	P	χ^2	RMSE
38	SA	Lewis	0.9632	42.1603	0.003671	0.215862
		Henderson & Pabis	0.9716	36.6365	0.003030	0.192295
		Logaritmik	0.9982	9.2194	0.000205	0.045327
		Page	0.9946	13.7458	0.000576	0.080527
		Midilli & Küçük	0.9990	5.8809	0.000118	0.035510
		Aghbashlo vd.	0.9998	1.6709	0.000019	0.013911
		Jena & Das	0.9857	25.3193	0.001634	0.137029
		Vega & Lemus	0.9982	6.4293	0.000190	0.049115
		Lojistik	0.9976	81.8041	0.014791	0.407222
	Kontrol	Lewis	0.9805	31.3478	0.001883	0.180802
		Henderson & Pabis	0.9861	25.5216	0.001411	0.151979
		Logaritmik	0.9964	14.1706	0.000390	0.076411
		Page	0.9984	4.9231	0.000161	0.045806
		Midilli & Küçük	0.9990	5.9295	0.000111	0.038975
		Aghbashlo vd.	0.9992	8.1885	0.000084	0.032963
		Jena & Das	0.9945	14.4650	0.000591	0.096109
		Vega & Lemus	0.9975	15.4244	0.000250	0.051516
		Lojistik	0.8851	86.6549	0.012271	0.443339
50	SA	Lewis	0.9765	37.1410	0.002406	0.172487
		Henderson & Pabis	0.9824	31.5250	0.001932	0.149589
		Logaritmik	0.9973	12.4061	0.000319	0.054903
		Page	0.9977	8.8898	0.000249	0.050033
		Midilli & Küçük	0.9991	6.4724	0.000115	0.032778
		Aghbashlo vd.	0.9997	5.2030	0.000036	0.016892
		Jena & Das	0.9928	19.4441	0.000850	0.096538
		Vega & Lemus	0.9991	9.2275	0.000094	0.026573
		Lojistik	0.8820	89.8723	0.013941	0.392703
	Kontrol	Lewis	0.9786	38.1558	0.002130	0.174314
		Henderson & Pabis	0.9840	32.4570	0.001706	0.155159
		Logaritmik	0.9969	14.6520	0.000344	0.063999
		Page	0.9976	9.2653	0.000255	0.054752
		Midilli & Küçük	0.9989	7.4602	0.000131	0.037724
		Aghbashlo vd.	0.9996	6.5208	0.000044	0.021209
		Jena & Das	0.9928	20.2782	0.000801	0.102766
		Vega & Lemus	0.9988	12.0907	0.000128	0.033436
		Lojistik	0.8816	98.1933	0.013238	0.419790

Tablo 5.13 62 ve 74 W güçlerinde gerçekleştirilen kurutma prosesi için istatistiksel analiz sonuçları

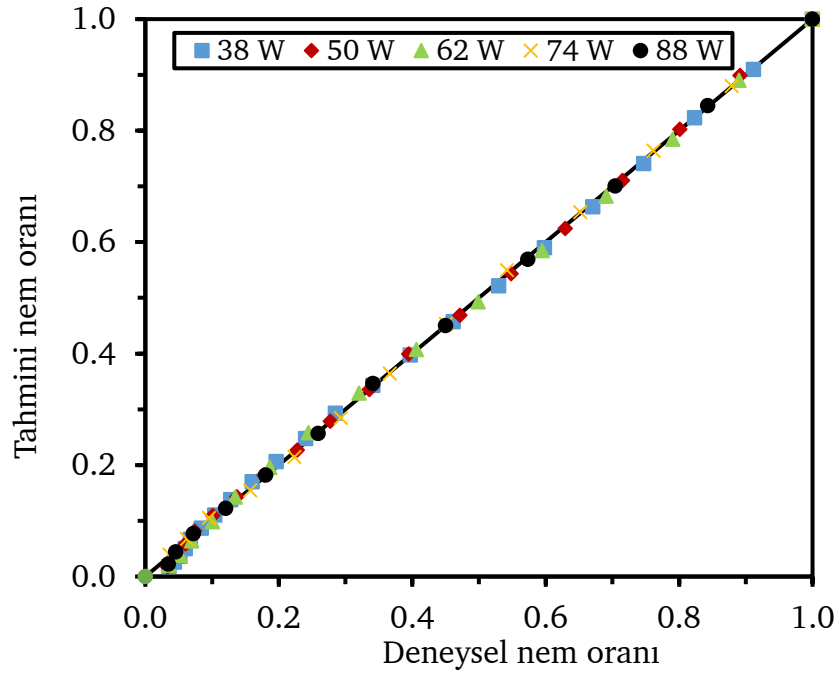
p (W)	Kod	Model ismi	R ²	P	χ^2	RMSE
62	SA	Lewis	0.9696	40.4179	0.003172	0.169734
		Henderson & Pabis	0.9764	35.1812	0.002688	0.147727
		Logaritmik	0.9988	7.4529	0.000153	0.034460
		Page	0.9963	13.2738	0.000419	0.057544
		Midilli & Küçük	0.9996	3.8836	0.000055	0.019045
		Aghbashlo vd.	0.9999	1.2208	0.000008	0.007912
		Jena & Das	0.9897	23.4758	0.001239	0.099611
		Vega & Lemus	0.9994	3.4035	0.000068	0.021610
		Lojistik	0.9764	35.1846	0.002958	0.147748
	Kontrol	Lewis	0.9685	40.1182	0.003336	0.194241
		Henderson & Pabis	0.9764	34.0613	0.002691	0.171008
		Logaritmik	0.9957	14.0585	0.000523	0.070612
		Page	0.9977	7.3788	0.000259	0.047255
		Midilli & Küçük	0.9990	5.4118	0.000139	0.034604
		Aghbashlo vd.	0.9992	7.0863	0.000088	0.028334
		Jena & Das	0.9908	20.1107	0.001139	0.105911
		Vega & Lemus	0.9984	7.7818	0.000179	0.043368
		Lojistik	0.8721	89.0875	0.015822	0.401161
74	SA	Lewis	0.9745	39.3199	0.002780	0.142953
		Henderson & Pabis	0.9799	34.6779	0.002429	0.129248
		Logaritmik	0.9987	7.4374	0.000173	0.033392
		Page	0.9975	12.6992	0.000301	0.044474
		Midilli & Küçük	0.9998	2.5368	0.000034	0.012250
		Aghbashlo vd.	0.9999	1.9662	0.000017	0.010756
		Jena & Das	0.9926	21.9419	0.001009	0.076822
		Vega & Lemus	0.9997	1.5993	0.000033	0.013960
		Lojistik	0.8844	86.5030	0.015720	0.318695
	Kontrol	Lewis	0.9717	39.3774	0.002929	0.161858
		Henderson & Pabis	0.9778	34.7183	0.002503	0.144021
		Logaritmik	0.9991	6.4840	0.000108	0.024121
		Page	0.9958	14.5884	0.000475	0.061269
		Midilli & Küçük	0.9996	4.8056	0.000057	0.017288
		Aghbashlo vd.	0.9997	2.8339	0.000035	0.015307
		Jena & Das	0.9899	23.9571	0.001257	0.099743
		Vega & Lemus	0.9995	3.7285	0.000054	0.019378
		Lojistik	0.9975	11.9774	0.000313	0.049906

Tablo 5.14 88 W gücünde gerçekleştirilen kurutma prosesi için istatistiksel analiz sonuçları

p (W)	Kod	Model ismi	R ²	P	χ^2	RMSE
88	SA	Lewis	0.9745	42.4242	0.002794	0.137914
		Henderson & Pabis	0.9778	38.9615	0.002739	0.131660
		Logaritmik	0.9984	9.3330	0.000220	0.030553
		Page	0.9934	17.7596	0.000807	0.069085
		Midilli & Küçük	0.9984	8.4086	0.000255	0.032427
		Aghbashlo vd.	0.9988	3.6435	0.000145	0.024951
		Jena & Das	0.9877	27.2321	0.001730	0.096553
		Vega & Lemus	0.9990	3.6065	0.000126	0.024072
		Lojistik	0.8855	90.7259	0.016126	0.300571
	Kontrol	Lewis	0.9791	38.8747	0.002275	0.137972
		Henderson & Pabis	0.9834	34.1250	0.001983	0.125701
		Logaritmik	0.9977	12.5474	0.000304	0.045658
		Page	0.9979	10.3547	0.000253	0.042441
		Midilli & Küçük	0.9993	6.9299	0.000110	0.025128
		Aghbashlo vd.	0.9998	4.2519	0.000024	0.011489
		Jena & Das	0.9937	20.6777	0.000838	0.076687
		Vega & Lemus	0.9993	8.5532	0.000084	0.018893
		Lojistik	0.8857	97.3742	0.015175	0.338328



Şekil 5.33 SA grubu kivi dilimleri için deneysel veriler ile Aghbashlo vd. modeli ile hesaplanmış olan tahmini verilerin kıyaslanması



Şekil 5.34 Kontrol grubu kivi dilimleri için deneysel veriler ile Aghbashlo vd. modeli ile hesaplanmış olan tahmini verilerin kıyaslanması

SA ile muamele edilen örnekler ve Kontrol grubu için çizilen her iki grafik incelendiğinde deneysel veriler ile Aghbashlo vd. modelinden tahmin edilen verilerin düz bir doğru üzerinde olduğu açıkça görülmektedir. Bu durum ince-tabaka kurutma modelinin deneysel veriler ile uygun olduğunu kanıtlamaktadır.

Literatürde yer alan çalışmalara göre, çeşitli meyve ve sebzelerin infrared kurutma yöntemi ile kurutulması sonucunda kurutma prosesine en uygun ince-tabaka modeli Aghbashlo vd. seçilmiştir [82-86].

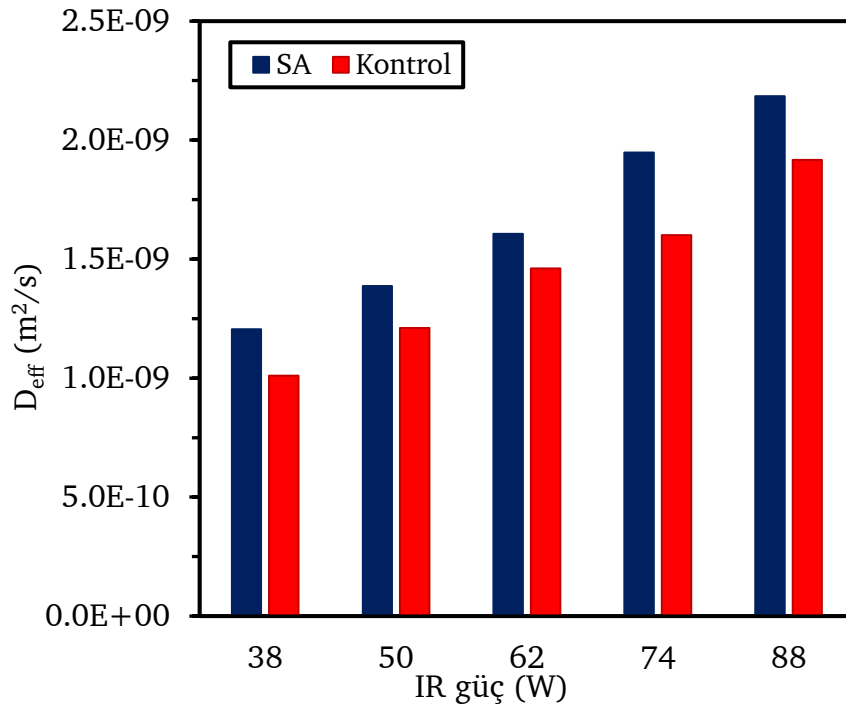
5.2.4 Efektif Difüzyon Katsayılarının Hesaplanması

Farklı infrared güçlerinde kurutulan SA ve Kontrol grubu örnekler için efektif difüzyon katsayıları Eşitlik (4.12) kullanılarak hesaplanmış ve Tablo 5.15 ile verilmiştir.

Tablo 5.15 Farklı güçlerde kurutulanan kivi dilimleri için efektif difüzyon katsayıları

Efektif difüzyon katsayıları (m ² /s)		
İnfrared gücü (W)	SA	Kontrol
38	1.204×10 ⁻⁹	1.010×10 ⁻⁹
50	1.387×10 ⁻⁹	1.211×10 ⁻⁹
62	1.606×10 ⁻⁹	1.460×10 ⁻⁹
74	1.947×10 ⁻⁹	1.600×10 ⁻⁹
88	2.184×10 ⁻⁹	1.916×10 ⁻⁹

Efektif difüzyon katsayıları 1.010-2.184×10⁻⁹ m²/s aralığında değişkenlik göstermiştir. İnfrared gücün artırılması ve sitrik asit ön-işlem uygulaması efektif difüzyon katsayılarını arttırmıştır. SA ve Kontrol grubu için efektif difüzyon katsayılarının infrared güç değerine göre değişimini gösteren grafik Şekil 5.35 ile gösterilmiştir.

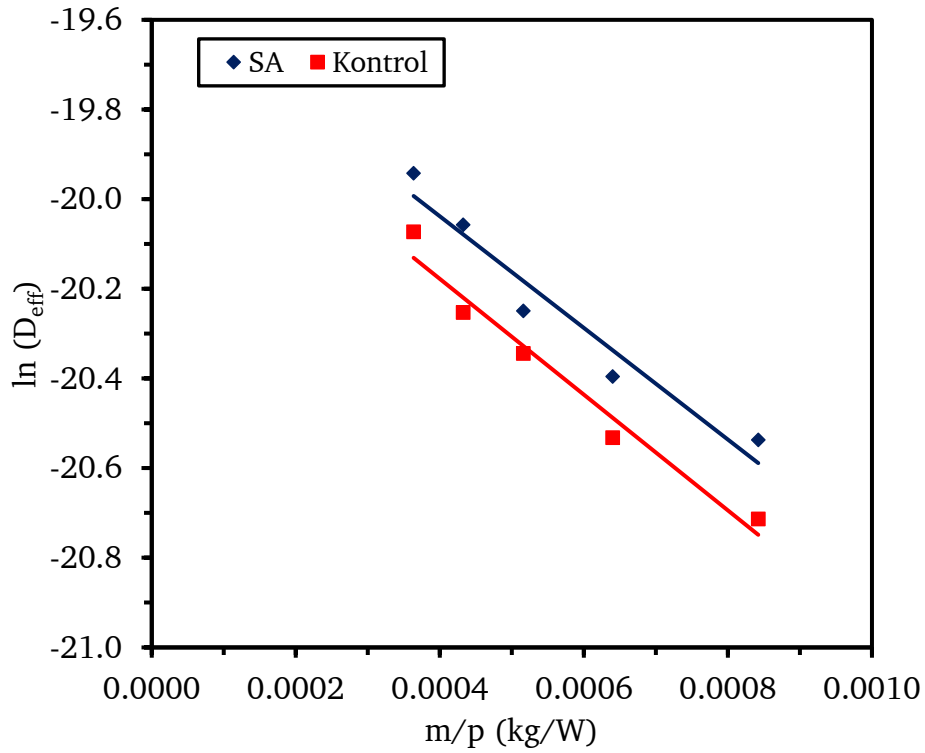


Şekil 5.35 Değişik infrared güçlerindeki efektif difüzyon katsayıları

Kivi dilimlerinin infrared kurutucu ile kurutulması üzerine daha önce yapılmış bir çalışmada efektif difüzyon katsayısı $2.304 \times 10^{-9} \text{ m}^2/\text{s}$ olarak hesaplanmış olup çalışmamıza oldukça yakın bir sonuç olduğu açıkça görülmektedir [87].

5.2.5 Aktivasyon Enerjisi Değerleri

Değişik infrared güçlerinde kurutulan SA ve Kontrol grubu kivi dilimleri için aktivasyon enerjisi değerleri Eşitlik (4.14)'ten yola çıkarak $\ln(D_{\text{eff}})$ ile m/p (kg/W) kullanılarak çizilen ve Şekil 5.36 ile gösterilmiş grafik yardımı ile hesaplanmıştır. SA ve Kontrol grubu örnekler için hesaplanan aktivasyon enerjisi değerleri sırası ile 1.246 ve 1.291 kW/kg 'dır.



Şekil 5.36 İnfrared kurutucu kullanılarak kurutulan kivi dilimleri için IR gücünün efektif difüzyon katsayısına etkisi

Hesaplanmış olan değerler literatürdeki çalışmalar ile de benzerlik göstermektedir [88].

5.2.6 İnfrared Kurutucu ile Kurutulan Örnekler için Renk Analizi

İnfrared kurutucu kullanılarak kurutulan kivi dilimlerinin renk değerlerine infrared güç seviyesinin ve ön-işlem çözeltisinin etkisi araştırılmıştır. Taze kivi dilimleri için ölçülen L, a ve b değerleri sırası ile 57.99, -11.03 ve 23.22'dir.

Kurutma deneyleri sonucunda kivi dilimleri için elde edilen renk değerleri SA ve Kontrol örnekleri için sırası ile Tablo 5.16 ve 5.17 ile verilmiştir.

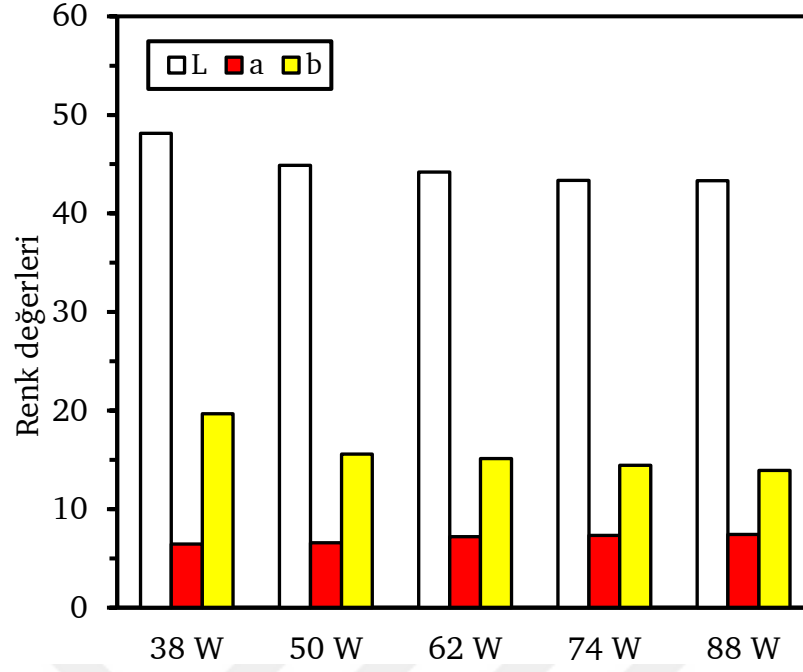
Tablo 5.16 İnfrared kurutucuda kurutulan SA örnekleri için renk ölçümleri

p (W)	L	a	b	C	E
38	48.13	6.46	19.67	20.70	21.07
50	44.90	6.59	15.59	16.92	23.85
62	44.21	7.20	15.12	16.74	24.85
74	43.37	7.32	14.44	16.18	25.64
88	43.34	7.42	13.94	15.79	25.90

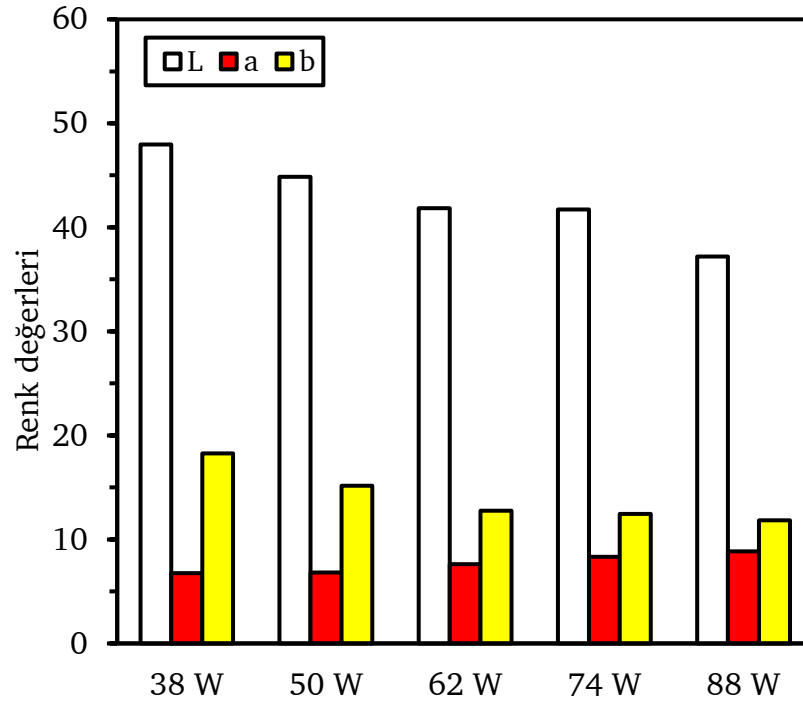
Tablo 5.17 İnfrared kurutucuda kurutulan Kontrol örnekleri için renk ölçümleri

p (W)	L	a	b	C	E
38	47.96	6.75	18.26	19.46	21.68
50	44.87	6.83	15.16	16.62	24.19
62	41.85	7.61	12.75	14.84	27.35
74	41.73	8.34	12.45	14.98	28.05
88	37.20	8.85	11.83	14.77	31.45

Tablo 5.16 ve 5.17 incelendiğinde infrared güç seviyesinin artışı L ve b değerlerinde düşüşe ve a değerlerinde artışa neden olmuştur. Ancak ön-işlem yapılmış olan kivi dilimlerindeki artış ve azalmaların daha az olduğu rengin Kontrol örneklerine göre daha çok korunduğu görülmektedir. Toplam renk değişim katsayısı (ΔE) incelendiğinde, Kontrol örnekleri için hesaplanmış olan değerlerin daha yüksek olduğu görülmektedir. Farklı infrared güç değerlerine göre elde edilmiş L, a ve b değerleri SA ve Kontrol örnekleri için Şekil 5.37 ve 5.38 ile gösterilmiştir.



Şekil 5.37 SA örnekleri için renk değerleri

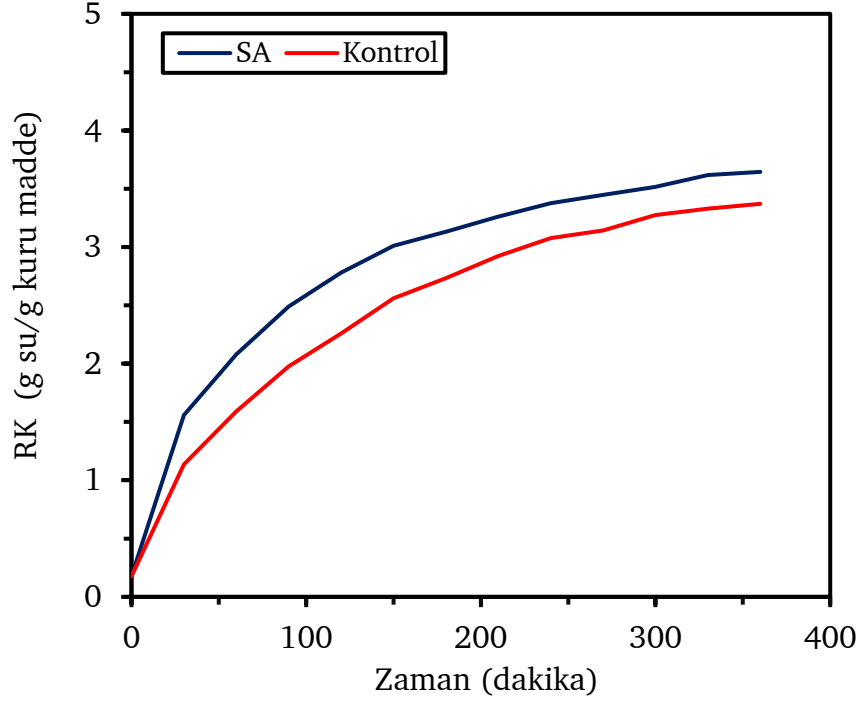


Şekil 5.38 Kontrol örnekleri için renk değerleri

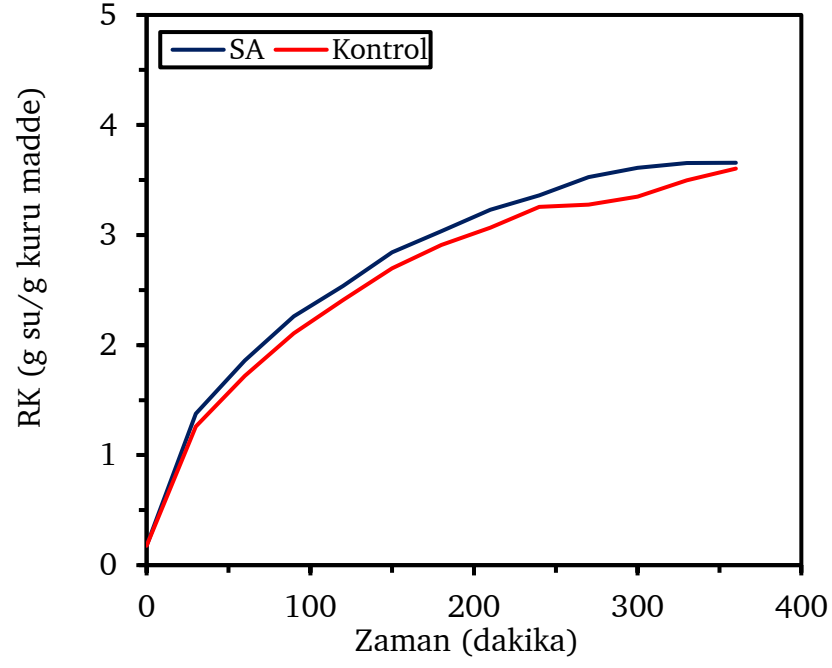
Şekil 5.37 ve 5.38 incelendiğinde infrared gücün artışına bağlı olarak L veb değerlerindeki azalma ve a değerlerindeki artma açıkça görülebilmektedir. Literatürde, infrared kurutucu kullanılarak kurutulan kivi dilimlerinin renk değerleri için benzer sonuçlara rastlanabilir [89]-[91].

5.2.7 İnfrared Kurutucu ile Kurutulan Örnekler için Rehidrasyon Kapasitesi

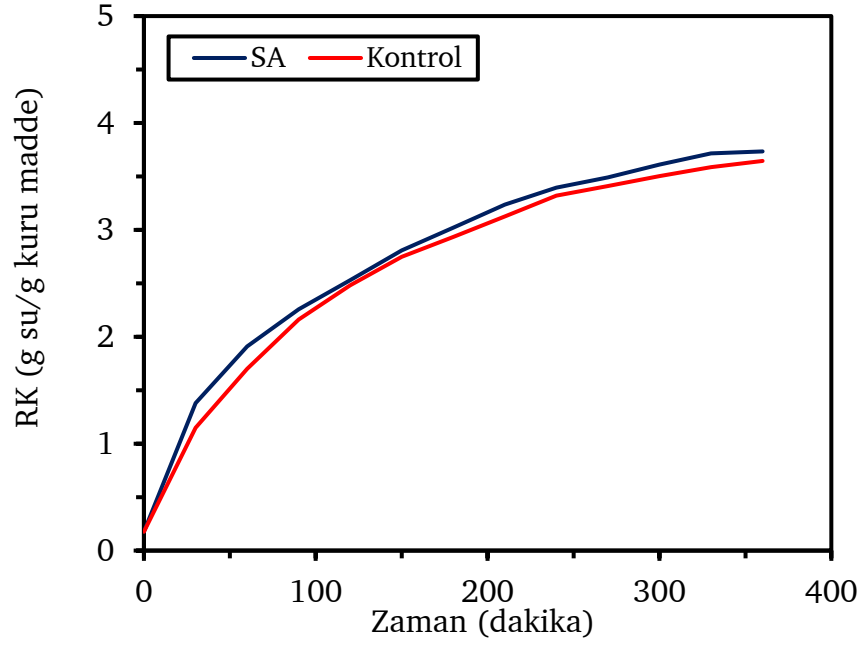
Farklı infrared güç seviyelerinde (38, 50, 62, 74 ve 88 W) SA ve Kontrol kodlu kivi dilimlerinin rehidrasyon kapasiteleri Eşitlik (4.17) kullanılarak hesaplanmıştır. Elde edilen verilerin zamana bağlı değişim eğrileri Şekil 5.39-5.43 ile gösterilmiştir.



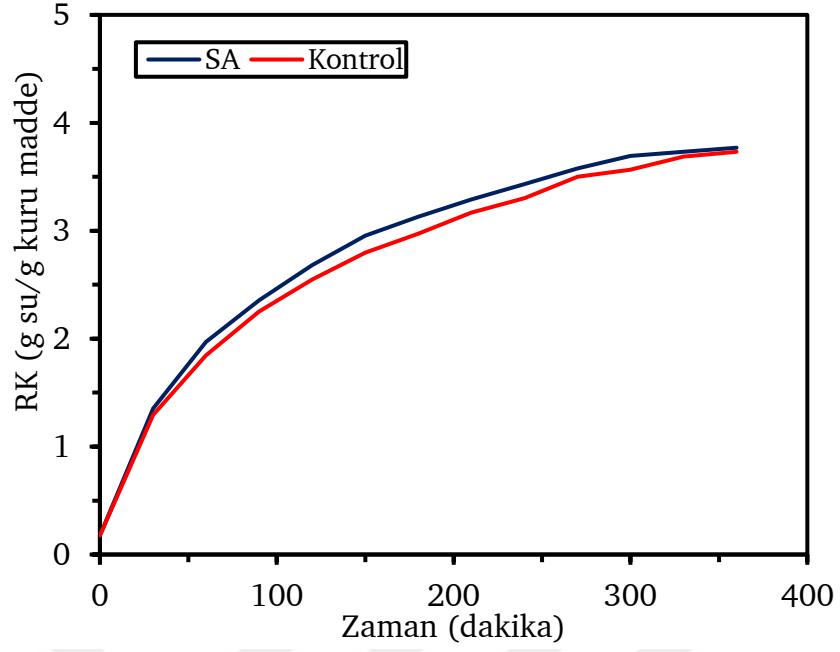
Şekil 5.39 38 W infrared gücünde kurutulmuş kivi dilimlerinin zamana bağlı rehidrasyon kapasiteleri



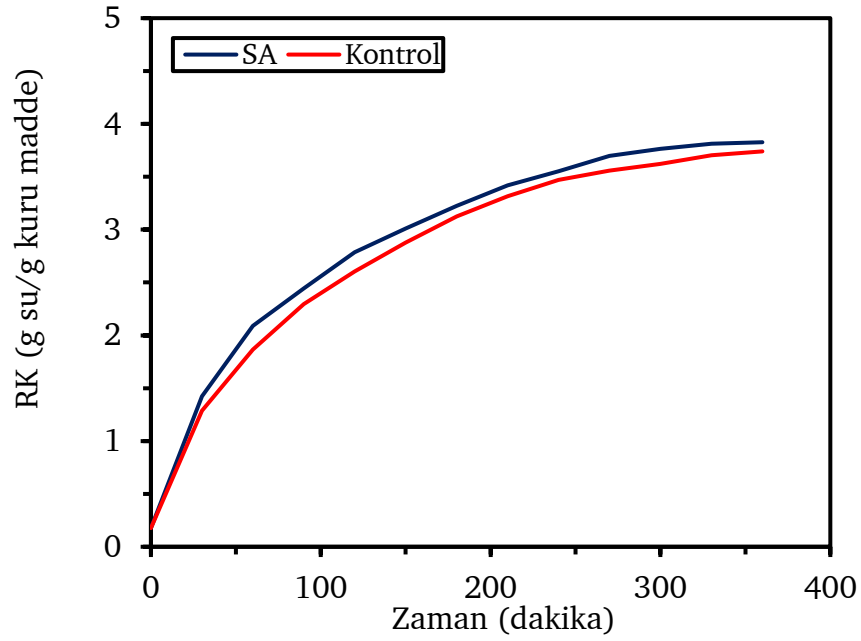
Şekil 5.40 50 W infrared gücünde kurutulmuş kivi dilimlerinin zamana bağlı rehidrasyon kapasitesi



Şekil 5.41 62 W infrared gücünde kurutulmuş kivi dilimlerinin zamana bağlı rehidrasyon kapasitesi

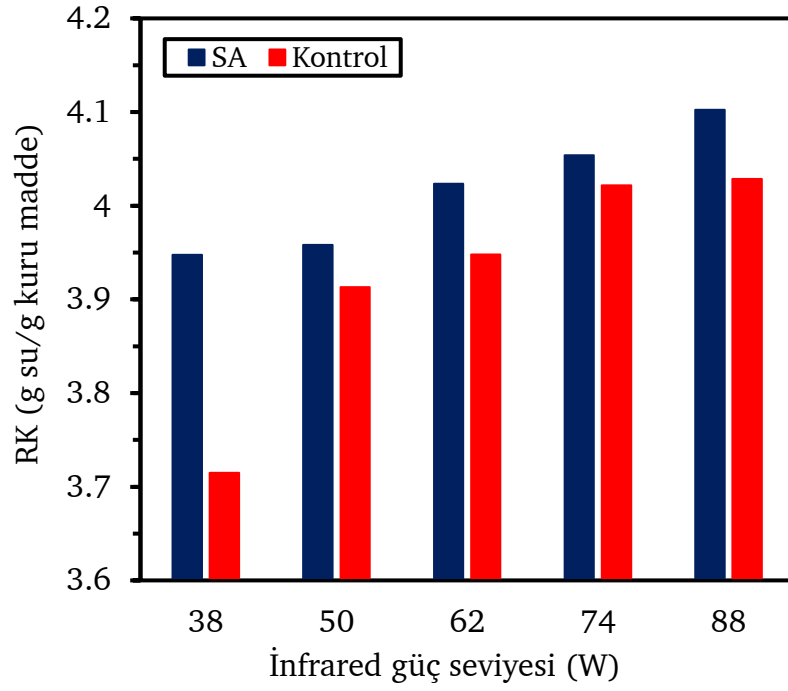


Şekil 5.42 74 W infrared gücünde kurutulmuş kivi dilimlerinin zamana bağlı rehidrasyon kaasitesi



Şekil 5.43 88 W infrared gücünde kurutulmuş kivi dilimlerinin zamana bağlı rehidrasyon kapasitesi

Farklı infrared güçlerinde kurutulan kivi dilimleri için 6 saat sonunda toplam rehidrasyon kapasiteleri Şekil 5.44 ile gösterilmiştir.



Şekil 5.44 İnfrared kurutma yöntemi ile kurutulmuş kivi dilimleri için toplam rehidrasyon kapasiteleri

En yüksek rehidrasyon kapasitesi 88 W gücünde kurutulmuş SA ile muamele edilmiş kivi dilimleri için elde edilmiştir. Sitrik asit çözeltisi ile muamele edilmiş kivi dilimleri için rehidrasyon kapasiteleri Kontrol grubu kivi dilimlerine göre daha yüksek olduğu açıkça görülmüştür.

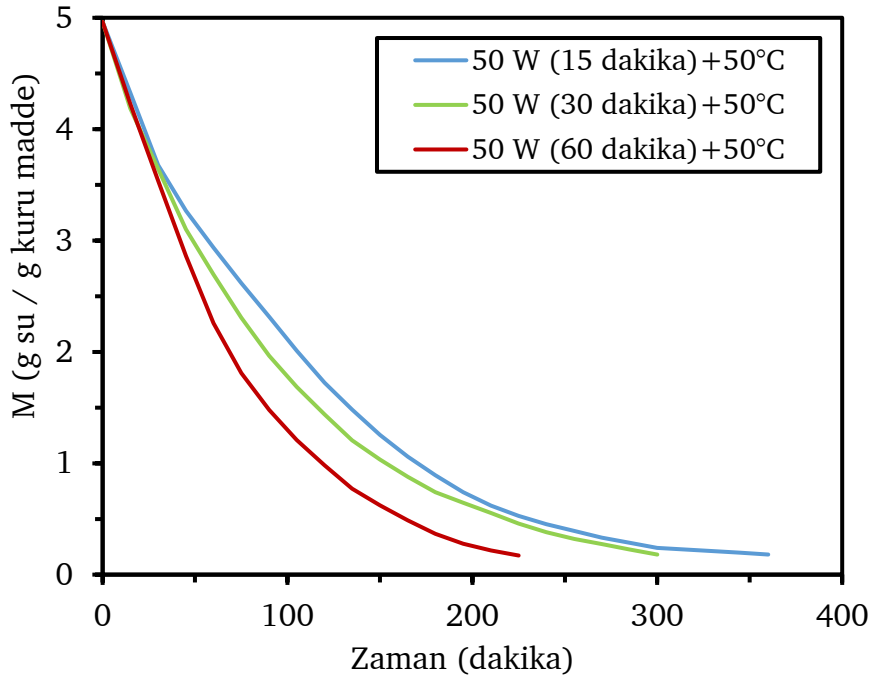
5.3 Hibrit Kurutmanın Kurutma Süresine Etkisi

Hibrit kurutma yönteminde infrared kurutucu ve kabin kurutucu bir arada kullanılmıştır. Kivi dilimleri infrared kurutucuda 50 W gücünde farklı zamanlarda (15, 30 ve 60 dakika) kurutulduktan sonra kurutma işlemine 50°C'a ayarlanmış kabin kurutucuda devam edilmiştir. Hibrit kurutma ile kurutulan kivi dilimlerinin kuruma zamanları Tablo 5.18 ile verilmiştir.

Tablo 5.18 Hibrit kurutma yöntemi ile kurutulan kivi dilimlerinin kurutma zamanları

Hibrit kurutma şekli	Kurutma zamanları (dakika)
50 W (15 dakika) + 50°C	360
50 W (30 dakika) + 50°C	300
50 W (60 dakika) + 50°C	225

Hibrit kurutma yönteminde kurutulan kivi dilimleri için zamana bağlı nem içerikleri Şekil 5.45 ile verilmiştir.



Şekil 5.45 Hibrit kurutma yöntemi ile kurutulan kivi dilimleri için zamana bağlı nem içerikleri

Hiçbir ön-işlem uygulanmadan 50°C'ta kurutulan kivi dilimleri 450 dakikada kurumaktadır. Buna karşılık, hibrit kurutma yönteminde 15 dakika infrared kurutucuda tutulup daha sonra 50°C'taki kabin kurutucuya konularak kurutulan kivi dilimleri 360 dakikada kurumuştur. Bu durum, hibrit kurutmanın kurutma zamanına olan pozitif etkisini kanıtlar niteliktedir. Hibrit kurutma prosesi esnasında kivi dilimlerinin 30 dakika infrared kurutucuda kurutulması kurutma süresini 15 dakika tutulmasına göre %16.66 kısaltmıştır. 60 dakika infrared kurutucuda kurutulan kivi dilimleri ise ilk duruma göre %37.5 daha hızlı kurumuşlardır. Bu durum gösteriyor ki sıcak hava kurutma yöntemi ile infrared kurutma yönteminin kombine olarak kullanımı örneklerin kurutma zamanını kısaltmaktadır. Ayrıca infrared kurutma yöntemi sıcak hava kurutma yöntemine göre daha hızlı bir yöntem olmasından kaynaklı kivi dilimleri infrared kurutucuda ne kadar uzun süre tutulursa kurutma zamanı de o kadar kısaltmıştır. Literatürde yer alan çalışmalardan birisi Pawar vd. [92] tarafından yapılan bir çalışmada benzer sonuçlar elde etmişlerdir.

Bu çalışmada, insan sağlığına birçok faydası bulunan, yüksek antioksidan kaynağı olan kivi farklı yöntemler kullanılarak kurutulmuş ve en uygun kurutma davranışları belirlenmeye çalışılmıştır. Elde edilen sonuçlar aşağıda belirtilmiştir:

- Sıcak hava kurutma yöntemi kullanılarak kivi dilimleri 50, 60, 70 ve 75°C sıcaklıklarda sitrik asit çözeltisine, askorbik asit+sodyum disülfid çözeltisine daldırılarak ve ön-işlem uygulanmadan kurutulmuştur. En hızlı kurutma prosesi 75°C sıcaklıkta kurutulan ve sitrik asit ile muamele edilmiş örneklerde gözlemlenmiştir.
- İnfrared kurutma yöntemi kullanılarak kivi dilimleri 38, 50, 62, 74 ve 88 W infrared güçlerinde sitrik asit ile muamele edilmiş örnekler ve Kontrol örnekleri olmak üzere kurutulmuşlardır. En hızlı kurutma prosesi 88 W infrared gücünde sitrik asit ile muamele edilmiş örneklerde saptanmıştır.
- Her iki kurutma yönteminde de ön-işlem çözeltisine daldırılmış olan örnekler kontrol örneklerindense daha hızlı kuruduğu saptanmıştır.
- Sıcak hava kurutma yönteminde kivin dilim kalınlığının kurutma prosesine etkisi araştırılmıştır. Bunun için 2, 4 ve 6 mm dilim kalınlığındaki kivi dilimleri 60°C'ta kabin kurutucuda kurutulmuş ve en hızlı kurutma prosesi 2 mm dilim kalınlığındaki örneklerde elde edilmiştir. Dilim kalınlığının artması kurutma prosesini yavaşlatan bir etken olarak saptanmıştır.
- Kivi, sıcak hava kurutma yöntemi ve infrared kurutma yönteminin bir arada kullanıldığı hibrit kurutma yöntemi ile kurutulmuştur. İki yöntemin bir arada kullanılması sıcak hava kurutma (kabin kurutma) yöntemine göre kurutma hızını artırarak kurutma zamanını kısaltmıştır.
- Sıcak hava kurutma yönteminde farklı kurutma sıcaklıkları ve ön-işlemler için D_{eff} değerleri 4.624×10^{-10} - 1.137×10^{-9} m²/s aralığında değişkenlik göstermiştir.

- Sıcak hava kurutma yöntemi ile kurutulan kivi dilimleri için aktivasyon enerjisi değerleri hesaplanmıştır. SA, As+SD ve Kontrol kodlu örnekler için aktivasyon enerjisi değerleri sırası ile 31.81, 28.15 ve 26.73 kJ/mol'dür.
- İnfrared kurutma yöntemi ile kurutulan kivi dilimleri için efektif difüzyon katsayıları farklı infrared güçleri ve ön-işleme bağlı olarak 1.010×10^{-9} - 2.184×10^{-9} m²/s aralığında hesaplanmıştır.
- İnfrared kurutma yöntemi ile kurutulan kivi dilimleri için aktivasyon enerjisi değerleri hesaplanmıştır. SA ve Kontrol grubu örnekler için aktivasyon enerjisi değerleri sırası ile 1.246 ve 1.291 kW/kg'dır.
- Hem infrared hem de sıcak hava kurutma yöntemleri ile yapılan deneylerin sonucunda toplanan verilerin matematiksel modellemesinin yapılması için 9 farklı ince-tabaka kurutma modeli (Lewis, Henderson & Pabis, Logaritmik, Page, Midilli & Küçük, Aghbashlo vd., Jena & Das, Vega & Lemus ve Lojistik) kullanılmıştır. Kullanılan ince-tabaka kurutma modellerinden Aghbashlo vd. ince-tabaka kurutma modeli sıcak hava kurutma yöntemi ve infrared kurutma yöntemi için en yüksek R² ve en düşük P, χ^2 ve RMSE değerleri ile kurutma prosesine en uygun model olarak belirlenmiştir.
- Farklı hava sıcaklıklarında ve infrared güç seviyelerinde kurutulmuş kivi dilimlerinin renk parametreleri incelenmiştir. Elde edilen verilere göre, kurutma sıcaklığının ve infrared gücün artması ile kivi dilimleri için ölçülen L değerlerinde azalma ve a değerlerinde ise bir artış olduğu tespit edilmiştir. Bununla birlikte kabin kurutucuda yapılan deneylerde kurutma sıcaklığının artışı ile b değerlerinin arttığı gözlemlenirken, infrared kurutucuda yapılan kurutma işlemlerinde ise infrared güç seviyesindeki artış b değerlerinde bir azalış meydana getirmiştir.
- Farklı kurutma havası sıcaklıklarında kurutulmuş kivi dilimlerinin rehidrasyon kapasiteleri hesaplanmıştır. Bütün kurutma havası sıcaklıkları için As+SD çözeltisi ile muamele edilmiş kivi dilimlerinin rehidrasyon kapasiteleri SA ve kontrol grubu numunelere göre daha yüksek olduğu gözlemlenmiştir. En yüksek rehidrasyon kapasitesine As+SD çözeltisi ile

muamele edilmiş ve 75°C sıcaklıkta kurutulmuş kivi dilimleri için 4.0334 g su / g kuru madde ile erişilmiştir.

- Farklı infrared güçlerinde gerçekleştirilen kurutma prosesi için infrared güç seviyesi arttığında kivi dilimlerinin rehidrasyon kapasitesinde bir artış gözlemlenmiştir. Ayrıca SA ile muamele edilen örneklerin rehidrasyon kapasitelerinin Kontrol kodlu örneklere göre daha yüksek olduğu gözlemlenmiştir.
- ‘Farklı Kurutma Yöntemlerinin Kivi Meyvesinin Kuruma Karakteristiklerine ve Kalite Parametrelerine Etkisi’ başlıklı tezimizin literatüre katkı sağlayacağını düşünmekteyiz. Ayrıca farklı koşullarda kurutulmuş kivi dilimlerinin fenolik bileşik, antioksidan kapasitesi gibi içerik bileşenlerinin incelenmesi üzerine çalışmamızı geliştirmeyi amaçlamaktayız.

- [1] A. C. Sezgin, "Meyve, sebze ve sağlımız", Journal of Tourism and Gastronomy Studies, vol. 2, pp. 46-51, 2014.
- [2] S. Darıcı ve S. Şen, "Kivi meyvesinin kurutulmasında kuruma havası hızının kurumaya etkisinin incelenmesi", Tesisat Mühendisliği, vol. 130, pp. 51-58, 2012.
- [3] FAO, Dünyadaki Tarım Arazileri, <http://www.fao.org/faostat/en/#data/RL/visualize>, 12.08.2021.
- [4] M. Pala ve B. Saygı, "Su aktivitesi ve gıda işlemedeki önemi", Gıda, vol. 1, pp. 33-39, 1983.
- [5] I. Doymaz ve M. Pala, "The thin-layer drying characteristics of corn", Journal of Food Engineering, vol. 60, no. 2, pp. 125–130, 2003.
- [6] D. Azizi, S. M. Jafari, H. Mirzaei ve D. Dehnad, "The Influence of refractance window drying on qualitative properties of kiwifruit slices", International Journal of Food Engineering, vol. 13, no. 2, 2016.
- [7] B. Erbay ve E. Küçüköner, "Gıda endüstrisinde kullanılan farklı kurutma sistemleri", Türkiye 10. Gıda Kongresinde sunulan bildiri, 2008, pp 1045-1048.
- [8] B. S. Cemeroğlu, Gıda mühendisliğinde temel işlemler, Ankara: Bizim Grup Yayıncılık, 2017.
- [9] A. Güngör ve N. Özbalta, "Endüstriyel kurutma sistemleri", III. Ulusal Tesisat Mühendisliği Kongresi ve Sergisi Bildiriler Kitabı, 1997, pp 737-747.
- [10] M. Erbaş, C. Candal, Ö. Kılıç ve C. Mutlu, "Gıdaların nem sorpsiyon izotermelerinin belirlenmesi ve eşitliklerin çözümü", Gıda, vol. 41, no. 3, pp. 171-178, 2016.
- [11] N. Kutlu, A. İşçi ve Ö. Ş. Demirkol, "Gıdalarda ince tabaka kurutma modelleri", Gıda, vol. 40, no. 1, pp. 39-46, 2015.
- [12] E. Demiray, "Havuç ve kırmızı biberin farklı kurutma yöntemleri ile kurutulması, kuruma karakteristiklerinin ve bazı kalite özelliklerindeki değişimin

modellenmesi”, Doktora Tezi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Pamukkale Üniversitesi, Denizli, 2015.

[13] I. Doymaz, “Infrared drying of sweet potato (*Ipomoea batatas* L.) slices”, Journal of Food Science and Technology, vol. 49, pp. 760–766, 2011.

[14] M. T. Çakır, “Güneş enerjisinden yararlanarak tarım ürünlerinin kurutulması”, Gazi Mühendislik Bilimleri Dergisi, vol. 1, no. 1, pp. 41-56, 2015.

[15] T. Yılmaz, “Üzüm kurutma işlemi için yenilenebilir enerji kaynaklarının kullanımı”, Celal Bayar Üniversitesi Fen Bilimleri Dergisi, vol. 13, no. 2, pp. 537-544, 2017.

[16] Z. H. Tekin, “Biberlerin kurutulmasında kalite özelliklerinin iyileştirilmesi amacıyla ultrason destekli vakum kurutma yönteminin uygulanması”, Yüksek Lisans Tezi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Yıldız Teknik Üniversitesi, İstanbul, 2015.

[17] C. Karacaoğlu, O. Gürsoy ve Y. Yılmaz, “Ultrasonikasyon destekli vakum impregnasyon (emdirme) tekniği ile muamele işleminin kivi dilimlerinin kuruma kinetiği üzerine etkisi”, Akademik Gıda, vol. 14, no. 3, pp. 256-266, 2016.

[18] H. Sadıkoğlu ve M. Özdemir, “Dondurarak kurutma teknolojisi ve evreleri”, Gıda, vol. 28, no. 6, 643-649, 2003.

[19] İ. Ceylan, M. Aktaş ve H. Doğan, “Güneş enerjili kurutma fırınında elma kurutulması”, Politeknik Dergisi, vol. 9, no. 4, pp. 289-294, 2006.

[20] N. Kutlu ve A. İşçi, “Farklı kurutma yöntemlerinin patlıcanın kurutma karakteristikleri üzerine etkisi ve kurutmanın matematiksel modellenmesi”, Akademik Gıda, vol. 14, no. 1, pp. 21-27, 2016.

[21] G. T. Feyzioğlu, “Havalı güneş kolektörleri ile kurutucu tasarımı”, Bitirme Tezi, Makine Mühendisliği Bölümü, Ege Üniversitesi, İzmir, 2011.

[22] A. Güngör, “Sebze ve meyve kurutmada kullanılan kurutucular ve kurutma teknolojileri”, 11. Ulusal Tesisat Mühendisliği Kongresi, İzmir, 2013.

[23] N. Parlak, “Akışkan yataklı kurutucuda zencefilin kuruma kinetiğinin incelenmesi”, Gazi Üniversitesi Mühendislik ve Mimarlık Fakültesi Dergisi, vol. 29, no. 2, pp. 261-269, 2014.

- [24] Cengiz fidancılık, Kivinin botanik özellikleri,
<http://www.cengizfidancilik.com/sayfa/4-kivinin-botanik-ozellikleri/241/>,
18.05.2021.
- [25] A. Ekşi ve İ. Ö. Türkmen, “Kivi Meyvesinin kimyasal bileşenleri ve fonksiyonel özellikleri”, Ordu Üniversitesi Bilim ve Teknoloji Dergisi, vol. 2, no. 2, pp. 54-67, 2012.
- [26] T. Karadeniz, “Türkiye kivi üretim durumu”, Alatarım, vol. 3, no. 1, pp. 23-27, 2004.
- [27] FAO, Value of Agricultural Production,
<https://www.fao.org/faostat/en/#data/QV>, 08.11.2022.
- [28] A. Kızmaz, “Farklı kurutma teknikleri ile kurutulan kivi dilimlerinin adsorpsiyon izotermelerinin belirlenmesi”, Yüksek Lisans Tezi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Ordu Üniversitesi, Ordu, 2019.
- [29] İ. Doymaz, “Mathematical modelling of thin-layer drying of kiwifruit slices”, Journal of Food Processing and Preservation, vol. 33, pp. 145-160, 2008.
- [30] E. Aidani, M. Hadadkhodaparast ve M. Kashaninejad, “Experimental and modeling investigation of mass transfer during combined infrared-vacuum drying of hayward kiwifruits”, Food Science and Nutrition, vol. 5, pp. 596-601, 2017.
- [31] G. Akar ve I. Barutçu Mazi, “Color change, ascorbic acid degradation kinetics, and rehydration behavior of kiwifruit as affected by different drying methods”, Journal of Food Process Engineering, vol. 42, pp. 1-16, 2019.
- [32] S. K. Chin, E. S. Siew ve W. L. Soon, “Drying characteristics and quality evaluation of kiwi slices under hot air natural convective drying method”, International Food Research Journal, vol. 22, no. 6, pp. 2188-2195, 2015.
- [33] S. Darıcı ve S. Şen, “Experimental investigation of convective drying kinetics of kiwi under different conditions”, Heat and Mass Transfer, vol. 51, pp. 1167-1176, 2015.

- [34] B. Diken, M. Eremkere, G. Demirtaş, B. Kayışoğlu ve T. Aktaş, "Kivi meyvesinin ince tabaka kurutma karakteristiklerinin ve sorpsiyon özelliklerinin saptanması", *El-Cezerî Fen ve Mühendislik Dergisi*, vol. 7, no. 1, pp. 249-261, 2020.
- [35] K. Ergün, G. Çalışkan ve S. N. Dirim, "Determination of the drying and rehydration kinetics of freeze dried kiwi (*Actinidia deliciosa*) slices", *Heat and Mass Transfer*, vol. 52, pp. 2697-2705, 2016.
- [36] N. Izli, G. Izli ve O. Taşkın, "Drying kinetics, colour, total phenolic content and antioxidant capacity properties of kiwi dried by different methods", *Journal of Food Measurement and Characterization*, vol. 11, pp. 64-74, 2017.
- [37] E. Sadeghi, A. H. Asl ve K. Movagharnejad, "Optimization and quality evaluation of infrared-dried kiwifruit slices", *Food Science and Nutrition Journal*, vol. 10, pp. 1002-1253, 2019.
- [38] C. Ertekin ve O. Yaldız, "Drying of eggplant and selection of a suitable thin layer drying model", *Journal of Food Engineering*, vol. 63, pp. 349-359, 2004.
- [39] M. Younis, D. Abdelkarim ve A. Z. El-Abdein, "Kinetics and mathematical modeling of infrared thin-layer drying of garlic slices", *Saudi Journal of Biological Sciences*, vol. 25, pp. 332-338, 2018.
- [40] İ. Doymaz ve F. Kocayiğit, "Effect of pre-treatments on drying, rehydration, and color characteristics of red pepper ('charliston' variety)", *Food Science and Biotechnology*, vol. 21, pp. 1013-1022, 2012.
- [41] T. Orikasa, S. Koide, S. Okamoto, T. Imaizumi, Y. Muramatsu, J. Takeda, T. Shiina ve A. Tagawa, "Impacts of hot air and vacuum drying on the quality attributes of kiwifruit slices", *Journal of Food Engineering*, vol. 125, pp. 51-58, 2014.
- [42] Q. Hu, M. Zhang, A. S. Mujumdar, G. Xiao ve J. Sun, "Drying of edamames by hot air and vacuum microwave combination", *Journal of Food Engineering*, vol. 77, pp. 977-982, 2006.
- [43] A. Maskan, S. Kaya ve M. Maskan, "Hot air and sun drying of grape leather (pestil)", *Journal of Food Engineering*, vol. 54, pp. 81-88, 2002.

- [44] D. G. P. Kumar, H. U. Hebbar, D. Sukumar ve M. N. Ramesh, "Infrared and hot-air drying of onions", *Journal of Food Processing and Preservation*, vol. 29, pp. 132-150, 2005.
- [45] N. Kumar, B. C. Sarkar ve H. K. Sharma, "Mathematical modelling of thin layer hot air drying of carrot pomace", *Journal of Food Science Technology*, vol. 49, pp. 33-41, 2012.
- [46] Z. Wang, J. Sun, X. Liao, F. Chen, G. Zhao, J. Wu ve X. Hu, "Mathematical modeling on hot air drying of thin layer apple pomace", *Food Research International*, vol. 40, pp. 39-46, 2007.
- [47] K. Sacilik, A. K. Elicin ve G. Unal, "Drying kinetics of uryani plum in a convective hot-air dryer", *Journal of Food Engineering*, vol. 76, pp. 362-368, 2006.
- [48] G. Sharma ve S. Prasad, "Drying of garlic (*Allium Sativum*) cloves by microwave-hot air combination", *Journal of Food Engineering*, vol. 50, pp. 99-105, 2001.
- [49] İ. Doymaz, "Impact of citric acid on the drying characteristics of kiwifruit slices", *Acta Scientiarum Technology*, vol. 42, pp. e40570, 2020.
- [50] İ. Doymaz, "Effect of citric acid and blanching pre-treatments on drying and rehydration of amasya red apples", *Food and Bioproducts Processing*, vol. 88, pp. 124-132, 2010.
- [51] W. Zzaman, R. Biswas ve M. A. Hossain, "Application of immersion pre-treatments and drying temperatures to improve the comprehensive quality of pineapple (*Ananas comosus*) slices", *Heliyon*, vol. 7, pp. e05882, 2021.
- [52] M. L. Rojas, P. E. D. Augusto ve J. A. Cárcel, "Ethanol pre-treatment to ultrasound-assisted convective drying of apple", *Innovative Food Science and Emerging Technologies*, vol. 61, pp. 102328, 2020.
- [53] B. Önal, G. Adiletta, A. Crescitelli, M. D. Matteo ve PP. Russo, "Optimization of hot air drying temperature combined with pre-treatment to improve physico-chemical and nutritional quality of 'annurca' apple", *Food and Bioproducts Processing*, vol. 115, pp. 87-99, 2019.

- [54] L. Wu, T. Orikasa, Y. Ogawa ve A. Tagawa, "Vacuum drying characteristics of eggplants", Journal of Food Engineering, vol. 83, pp. 422-429, 2007.
- [55] P. Gupta, J. Ahmed, U. S. Shivhare ve G. S. V. Raghavan, "Drying characteristics of red chilli", vol. 20, pp. 1975-1987, 2002.
- [56] J Ahmed, U. S. Shivhare ve G. Singh, "Drying characteristics and product quality of coriander leaves", Transactions of the Institution of Chemical Engineers, vol. 79, pp. 103-106, 2001.
- [57] H. N. Özbek, "Radio frequency-assisted hot air drying of carrots for the production of carrot powder: kinetics and product quality", LWT-Food Science and Technology, vol. 152, pp. 112332, 2021.
- [58] C. Zhou, Y. Feng, L. Zhang, A. E. A. Yagoub, H. Wahia, H. Ma, Y. Sun ve X. Yu, "Rehydration characteristics of vacuum freeze- and hot air-dried garlic slices", LWT-Food Science and Technology, vol. 143, pp. 111158, 2021.
- [59] İ. Doymaz, "Influence of blanching and slice thickness on drying characteristics of leek slices", Chemical Engineering and Processing, vol. 47, pp. 41-47, 2008.
- [60] S. Seiedlou, H. R. Ghasemzadeh, N. Hamdami, F. Talati ve M. Moghaddam, "Convective drying of apple: mathematical modeling and determination of some quality parameters", International Journal of Agriculture and Biology, vol. 12, pp. 171-178, 2010.
- [61] O. İsmail, A. Kantürk Figen ve S. Pişkin, "Effects of Open-air sun drying and pre-treatment on drying characteristics of purslane (*Portulaca oleracea* L.)", Heat and Mass Transfer, vol. 51, pp. 807-813, 2015.
- [62] C. Tunçkal, S. Coşkun, İ. Doymaz ve E. Ergun, "Determination of sliced pineapple drying characteristics in a closed loop heat pump assisted drying system", International Journal of Renewable Energy Development, vol. 7, pp. 35-41, 2018.
- [63] A. I. Mireles-Arriaga, I. I. Ruiz-López, P. A. Hernández-García, E. Espinosa-Ayala, L. X. López-Martínez ve O. Márquez-Molina, "The impact of convective

drying on the color, phenolic content and antioxidant capacity of noni (*Morinda citrifolia* L.)”, Food Science and Technology, vol. 36, pp. 583-590, 2016.

[64] S. Kayran ve İ. Doymaz, “Determination of drying kinetics and physicochemical characterization of apricot pomace in hot-air dryer”, Journal of Thermal Analysis and Calorimetry, vol. 130, pp. 1163-1170, 2017.

[65] R. A. Chayjan ve B. Shadidi, “Modeling high-moisture faba bean drying in fixed and semi-fluidized bed conditions”, Journal of Food Processing and Preservation, vol. 38, pp. 200-211, 2014.

[66] E. O. M. Akoy, “Experimental Characterization and modeling of thin-layer drying of mango slices”, International Food Research Journal, vol. 21, pp. 1911-1917, 2014.

[67] S. Gasa, S. Sibanda, T. S. Workneh, M. Laing ve A. Kassim, “Thin-layer modelling of sweet potato slices drying under naturally-ventilated warm air by solar-venturi dryer”, Heliyon, vol. 8, pp. e08949, 2022.

[68] O. O. Agbede, E. O. Oke, S. I. Akinfenwa, K. T. Wahab, S. Ogundipe, O. A. Aworanti, A. O. Arinkoola, S. E. Agarry, O. O. Ogunleye, F. N. Osuolale ve K. A. Babatunde, “Thin layer drying of green microalgae (*Chlorella* Sp.) paste biomass: drying characteristics, energy requirement and mathematical modeling”, Bioresource Technology Reports, vol. 11, pp. 100467, 2020.

[69] A. Kaya, O. Aydın ve S. Kolaylı, “Effect of different drying conditions on the vitamin c (ascorbic acid) content of hayward kiwifruits (*Actinidia Deliciosa* Planch)”, Food and Bioproducts Processing, vol. 88, pp. 165-173, 2010.

[70] İ. Doymaz, “Drying characteristics and kinetics of okra”, Journal of Food Engineering, vol. 69, pp. 275-279, 2005.

[71] M. Aghbashlo, M. H. Kianmehr ve A. Arabhosseini, “Modeling of thin-layer drying of potato slices in length of continuous band dryer”, Energy Conversion and Management, vol. 50, pp. 1348-1355, 2009.

[72] İ. Doymaz, “Convective air drying characteristics of thin layer carrots”, Journal of Food Engineering, vol. 61, pp. 359-364, 2004.

- [73] T. Orikasa, S. Koide, S. Okamoto, T. Imaizumi, Y. Muramatsu, J. Takeda, T. Shiina ve A. Tagawa, "Impacts of hot air and vacuum drying on the quality attributes of kiwifruit slices", *Journal of Food Engineering*, vol. 125, pp. 51-58, 2014.
- [74] G. Akar ve I. Barutçu Mazi, "Color change, ascorbic acid degradation kinetics, and rehydration behavior of kiwifruit as affected by different drying methods", *Journal of Food Process Engineering*, vol. 42, pp. e13011, 2019.
- [75] A. Mohammadi, S. Rafiee, Z. Emam-Djomeh ve A. Keyhani, "Kinetic models for colour changes in kiwifruit slices during hot air drying", *World Journal of Agricultural Sciences*, vol. 4, pp. 376-383, 2008.
- [76] T. A. Bhat, S. Z. Hussain, S. M. Wani, M. A. Rather, M. Reshi, B. Naseer, T. Qadri ve A. Khalil, "The impact of different drying methods on antioxidant activity, polyphenols, vitamin C and rehydration characteristics of kiwifruit", *Food Bioscience*, vol. 48, pp. 101821, 2022.
- [77] N. Adak, N. Heybeli ve C. Ertekin, "Infrared drying of strawberry", *Food Chemistry*, vol. 219, pp. 109-116, 2017.
- [78] B. Wu, X. Guo, Y. Guo, H. Ma ve C. Zhou, "Enhancing jackfruit infrared drying by combining ultrasound treatments: effect on drying characteristics, quality properties and microstructure", *Food Chemistry*, vol. 358, pp. 129845, 2021.
- [79] Y. Abbaspour-Gilandeh, M. Kaveh, H. Fatemi, E. Khalife, D. Witrowa-Rajchert ve M. Nowacka, "Effect of pretreatments on convective and infrared drying kinetics, energy consumption and quality of terebinth", *Applied Sciences*, vol. 11, pp. 7672, 2021.
- [80] İ. Doymaz, "Suitability of thin-layer drying models for infrared drying of peach slices", *Journal of Food Processing and Preservation*, vol. 38, pp. 2232-2239, 2014.
- [81] H. Kocabiyik ve D. Tezer, "Drying of carrot slices using infrared radiation", *International Journal of Food Science and Technology*, vol. 44, pp. 953-959, 2009.

- [82] B. Alaei ve R. A. Chayjan, "Drying characteristics of pomegranate arils under near infrared-vacuum conditions", *Journal of Food Processing and Preservation*, vol. 39, pp. 469-479, 2015.
- [83] V. Mitrevski, C. Mitrevska, T. Geramitcioski ve V. Mijakovski, "Drying kinetics and mathematical modeling of far-infra red vacuum drying of some vegetables and fruits", *Applied Engineering Letters*, vol. 2, pp. 109-114, 2017.
- [84] A. S. Kipcak ve İ. Doymaz, "Microwave and infrared drying kinetics and energy consumption of cherry tomatoes", *Chemical Industry and Chemical Engineering Quarterly*, vol. 26, pp. 203-212, 2020.
- [85] V. Mitrevski, S. Bundalevski, C. Mitrevska, T. Geramitcioski ve V. Mijakovski, "Experimental investigation of far-infrared vacuum drying of apple slices", *Applied Engineering Letters*, vol. 1, pp. 35-39, 2016.
- [86] I. Doymaz, A. S. Kipcak ve S. Piskin, "Characteristics of thin-layer infrared drying of green bean", *Czech Journal of Food Sciences*, vol. 33, pp. 83-90, 2015.
- [87] Y. Liu, Y. Zeng, X. Hu ve X. Sun, "Effect of ultrasonic power on water removal kinetics and moisture migration of kiwifruit slices during contact ultrasound intensified heat pump drying", *Food and Bioprocess Technology*, vol. 13, pp. 430-441, 2020.
- [88] İ. Doymaz, "Drying Behavior and some quality parameters of potato finger chips using infrared radiation", *Latin American Applied Research*, vol. 51, pp. 261-267, 2021.
- [89] İ. Doymaz, "Infrared drying of kiwifruit slices", *International Journal of Green Energy*, vol. 15, pp. 622-628, 2018.
- [90] S. Öztürk, Ö. Şakıyan ve Y. Ö. Alifakı, "Dielectric properties and microwave and infrared-microwave combination drying characteristics of banana and kiwifruit", *Journal of Food Process Engineering*, vol. 40, pp. e12502, 2017.
- [91] Y. Zeng, Y. Liu, J. Zhang, H. Xi ve X. Duan, "Effects of far-infrared radiation temperature on drying characteristics, water status, microstructure and quality of kiwifruit slices", *Journal of Food Measurement and Characterization*, vol. 13, pp. 3086-3096, 2019.

[92] S. B. Pawar ve V. M. Pratape, "Fundamentals of infrared heating and its application in drying of food materials: a review", Journal of Food Process Engineering, vol. 40, pp. e12308, 2017.



Konferans Bildirileri

1. E. Borucu ve İ. Doymaz, “Hot air drying of kiwifruit slices”, 6th International Conference on Advances in Mechanical Engineering (ICAME 21), October 20-22, İstanbul, 2021.
2. E. Borucu ve İ. Doymaz, “An experimental study on infrared drying of kiwifruit slices”, 6th International Conference on Advances in Mechanical Engineering (ICAME 21), October 20-22, İstanbul, 2021.

