T.C.
YILDIZ TEKNİK ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

KİRAZ DOMATESİN KURUTMA KİNETİĞİNİN VE BAZI KALİTE KRİTERLERİNİN BELİRLENMESİ

IŞIL BURÇAK YÜCE

YÜKSEK LİSANS TEZİ
KİMYA MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI
KİMYA MÜHENDİSLİĞİ PROGRAMI

DANIŞMAN
PROF. DR. İBRAHİM DOYMAZ

İSTANBUL, 2019

T.C.

YILDIZ TEKNİK ÜNİVERSİTESİ

FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

KİRAZ DOMATESİN KURUTMA KİNETİĞİNİN VE BAZI KALİTE KRİTERLERİNİN BELİRLENMESİ

Işıl Burçak Yüce tarafından hazırlanan tez çalışması 17.07.2019 tarihinde aşağıdaki jüri tarafından Yıldız Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Kimya Mühendisliği Anabilim Dalı'nda **YÜKSEK LİSANS TEZİ** olarak kabul edilmiştir.

Tez Danışmanı

Prof. Dr. İbrahim DOYMAZ

Yıldız Teknik Üniversitesi

Jüri Üyeleri

Prof. Dr. İbrahim DOYMAZ

Yıldız Teknik Üniversitesi _____

Prof. Dr. Murat ÖZDEMİR

Gebze Teknik Üniversitesi _____

Dr. Ögr. Üyesi İlknur KÜÇÜK

Yıldız Teknik Üniversitesi _____

ÖNSÖZ

Dünya nüfusundaki artışla birlikte gıda kaynaklarının yetersiz kalması, varolan taze gıdaların uzun süre saklanması ihtiyacını doğurmuştur. Domates, hem içerdiği besin maddeleri hem de lezzeti sebebiyle insan beslenmesinin vazgeçilmezlerindendir. Bu çalışmanın amacı besin olarak sıklıkla tüketilen kiraz domateslerin kurutma kinetiklerinin incelenmesidir.

Bu çalışmamda bana her türlü desteği veren danışman hocam Sayın Prof. Dr. İbrahim DOYMAZ'a katkılarından ve yardımlarından dolayı sonsuz teşekkür ederim. Aynı zamanda tüm öğrenim hayatım boyunca bana destek olan aileme ve her zaman yanımda olan Mert SÖZEN'e minnetlerimi sunarım.

Temmuz, 2019

Işıl Burçak YÜCE

İÇİNDEKİLER

Sayfa

SİMGE LİSTESİ viii

KISALTMA LİSTESİ ix

ŞEKİL LİSTESİ x

ÇİZELGE LİSTESİ xii

ÖZET xiii

ABSTRACT xv

BÖLÜM 1

GİRİŞ 1

1.1 Literatür Özeti 1
1.2 Tezin Amacı 2
1.3 Orijinal Katkı 2

BÖLÜM 2

KURUTMA 3

2.1 Kurutma Yöntemleri 6
2.1.1 Konveksiyon kurutma 7
2.1.2 Kondüksüyon kurutma 7
2.1.3 Radyasyon kurutma 7
2.1.3.1 Infrared (Kızılötesi) kurutma 7
2.1.4 Dondurarak kurutma 8
2.1.5 Ozmotik Kurutma 9
2.1.6 Hibrit Kurutma 9
2.2 Kurutmanın Aşamaları 10
2.3 Kurutma Hızına Etki Eden Faktörler 12
2.4 Kurutma Sırasında Meydana Gelen Başlıca Değişimler 14
2.4.1 Fiziksel değişmeler 14
2.4.2 Kimyasal değişimler 15

2.5 Sebze Kurutma 16

BÖLÜM 3

DOMATES 24

3.1 Domatesle İlgili Genel Bilgi 24
3.2 Domates Kurutmayla İlgili Literatür Çalışmaları 28

BÖLÜM 4

MATERYAL VE YÖNTEM 38

4.1 Materyal 38
4.2 Yöntem 39
4.2.1 Kurutma sistemleri 39
4.2.2 Kuru madde tayini 40
4.2.3 Dijital termometre 41
4.2.4 Hava akış hızı 41
4.2.5 Ağırlık ölçümleri 42
4.2.6 Renk ölçümü 43
4.3 Kurutma Denemeleri 45
4.3.1 Sıcak havalı kabin kurutucuda kurutma 45
4.3.2 Kızılötesi (Infrared) kurutucuda kurutma 46
4.3.3 Kombine kurutma 47
4.3.4 Geometrik şekile göre kurutma 47
4.4 Rehidrasyon Oranı 47
4.5 Matematiksel Modelleme 48
4.6 Regrasyon Analizi 50
4.7 Difüzyon Katsayısının ve Aktivasyon Enerjisinin Hesaplanması 51

BÖLÜM 5

DENEYSEL BULGULAR VE TARTIŞMA 53

5.1 Sıcak Havalı Kabin Kurutucuda Kurutulmuş Kiraz Domates 53
5.1.1 Hava sıcaklığının ve ön işlemin kurutma süresine etkisi 53
5.1.2 Kuruma hızı ile kurutma süresinin değişimi 56
5.1.3 Kurutma eğrilerinin matematiksel modellenmesi 59
5.1.4 Efektif difüzyon katsayılarının hesaplanması 66
5.1.5 Aktivasyon Enerjisinin Hesaplanması 68
5.1.6 Renk Analizi 69
5.1.7 Rehidrasyon oranlarının belirlenmesi 70
5.2 Kızılötesi (Infrared) Kurutucu 72
5.2.1 Kızılötesi kurutma gücünün kurutma süresine etkisi 72
5.2.1 Efektif difüzyon katsayılarının hesaplanması 73
5.2.3 Aktivasyon Enerjisinin Hesaplanması 74
5.2.4 Rehidrasyon oranının belirlenmesi 75
5.2.5 Renk Analizi 76
5.3 Kombine Kurutma 76

5.4 Geometrik Şekile Göre Kurutma 78
BÖLÜM 6
SONUÇ VE ÖNERİLER 80
KAYNAKLAR 84
ÖZGEÇMİŞ 93

SİMGE LİSTESİ

°C	Santigrat derece
D_0	Sonsuz sıcaklıkta difüzyon katsayısına eşdeğer bir sabit (m^2/s)
D_{eff}	Efektif difüzyon katsayısı (m^2/s)
E_a	Aktivasyon enerjisi (kJ/mol)
L	Dilim yarı kalınlığı (m)
M	Nem içeriği (kg su/kg kuru madde)
m_d	Kuru madde miktarı (kg)
M_e	Kurutma koşullarındaki havanın denge su miktarı (kg su/kg kuru madde)
M_0	t=0 anındaki nem içeriği (kg su/kg kuru madde)
M_t	t anındaki nem içeriği (kg su/kg kuru madde)
$M_{t+\Delta t}$	t+Δt anındaki nem içeriği (kg su/kg kuru madde)
m_w	Su miktarı (kg)
MR	Nem oranı
MR_{exp}	Deneysel nem oranı
MR_{pre}	Tahmin edilen nem oranı
N	Deneysel veri sayısı
n	Kullanılan kurutma modelindeki katsayı sayısı
R	Üniversal gaz sabiti (kJ/(mol× K))
R^2	Regresyon katsayıları
RR	Rehidrasyon oranı
RMSE	Tahminin standart hatası
T	Kurutma sıcaklığı (°C)
t	Zaman (dakika)
χ^2	khi-kare değeri

KISALTMA LİSTESİ

cm	Santimetre
dak	Dakika
FD	Dondurarak kurutucu
g	Gram
HAD	Sıcak hava kurutucu
HPD	Isı pompası kurutucu
IR	Kızılötesi (Infrared) kurutucu
kg	Kilogram
kJ	Kilojoule
kHz	Kilohertz
kW	Kilowatt
LDPE	Düşük yoğunluklu polietilen
m	Metre
mg	Miligram
mm	Milimetre
MVD	Mikrodalga vakum kurutucu
RR	Rehidrasyon oranı
rpm	Dakikadaki devir sayısı (Revolution per minute)
s	Saniye
SCD	Güneş kabin kurutucu
W	Watt

ŞEKİL LİSTESİ

Sayfa

Şekil 2.1 Kuruyan gıda ve çevre arasındaki ilişki 3
Şekil 2.2 Güneş kollektörlü ısıl kutu 5
Şekil 2.3 Güneş enerjisi ile ısıtılmış hava ile kurutma sistemi 5
Şekil 2.4 Tünel tipi güneş kolektörlü sistem 6
Şekil 2.5 Elektromanyetik spektrum 8
Şekil 2.6 Hibrit kurutma teknolojisinin sınıflandırılması 10
Şekil 2.7 Kurutmanın aşamaları 11
Şekil 2.8 Adsorpsiyon ve desorpsiyon izotermi 13
Şekil 2.9 Sebze kurutma akım şeması 17
Şekil 2.10 Güneşte domates kurutma 18
Şekil 2.11 Kabin kurutucu sistemi 19
Şekil 2.12 Konveyör kurutucu sistemi 20
Şekil 2.13 Akışkan yatak kurutucu sistemi 21
Şekil 2.14 Valsli kurutucu sistemi 22
Şekil 4.1 Deneyde kullanılan kiraz domates 38
Şekil 4.2 Laboratuvar tipi kabin kurutucu 39
Şekil 4.3 Kızılötesi kurutucu 40
Şekil 4.4 Selecta marka etüv cihazının genel görünümü 40
Şekil 4.5 Meter Elektronik Fe-Konstant dijital termometre 41
Şekil 4.6 Anemometre genel görünümü 42
Şekil 4.7 Mettler marka terazinin genel görünüşü 42
Şekil 4.8 Precisa marka terazinin genel görünüşü 43
Şekil 4.9 Konica Minolta CR–400 cihazının genel görünüşü 44
Şekil 4.10 Isısal paketleme cihazı ve kullanılan polietilen torba 45
Şekil 4.11 Kabin kurutucuda kurutulacak olan domateslerin genel görünümü 46
Şekil 4.12 Kızılötesi kurutucuda kurutulacak olan domateslerin genel görünümü 47
Şekil 4.13 Kurutulmuş kiraz domateslerin rehidrasyon işlemi 48
Şekil 5.1 Kiraz domatesin 45°C sıcaklıktaki nem içeriğinin kuruma süresi ile değişimi 54
Şekil 5.2 Kiraz domatesin 55°C sıcaklıktaki nem içeriğinin kuruma süresi ile değişimi 55
Şekil 5.3 Kiraz domatesin 65°C sıcaklıktaki nem içeriğinin kuruma süresi ile değişimi 55

Şekil 5.4 Kiraz domatesin 65°C sıcaklıktaki nem içeriğinin kuruma süresi ile değişimi 56
Şekil 5.5 Kiraz domatesin 45°C sıcaklıktaki kurutma hızının kuruma süresi ile değişimi 57
Şekil 5.6 Kiraz domatesin 55°C sıcaklıktaki kurutma hızının kuruma süresi ile değişimi 57
Şekil 5.7 Kiraz domatesin 65°C sıcaklıktaki kurutma hızının kuruma süresi ile değişimi 57
Şekil 5.8 Kiraz domatesin 75°C sıcaklıktaki kurutma hızının kuruma süresi ile değişimi 57
Şekil 5.9 45°C'de kurutulan domates dilimleri için deneysel ve Logaritmik denkleminin tahmini nem oranı değerleri 62
Şekil 5.10 45°C'de kurutulan domates dilimleri için deneysel ve Midilli vd. denkleminin tahmini nem oranı değerleri 62
Şekil 5.11 55°C'de kurutulan domates dilimleri için deneysel ve Logaritmik denkleminin tahmini nem oranı değerleri 63
Şekil 5.12 55°C'de kurutulan domates dilimleri için deneysel ve Midilli vd. denkleminin tahmini nem oranı değerleri 63
Şekil 5.13 65°C'de kurutulan domates dilimleri için deneysel ve Logaritmik denkleminin tahmini nem oranı değerleri 64
Şekil 5.14 65°C'de kurutulan domates dilimleri için deneysel ve Midilli vd. denkleminin tahmini nem oranı değerleri 64
Şekil 5.15 75°C'de kurutulan domates dilimleri için deneysel ve Logaritmik denkleminin tahmini nem oranı değerleri 65
Şekil 5.16 75°C'de kurutulan domates dilimleri için deneysel ve Midilli vd. denkleminin tahmini nem oranı değerleri 65
Şekil 5.17 Kiraz domatesin efektif difüzyon katsayısının kurutma sıcaklığıyla değişimi 67
Şekil 5.18 Kiraz domates için sıcaklığın efektif difüzyon katsayısına etkisi 68
Şekil 5.19 Farklı sıcaklıklarda kurutulan domates dilimlerinin rehidrasyon oranları ... 71
Şekil 5.20 Kızılötesi kurutma gücünün kurutma süresine etkisi 72
Şekil 5.21 Kiraz domatesin efektif difüzyon katsayısının kurutma gücüyle değişimi 73
Şekil 5.22 Kiraz domates için kurutma gücünün efektif difüzyon katsayısına etkisi 74
Şekil 5.23 Farklı kızılötesi güçte kurutulmuş domates dilimlerinin rehidrasyon oranları 75
Şekil 5.24 Kombine kurutmada nem içeriğinin kurutma süresi ile değişimi 77
Şekil 5.25 65°C'de kabin kurutucuda kurutma sonrası (a) çeyrek (1/4), (b) yarım (1/2) (c) bütün (1/1) kiraz domatesler 78
Şekil 5.26 Geometrik şekli farklı olan kiraz domates örneklerinin nem içeriğinin kurutma süresi ile değişimi 79

ÇİZELGE LİSTESİ

Sayfa

Çizelge 3.1 Domates meyvesindeki kuru madde bileşenleri 25
Çizelge 3.2 Domates ve domates ürünlerinin genel kimyasal bileşimi (yenilebilir 100 g için) 26
Çizelge 3.3 Domates ve domates ürünlerinin mineral madde bileşimi (yenilebilir 100 g için) 26
Çizelge 3.4 Domates ve domates ürünlerinin bazı vitamin içerikleri (yenilebilir 100 g için) 27
Çizelge 3.5 Domates ve domates ürünlerinin bazı karotenoid içerikleri (yenilebilir 100 g için) 27
Çizelge 4.1 Domates kurutma eğrilerinin modellenmesinde kullanılan denklemler 50
Çizelge 5.1 Hava sıcaklığının ve ön işlemin kiraz domates dilimlerinin kuruma sürelerine etkisi 53
Çizelge 5.2 45°C ve 55°C'de kurutulan domates dilimlerini için matematiksel denklemler kullanılarak hesaplanmış regresyon katsayısı, khi-kare ve RMSE değerleri 60
Çizelge 5.3 65°C ve 75°C'de kurutulan domates dlimlerini için matematiksel denklemler kullanılarak hesaplanmış regresyon katsayısı, khi-kare ve RMSE değerleri 61
Çizelge 5.4 Kiraz domates için efektif difüzyon katsayıları 66
Çizelge 5.5 Literatürden farklı domates türleri için efektif difüzyon katsayı değerleri 67
Çizelge 5.6 Farklı domates türleri için aktivasyon enerjileri 69
Çizelge 5.7 Taze kiraz domates renk analiz değerleri 69
Çizelge 5.8 Kabin kurutucuda kurutulmuş domates dilimlerinin renk analiz değerleri 70
Çizelge 5.9 Kızılötesi kurutucuda kurutulmuş domates dilimlerinin renk analiz değerleri 76

ÖZET

KİRAZ DOMATESİN KURUTMA KİNETİĞİNİN VE BAZI KALİTE KRİTERLERİNİN BELİRLENMESİ

Işıl Burçak YÜCE

Kimya Mühendisliği Anabilim Dalı

Yüksek Lisans Tezi

Tez Danışmanı: Prof. Dr. İbrahim DOYMAZ

Bu çalışmada, kiraz domatesler sıcak havalı kabin kurutucu, kızılötesi kurutucu ve kombine kurutucuda (sıcak havalı kabin kurutucu+ kızılötesi kurutucu) kurutulmuştur. Sıcak havalı kabin kurutucuda farklı sıcaklıklarda (45, 55, 65 ve 75°C) ve sabit hava hızında (2±0,1 m/s), kızılötesi kurutucuda farklı güçlerde (62, 74, 88 ve 104 W) ve kombine kurutucuda önce 62 W gücünde sonra 65˚C sıcaklıkta kurutulmuştur. Bununla beraber geometrik yapının kurutma süresine etkisini araştırmak amacıyla kiraz domatesler bütün (1/1), yarım (1/2) ve çeyrek (1/4) olarak kabin kurutucuda 65˚C'de kurutulmuştur. Sadece 45, 55, 65 ve 75°C hava sıcaklığında kabin kurutucuda kurutulan domates dilimlerine kurutma işleminden önce, sodyum bisülfit (%2 $NaHSO_3$) çözeltisinde ve ayrıca potasyum karbonat (%2 K_2CO_3+ %1 zeytinyağı) çözeltisinde 2 dakika süre ile ön işlem uygulaması yapılmıştır. Ayrıca kontrol olarakta kurutma işlemi gerçekleştirilmiştir. Bütün kurutma işlemleri gerçekleştikten sonra renk analizi ve rehidrasyon işlemi yapılmıştır. Kurutma denemelerinin sonunda hava sıcaklığının ve ön işlemin kurutma süresine etkisi incelenmiştir. Kurutma havasının sıcaklığının artması ve ayrıca ön işlem uygulanması kurutma süresini kısaltmıştır. Kiraz domateslerin 45, 55, 65 ve 75°C sıcaklıklardaki ve 62, 74, 88 ve 104 W güçlerindeki efektif difüzyon katsayısı ve aktivasyon enerjisi değerleri hesaplanmıştır. Kurutma sonucunda elde edilen veriler Lewis, Henderson ve Pabis, Logaritmik, Page, Midilli vd., Wang ve Singh, Aghbashlo vd. ve Parabolic olmak üzere sekiz matematiksel modele uygulanmıştır. Her bir model için katsayılar, regresyon katsayısı (R^2), khi-kare (χ^2) ve tahmini standart hatası (RMSE)

değerleri hesaplanmıştır. Araştırılan matematiksel modeller arasında Midilli vd. ve Logaritmik denklemleri domates dilimlerinin kurutma karakteristiklerinin tanımlanması için en uygun modeller olarak belirlenmişlerdir.

Anahtar Kelimeler: Kiraz domates, kurutma, kabin kurutucu, kızılötesi kurutucu, matematiksel modelleme

ABSTRACT

DETERMINATION OF CHERRY TOMATO DRYING KINETICS AND SOME QUALITY CRITERIA

Işıl Burçak YÜCE

Department of Chemical Engineering

MSc. Thesis

Adviser: Prof. Dr. İbrahim DOYMAZ

In this study, cherry tomatoes were dried in a hot air cabinet dryer, infrared dryer and combined dryer (hot air cabinet dryer + infrared dryer). Cherry tomatoes were dried at four different temperatures (45, 55, 65 and 75°C) and at constant air velocity (2 ± 0,1 m/s) in hot air cabinet dryer and were dried at different infared powers (62, 74, 88 and 104 W) in the infrared dryer. Finally at combined dryer, the tomatoes were dried with 62 W infrared power and then dried at 65°C in cabinet dryer. In order to investigate the effect of the geometric structure on drying time, cherry tomatoes were dried at 65°C in the whole (1/1), half (1/2) and quarter (1/4) in cabinet dryer. Tomato slices were pretreated for 2 minutes in a solution of sodium bisulfite (2% $NaHSO_3$) as well as potassium carbonate (2% K_2CO_3 + 1% olive oil) prior to drying only at 45, 55, 65 and 75°C air temperature in cabinet dryer. Also, the untreated samples were dried as control. At the end of drying experiments, the effect of air temperature and pretreatment on drying time was investigated. Increasing the temperature of the drying air and also application of pretreatment reduced the drying time. The effective diffusion coefficient and activation energy values of the cherry tomatoes at temperatures of 45, 55, 65 and 75°C and infrared power of 62, 74, 88 and 104 W were calculated. After all drying processes, color analysis and rehydration were performed. The data obtained as results of drying were carried out by eight mathematical models; Lewis, Henderson and Pabis, Logarithmic, Page, Midilli et al., Wang and Singh,

Aghbashlo et al. and Parabolic. For each model, regression coefficient (R^2), khi-square (χ^2) and root mean square error (RMSE) values were calculated. Among the mathematical models investigated, the Midilli et al. and Logarithmic models satisfactorily described the drying characteristics of tomato slices.

Key Words: Cherry tomato, drying, cabinet dryer, infrared drier, mathematical modeling

BÖLÜM 1

GİRİŞ

1.1 Literatür Özeti

Meyve ve sebzelerin üretimleri mevsimliktir ve uzun süre saklanmaları mümkün değildir. Bu sorunu elimine etmek için pek çok yöntem geliştirilmiştir. Eski çağlardan beri insanların doğadan öğrenerek uyguladığı kurutma yöntemi bu yöntemlerden biridir. İlk kurutma yöntemi olan güneşte kurutma ülkemizde de yaygın olarak kullanılır. Fakat güneşte kurutmanın avantajları olduğu gibi dezavantajları da oldukça önem arz etmektedir. Meyve ve sebzeler güneşte kurutulurken dış alana açık haldedir. Böylelikle toz, toprak, yağmur, çeşitli böcek ve hayvanlarla temasta bulunması kontaminasyon riski doğurmaktadır. Bununla birlikte ortam sıcaklığı, hava hızı gibi önemli parametreler değişkenlik gösterebildiği için son ürün kalitesinde olumsuzluklara sebep olmaktadır [1]. Kurutma işleminin gıda endüstrisine girmesiyle birlikte yapay kurutma sistemleri geliştirilmiştir. Kurutma sektörü geliştikçe yapay kurutmanın pek çok çeşidi ortaya çıkmıştır. Daha öncelerde, kurutmadaki temel prensip olan gıda içerisindeki nem miktarının azaltarak gıdaların korunmasının en popüler ve etkili yöntem konvektif kurutma olarak pek çok araştırmacı tarafından belirtilmiştir. Ancak, konvektif kurutma yönteminde nispeten uzun kuruma süresi, kullanılan yüksek sıcaklıklar ve kurutma havasının yüksek hızları gibi bu kurutma yöntemi ile ilgili birçok problem bulunmaktadır. [2]. Bu problemleri minimuma indirgemek ve son ürün kalitesini arttırmak için son yıllarda kombine kurutma sistemleri kullanılmaya başlanmıştır. Spesifik olarak, sıcak hava ile kurutma ile birlikte kızılötesi enerjinin kullanımı, ısıtılmış kurutma havası ile kızılötesi radyasyonun sinerjik etkisi nedeniyle özellikle tarımsal ürünlerin kurutulmasında önemli bir ilgi uyandırmaktadır [3].

Domates, dünyada ve ülkemizde en çok üretilen tarım ürünlerinin başında gelmektedir. Ayrıca domates, insan beslenmesinde vazgeçilmez bir üründür ve gıda sanayinde pek çok çeşitli kullanım alanlarına sahip olması önemli bir sebzedir [4]. Bu sebeple domatesin raf ömrünü uzatmak ve mevsime bağlı olmadan kullanımını arttırmak amacıyla kurutularak kullanılması önemlidir.

1.2 Tezin Amacı

Bu çalışmada, kiraz domateslerin kurutma karakteristikleri incelenecektir. Kurutma sistemi olarak sıcak havalı kabin kurutucu, kızılötesi (infrared) kurutucu ve her iki kurutma sisteminin kullanıldığı kombine kurutucu kullanılacaktır. Kurutma işleminden önce iki farklı çözeltide ön işlem uygulaması yapılacaktır. Ön işlemin, hava sıcaklık derecesinin kurutma hızına etkisi, kurutulmuş kiraz domateslerin difüzyon katsayısı, aktivasyon enerjisi, matematiksel modellenmesi, renk analizi ve rehidrasyon kapasiteleri belirlenecektir.

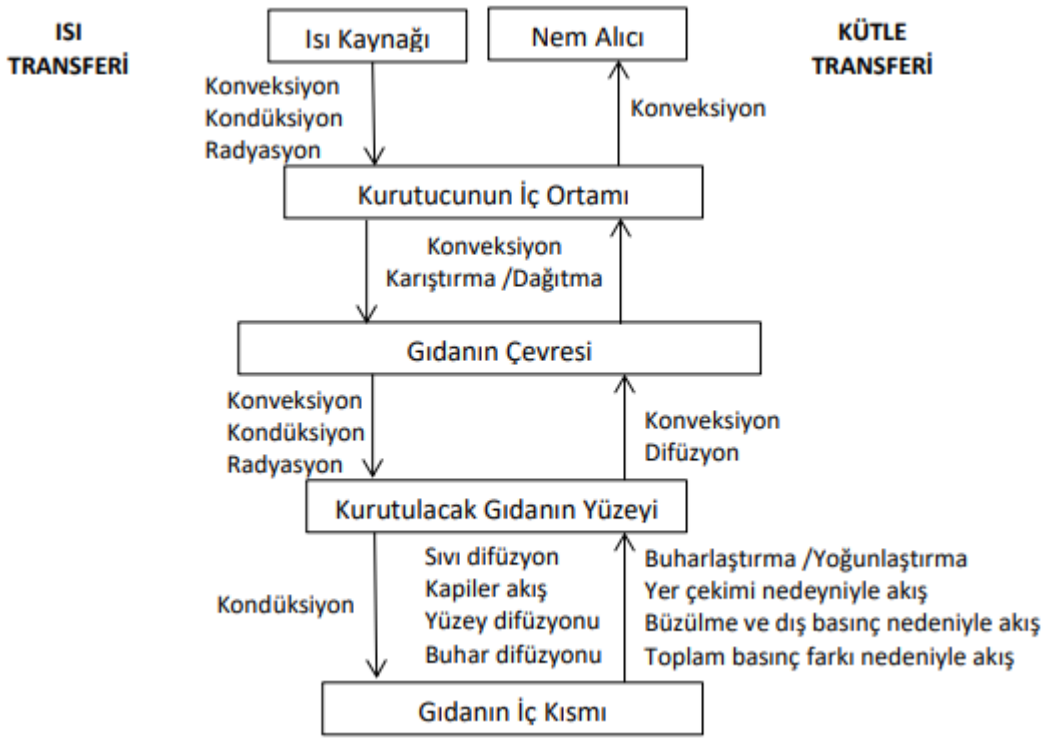
1.3 Orijinal Katkı

Kiraz domates dilimleri, sıcak havalı kurutucuda farklı sıcaklıklarda (45, 55, 65 ve 75°C) ve sabit hava hızında (2±0,1 m/s), kızılötesi kurutucuda farklı güçlerde (62, 74, 88 ve 104 W) ve kombine kurutucuda önce 62 W gücündeki kızılötesi kurutucuda ve daha sonra 65°C sıcaklıktaki kabin kurutucuda kurutulmuştur. Deneysel verilerden yararlanılarak kiraz domates için her kurutma sistemine göre kurutma kinetiği ve efektif difüzyon katsayıları ile aktivasyon enerji değerleri bulunmuştur. Sekiz farklı matematiksel model arasından R^2, χ^2 ve RMSE değerleri incelenerek uygun olan seçilmiştir. Sıcaklık, ön işlem ve kurutucu sisteminin farklılığının renk üzerine etkisi incelenmiştir. Son olarak rehidrayon yani tekrar su alma kapasiteleri ölçülmüştür. Temel besin ögelerini zengince barındıran domatesin raf ömrünü uzatmak amacıyla kurutulmasında seçilecek sıcaklık değeri, ön işlem uygulanması ve kurutucu tipi gibi son ürün kalitesini oldukça etkileyen parametreler araştırılmıştır. Araştırma sonuçlarının sebze kurutma sektörünün gelişmesine katkı sağlaması amaçlanmıştır.

BÖLÜM 2

KURUTMA

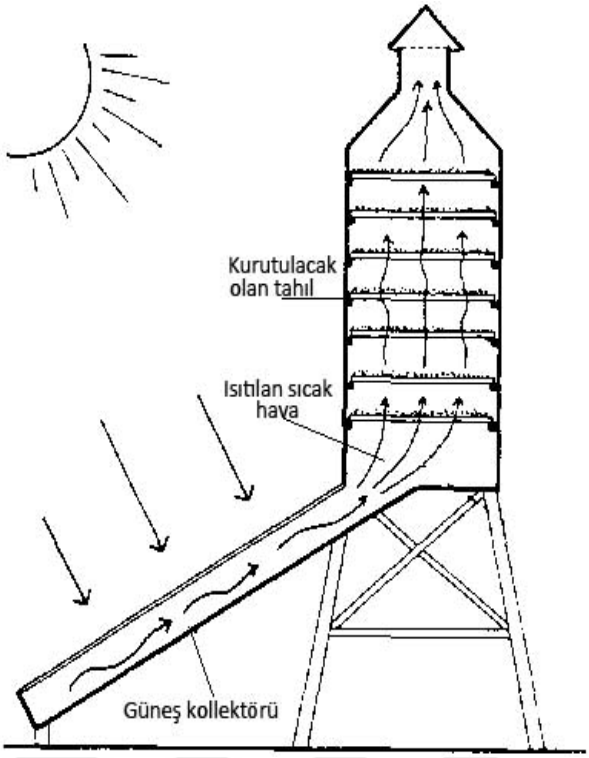
Gıdalar enzimatik, mikrobiyolojik, kimyasal ve kimyasal olmayan reaksiyonların etkisiyle hızla bozulmaya meyillidir. Gıdaların bozulmasının hızlı olmasının başlıca sebebi, içerdikleri su yüzdesinin yüksek olmasıdır [5]. Su yüzdesini düşürmek ve böylece gıdaların uzun süre muhafaza edilmesini sağlamak amacıyla kurutma işlemi uygulanır. Kurutma, temel olarak gıda içerisindeki suyun buharlaştırma veya süblimleşme yoluyla uzaklaştırılması işlemi olarak tanımlanır. Şekil 2.1'de görüldüğü gibi ısı ve kütle aktarımının birlikte gerçekleşir [6].



Şekil 2.1 Kuruyan gıda ve çevre arasındaki ilişki [7]

Kurutma işleminin uygulanmasının başlıca amacı gıda içerisinde istenilen nem içeriğinin ayarlanması ve bu nem içeriğinin düşürülmesidir. Nemin düşürülmesi neticesinde, gıdada hacim ve ağırlık azalması meydana gelir ve bu durum gıdanın taşınabilirliğini ve paketlenmesini kolaylaştırır. Gıdaların soğutularak, dondurularak, kimyasal maddelerle işlemlerden geçirilerek, modifiye veya kontrollü atmosferde depolanarak, ultraviyole ve radyoaktif ışınlara mazur bırakılarak saklanması mümkün olmakla birlikte bu yöntemlerin içerisinde kendine en geniş uygulama alanı bulan yöntem kurutmadır. Kurutma işlemi, meyve ve sebzelerin hasat mevsimi dışında da tüketilmesinin sağlanabildiği en eski saklama yöntemlerinden biridir [8].

Kurutma başlıca güneşte kurutma ve yapay kurutma olarak sınıflandırılır. Güneşte kurutma yöntemi günümüzde hala kullanımı olan en eski kurutma yöntemidir. Güneşten gelen ısı ve havanın doğal hareketi kullanılarak kurutma işlemi yapılır. Güneşte kurutma yöntemi doğal kaynaktan elde edilmesiyle ekonomiktir. Fakat kurutma işleminin dış etkilere açık olması ve kontrol edilemeyen iklim koşullarıyla birlikte kurutulan gıdaların zarar görmesi, kalitesinde düşme olması, istenilen nem derecesine kadar düşürülemeyişi ve şekil, tekstür, renk ve besin içeriği kaybetme eğilimi gibi önemli zararlar bulunmaktadır. Oluşan bu zararları en aza indirmek amacıyla sera tipi ve güneş kolektörlü sistemler kullanılmaya başlanmıştır [9,10]. Sera tipi kurutma sisteminin üzeri güneş ışınlarını geçirmesi için saydam bir örtü ile kapatılır. Saydam örtü malzemesinden geçen güneş ışınları, bu örtülerin altındaki yapı elemanlarınca absorbe edilip, ısı taşıyıcı akışkan olarak hava yardımı ile taşınarak kurutulacak gıdaların üzerine ulaştırılır. Güneş kolektörlü sistemlerde, güneşte kurutmanın aksine güneş ışınları gıdaya direk olarak temas etmez ve daha hijyenik olarak kurutma yapılır. Ürünler sadece sıcak hava ile kurutulur. Güneş kolektörlü sistemlerden bir tanesi Şekil 2.2'de görülen güneş kollektörlü ısıl kutudur. Üzerinde güneş enerjisini soğuracak bir kollektör bulunan kurutma kutularıdır.



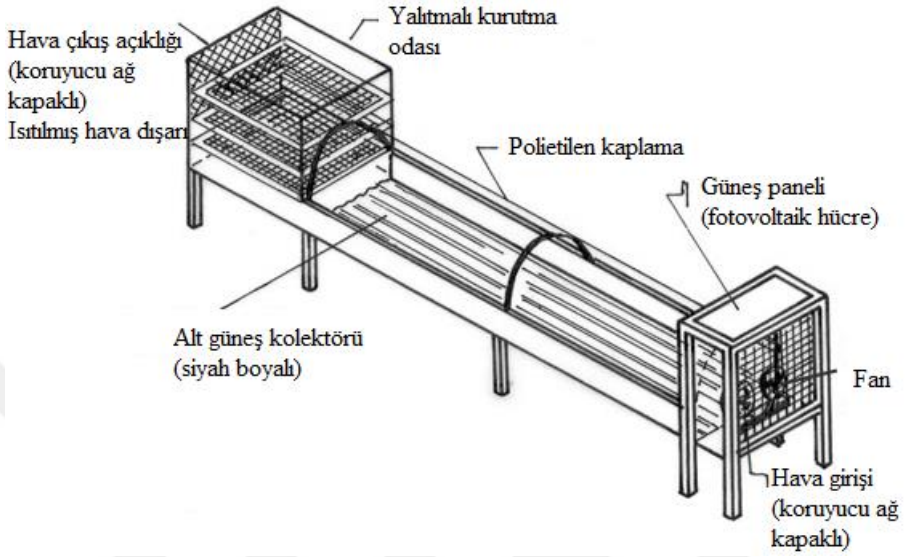
Şekil 2.2 Güneş kollektörlü ısıl kutu [11]

Bir diğer güneş kolektörlü sistem ise Şekil 2.3'de görülen güneş enerjisi ile ısıtılmış hava ile kurutmadır. Çatı veya duvara monte edilen kollektörler yardımı ile ısıtılan hava kurutulmak istenen maddenin üzerine yollanır. İstenilirse ek bir ısıtma ile hava ısıtılır ve bu şekilde kullanılır. Bu şekilde sistem içerisinde devamlı temiz ve sıcak hava sirkülasyonu sağlanır.



Şekil 2.3 Güneş enerjisi ile ısıtılmış hava ile kurutma sistemi [11]

Bunlarla beraber, radyasyonunun emilmesi için yeterli bir yüzey alanı sağlamak amacıyla Şekil 2.4'de görülen tünel şeklinde kurutucular kullanılmaktadır. Kurutma odasının kapasitesi için gıdanın miktarı 50-100 kg, kollektör uzunluğu 10-15 metre olmalıdır [10].



Şekil 2.4 Tünel tipi güneş kollektörlü sistem [11]

Ek olarak çok kollektörlü kurutma sistemleri de uygulanmaktadır. Tünel kurutmayla yaklaşık olarak aynı bölgede bir kollektör yüzeyini kullanır ancak üç ayrı kollektöre bölünmüştür. Üç kollektör, biri sabah güneşi biri öğlen güneşi sonuncu ise öğleden sonra güneşi alacak şekilde konumlandırılmıştır. Böylelikle güneş ışınlarından en iyi şekilde yararlanılır.

Yapay kurutma ise kurutma tesislerinde, dışarıdan alınan havanın bir ısıtıcı yardımıyla ısıtıldıktan sonra kurutulacak gıda maddesiyle temas ettirilmesi esasına dayanan kurutma işlemidir. Güneşte kurutmayla tat, aroma, renk bakımından kalite üstünlüğünü sağlamak, temizlik kontrolü kolaylığı sağlamak ve nem ayarı yapabilmek gibi özelliklere de sahiptir.

2.1 Kurutma Yöntemleri

Yaygın olarak uygulanan temel kurutma yöntemleri konveksiyon kurutma, kondüksiyon kurutma, radyason kurutma, dondurarak kurutma ve osmatik kurutmadır.

2.1.1 Konveksiyon kurutma

Konveksiyon kurutmada herhangi bir gazın kurutulacak maddenin her bölgesinden geçerek taşıdığı ısı, madde içerisinde bulunan nemin buharlaştırılması sağlar. Gaz olarak genellikle hava tercih edilmektedir [12]. Konveksiyon kurutma yönteminde yaygın olarak; kabin kurutucular, tünel kurutucular, akışkan yatak kurutucular ve püskürterek kurutucular kullanılmaktadır.

Sıcak havayla kurutma, endüstriyel gıda kurutma işlemlerinde en yaygın yöntemi olarak kullanılmaktadır. Bunun başlıca sebebi kullanımının kolaylığı ve düşük yatırım maliyetidir. Fakat sıcak havayla kurutma zaman alıcıdır ve genellikle diğer yöntemlerden daha yüksek bir kurutma sıcaklığı gerektirir. Bu durum kurutulacak olan gıda maddesinde olumsuz etkilere sebep olmaktadır. [13].

2.1.2 Kondüksiyon kurutma

Gıdanın kurutulmasında temel prensip olan nemin buharlaştırması için gerekli ısı kondüksiyon yani iletim yolu ile taşınır. Genellikle çok ince veya nem oranı oldukça yüksek maddelerin kurutulmasında tercih edilir. Kurutulacak madde hareketsiz kalırken veya hareket ederken bu sırada temas ettiği sıcak yüzeyden maddeye ısı taşınır. Bu yöntemin vakum kurutucular, dondurmalı kurutucular gibi çok çeşitli uygulamaları mevcut olup, en yaygın örneği valsli kurutuculardır [14].

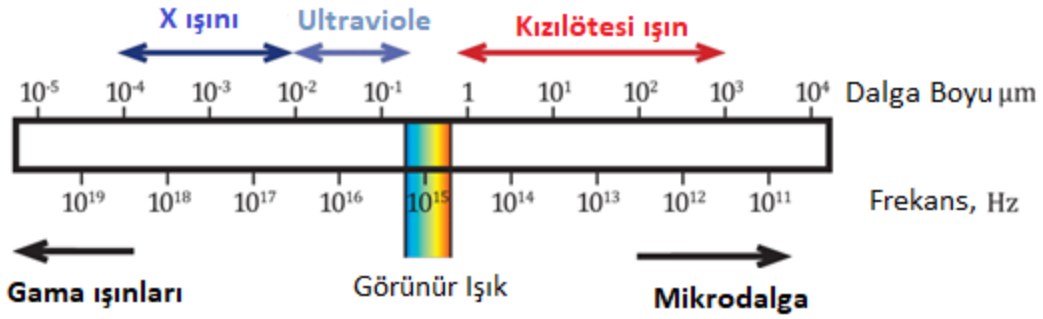
2.1.3 Radyasyon kurutma

Radyasyon kurutmada, ortam hava sıcaklığı yükseltilmeden yani herhangi bir taşıcıya ihtiyaç duymadan direk olarak kurutulacak maddeye etki etmektedir. Radyasyon kurutmada mikrodalga, dielektrik veya infrared gibi elektromanyetik enerji türlerinden yararlanılmaktadır [15].

2.1.3.1 Infrared (Kızılötesi) kurutma

Kızılötesi ışınım, gıda maddelerinin işlenmesinde yararlanılan 0,5-100 μm dalga boyu arasındaki elektromanyetik spekturumun bir parçasıdır [16]. Kızılötesi teknolojisi gıda da pişirme, çözdürme, kavurma, pastörizasyon ve sterilizasyon gibi pek çok alanında kullanılmasıyla beraber içlerinde en yaygın olarak kullanılan kurutma sistemidir.

Kızılötesi teknolojisi gıda kurutma yöntemi olarak 1950'lerde kullanılmaya başlanmıştır. Kızılötesi kurutma, güneşte kurutmanın yapay formu olarak düşünülebilir [17].



Şekil 2.5 Elektromanyetik spektrum [18]

Birçok çalışmada, kızılötesi kurutmanın sıcak hava ile kurutmaya göre daha yüksek enerji verimliliği, kısa kurutma süresi ve daha iyi son ürün kalitesi gibi bazı üstünlükleri olduğu bildirilmiştir [19]. Bununla birlikte kızılötesi ışınların herhangi bir toksik etkisi rapor edilmemiş olup, çevresel açıdan da temiz bir enerji kaynağıdır [16]. Kızılötesi kurutma işlemi, elma [20-21], havuç [22], şeftali [23], sarımsak [21], tatlı patates [24] ve domates [25] gibi meyve ve sebze üzerinde uygulamaları mevcuttur.

Kurutma sonunda istenilen özelliklerde iyileştirme sağlamak amacıyla kızılötesi (IR) kurutma diğer kurutma sistemleriyle birlikte kombine halde kullanılmaktadır. Onwude vd. [3], tatlı patatesin kurutma kinetiğini kızılötesi ve sıcak hava kurutma kullanarak araştırmıştır. Sonuç olarak önce IR daha sonra sıcak havada kurutulan patatesler, önce sıcak havada ve daha sonra IR'de kurutulanlara kıyasla daha kısa zamanda kurumuştur. Hebbar vd. [26], kızıötesi-sıcak hava kurutma kombinasyonu ile yapılan kurutmada tek başına kızılötesi kurutmaya göre %63 daha az enerji harcandığını ve işlem süresinin %48 oranında kısaldığını bildirmiştir.

2.1.4 Dondurarak kurutma

Gıdaların dondurarak kurutulması, en yüksek kalitede nihai ürün ile sonuçlanan en iyi kurutma yöntemlerinden biridir. Dondurarak kurutma, suyun katıdan gaz haline geçtiği buz parçalarının süblimleşmesidir. Çok düşük sıcaklıkta gerçekleşmesiyle tüm bozulma aktiviteleri ve mikrobiyolojik aktiviteler durdurulur ve son ürünün daha kaliteli olmasını sağlar [27]. Dondurarak kurutma işleminde temel olarak üç aşama bulunmaktadır. İlk

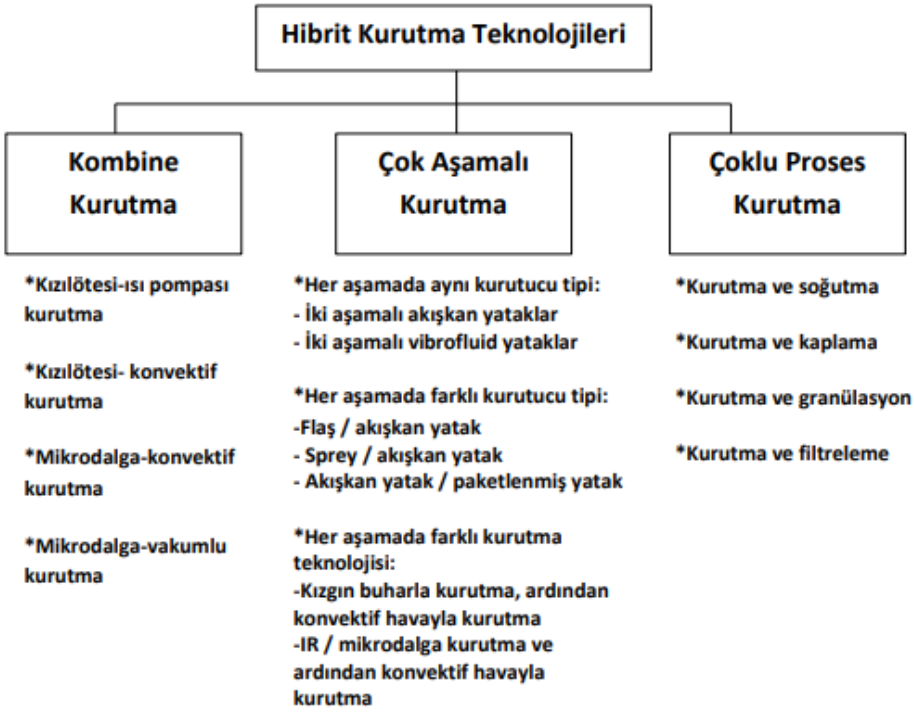
olarak donma işlemi gerçekleşir. Kurutulacak gıdanın tamamen donması sağlanır. İkinci aşama ise birinci kurutma periyodudur. Bu aşamada donmuş haldeki su yani buz kristalleri, süblimleşme ile uzaklaştırılır. Son olarak ikinci kurutma periyodudur. Birinci kurutma periyoduyla uzaklaştırılan su depolama ömrü için yeterli olmayacağından gıda içerisinde kalan ve adsortif bağlı olan su yüksek sıcaklık uygulaması ile uzaklaştırılır [28].

2.1.5 Ozmotik Kurutma

Ozmotik kurutma, gıdaların yüksek ozmotik basınçtaki tuz veya şeker çözeltisine batırmak suretiyle suyun uzaklaştırılması işlemidir. Ozmotik basınçtaki farklılık nedeniyle su, gıdadan çözeltiye aktarılır. Ozmoz, kısmi dehidrasyon işlemi olarak tanımlanabilir. Bir gıdanın ozmotik yöntemle kurulması son ürünün nem içeriği bakımında yeterli sonuç elde edilemez fakat nem içeriğinin azalması düşük enerji harcaması yapılarak elde edilmiş olunur. Bu sebeple diğer yöntemlerle kurutma yapılmadan önce bir ön işlem olarak uygulanması tavsiye edilir [27]. Ozmotik dehidrasyonda, renk, aroma, besin bileşenleri ve aroma bileşiği tutma değerlerinin yüksek olduğu bildirilmiştir [29].

2.1.6 Hibrit Kurutma

Gıdaların çeşitliliği, gıda endüstrisine farklı tip kurutucu türlerinin gelişmesini sağlamıştır. Genellikle uygun kurutucunun seçimi, gıdanın kurutma özelliklerine göre yapılır. Isıya duyarlı gıdalar için, ürüne ısı sağlama ve üründen nemi uzaklaştırma, istenen ürün nem içeriğini elde etmek için doğru kurutucuyu seçmek için kritik husustur. Hibrit kurutma teknolojilerinin geliştirilmesindeki amaç kurutulacak gıdanın kurutma sonrası istenilen özelliklerini iyileştirmek ve yine istenen nem içeriğine sahip bir ürün elde etmektir. Hibrit kurutma teknolojisinin sınıflandırılması Şekil 2.6'da görülmektedir. Araştırmalar sonucunda hibrit kurutma tekniklerinden bazıları, doğru bir şekilde birleştirilirse, gelişmiş ürün kalitesi ve enerji tüketiminde azalma açısından etkili oldukları saptanmıştır [30].



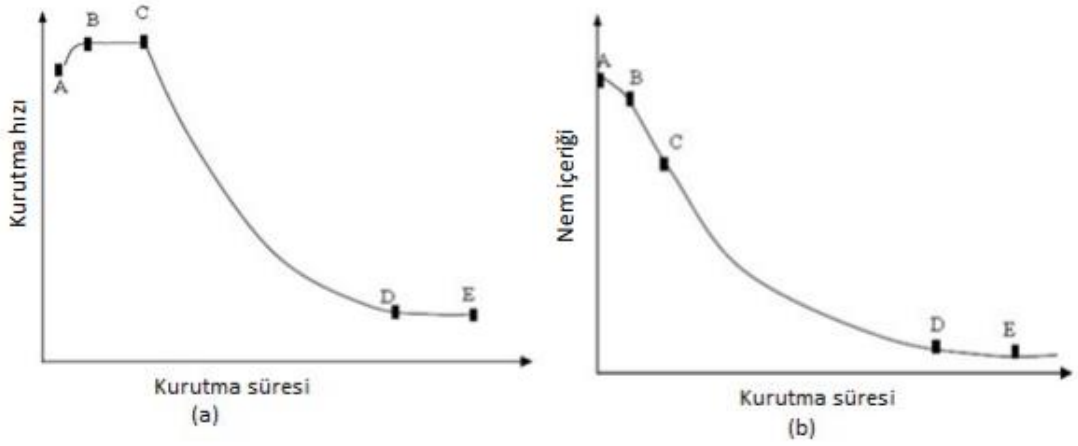
Şekil 2.6 Hibrit kurutma teknolojisinin sınıflandırılması [31]

Kurutucuların kombinasyon halinde kullanılması genellikle, konveksiyon-mikrodalga, konveksiyon-ozmotik dehidrasyon, konveksiyon-kızılötesi radyasyon, konveksiyon-ultraviyole radyasyon, konveksiyon-vakum, konveksiyon-ultrason, sprey kurutma-liyofilizasyon, liyofilizasyon-kızılötesi radyasyon olarak kullanılır [32].

2.2 Kurutmanın Aşamaları

Kurutmada dört adet temel aşama bulunmaktadır.

1. Ayarlama periyodu: Kurutulacak olan nemli maddenin üzerinden, sıcaklığı ve nem içeriği belirli olan hava akımı geçirildiğinde ısıtıcı havanın kurutulacak maddeye verdiği ısı enerjisinin bir kısmı madde yüzeyinin sıcaklığını yükseltirken, diğer kısmı latent buharlaşma ısısı olarak kullanılır. B noktasına kadar olan bu AB sürecine ayarlama periyodu denir, kuruma hızı düşüktür [33]. Bu sabit olmayan ayarlama periyodu genellikle çok kısadır ve bazen kurutma zamanı analizlerinde ihmal edilmektedir (Şekil 2.7).



Şekil 2.7 Kurutmanın aşamaları [34]

2. Sabit debi periyodu: B noktasından sonra başlayan BC periyodu sürecine sabit debi periyodu denir. Bu periyotta kurutucu havadan maddeye ısı enerjisinin aktarılma hızı, buharlaşma hızına eşit olur. Bu süreçte, kurutucu havadan maddeye aktarılan ısı enerjisinin tamamı, maddenin içerdiği nemin gizli buharlaşma ısısı olarak kullanıldığı için maddenin yüzey sıcaklığı sabit kalır. Kuruma, kurutucu havanın sıcaklığı ile yaş termometre sıcaklığı arasındaki farkın belirleyeceği sabit hızla, birinci kritik nem içeriği noktasına (C noktası) kadar devam eder [33].

3. İlk azalan debi periyodu: Kuruma sabit hızda devam ederken nem içeriği azalınca maddenin iç kısmındaki nem dış yüzeye difüzlenerek devamlı bir sıvı filmi oluşturamaz. Çünkü kurumadan dolayı maddenin nem içeriği azalmıştır. Kuruyan dış yüzeyde yer yer kuru noktalar oluşmaya başlar. Böylece kritik nem içeriği denen bu C noktasından itibaren kuruma hızı düşmeye maddenin yüzey sıcaklığı artmaya başlar. CD boyunca kuruma hızının devamlı azaldığı bu sürece doymamış yüzey kuruma periyodu veya azalan debi periyodu denir [33].

4. İkinci azalan debi periyodu*:* D noktasından itibaren oluşan kuru noktalar çoğalmaya ve genişlemeye başlar ve en dışta kuru bir katman oluşur. Gerek ısı geçirgenliği az olan kuru katmanın oluşması, gerek yüzeye taşınacak sıvı katmanın difüzyon hızının azalması ile kuruma hızı D noktasından itibaren devamlı bir düşüş gösterir. Bu D noktasına ikinci kritik nem içeriği noktası denir. DE boyunca, buharlaşma hızı, iç katmanlardan yüzeye difüzlenen nemin difüzyon hızına bağlıdır. Buharlaşma (kuruma) hızı azaldıkça kurutucu havadan alınan ısı enerjisinin çok az bir miktarı buharlaşma gizli ısısı olarak

kullanıldığından partiküllerin yüzey sıcaklıkları daha da artar. E noktasına ulaşıldığında buharlaşma durmuştur. Çünkü kurutucu havanın içindeki nemin buhar basıncı ile maddenin içindeki nemin buhar basıncı eşit olunca kuruma sona erer. Bu durumda, buharlaşma olmadığından verilen ısı buharlaşma gizli ısısı olarak kullanılmaz; bu ısı, ürün sıcaklığını artırır ve kuruyan maddenin sıcaklığı kurutucu havanın sıcaklığına (kuru termometre sıcaklığına) yaklaşır. Maddenin nem içeriğini daha da düşürmek için kurutucu havanın sıcaklığını artırmak gerekir [33].

2.3 Kurutma Hızına Etki Eden Faktörler

Kimyasal Bileşim: Gıdalar farklı kimyasal bileşime sahiptir ve kimyasal bileşim kuruma boyunca değişiklik gösterir. Özellikle tuz ve şeker gibi küçük moleküllü suda eriyen maddelerce zengin ürünler, bu maddeleri hiç içermeyen ürünlerden daha zor kurur. Çözünmüş maddeler suyun buhar basıncını düşürdüğünden suyun buharlaşmasını güçleştirir. Ayrıca, bir gıdanın yağ, nişasta, glikoz ve pektin içeriğinin yüksek olması kuruma hızını sınırlar. Nişasta, pektin ve diğer gam maddelerini oluşturan kolloidal jel içinde tutulan suyun ortamdan daha zor uzaklaşmasına neden olur. Sebzelerde su, hücre içinde ve hücreler arasında bulunur. Hücreler arasındaki suyun uzaklaşması kurutmayı kolaylaştırır. Haşlama ile hücreler arasındaki su uzaklaştırılır ve ürünler daha hızlı kurur [34].

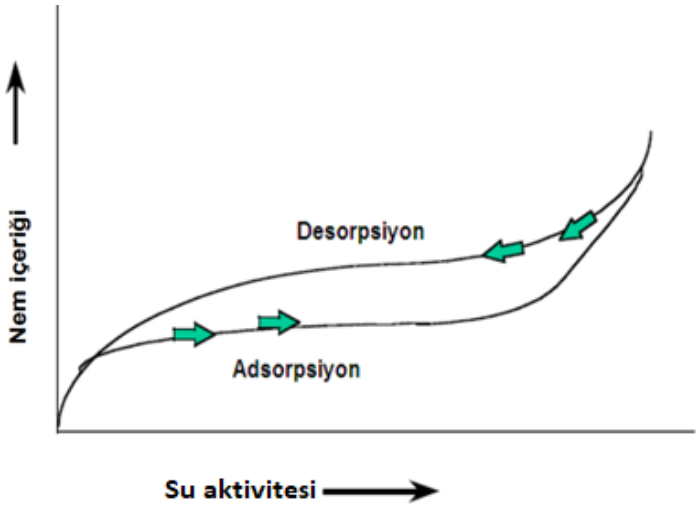
Ürünün Boyutları: Kuruma hızı, yüzey alanı genişledikçe daha hızlı olduğu gibi kalınlık arttıkça yavaşlar. Kurutma hızını arttırmak için genellikle gıdaların boyutları değiştirilir. Fakat bu durum, tüketicinin arzusu ya da gıdanın yapısından dolayı her zaman mümkün olmamaktadır. Özellikle gıdanın kesilmesiyle ürün içerisinde bulunan bağlı su ortaya çıkmasından kaynaklı kurutma hızında artış meydana gelir [34].

Havanın Hızı: Isı ve kütle aktarımı hızını etkileyen bir diğer değişken kurutucu havanın hızıdır. Havadaki hareket varlığı ve bu hareketin hızlı oluşu kurutmayı olumlu yönde etkiler. Ancak bu etki belli bir değere kadardır [34].

Havanın Nemi: Havanın nisbi nemi, aynı zamanda kurutmanın hangi seviyeye kadar yapılacağını tayin eder. Kurutulmakta olan gıdayla hava nemi arasında bir denge oluşuncaya kadar kurutma işlemi devam eder [34].

Atmosfer Basıncı: Kurutma genellikle atmosfer basıncına açık sistemlerde yapılır. Su 1 atm ve 100°C'de kaynar. Kaynama derecesi sabit tutularak basınç düşürüldüğü sürece kaynama işlemi hızlanacaktır. Ürünü atmosfere kapalı bir ortama koyarsak üründeki su daha düşük sıcaklık derecelerinde uzaklaştırılabilir. Bu olay, ısıya duyarlı ürünlerde düşük kurutma dereceleri ve kısa süreli kurutma yönünden önem taşır [35].

Sıcaklık: Kurutma hızını etkileyen en önemli faktörlerden birisi, kullanılan sıcak havanın kuru ve yaş termometre dereceleri arasındaki farktır. Bu fark arttıkça kurutma hızı da artar. Gıdanın sıcaklığı ne kadar düşük ve kurutma sıcaklığı ne kadar yüksek olursa ısı transfer hızı o kadar etkili olur. Ayrıca ortamdaki havanın sıcak oluşu su tutma kapasitesini artırır. Maddenin içinde bulunduğu havanın nem miktarının sabit sıcaklıkta değiştirilmesi ile maddenin içerdiği nem miktarındaki değişimi gösteren eğriler sorpsiyon izotermleri olarak adlandırılırlar [36]. Gıdanın nem alması (adsorpsiyon) ile nem vermesi (desorpsiyon) olayları aynı yolu izleyeceği için her iki eğrinin elde edilmesiyle sorpsiyon izotermi çizilmiş olur. Böyle bir sorpsiyon izotermi Şekil 2.8'de gösterilmektedir. Desorpsiyon izotermi, ürünlerin kurutulması işleminin izlenmesinde, adsorpsiyon izotermi kurutulmuş ürünlerin higroskopik nitelikleri ile depolama koşullarının belirlenmesinde kullanılır.



Şekil 2.8 Adsorpsiyon ve desorpsiyon izotermi [37]

2.4 Kurutma Sırasında Meydana Gelen Başlıca Değişimler

2.4.1 Fiziksel değişmeler

Yöresel Kuru Madde Birikimi: Gıdaların kurutulması sırasında oluşan kuru madde birikimi, direk olarak kuru madde hareketine bağlıdır. Kurutma gerçekleşirken gıdanın öncelikle yüzeyindeki su uzaklaşır ve iç tabakalardaki su yüzeye hareket eder. Bu harekette, su içerisinde erimiş maddeler su ile beraber taşınır. Böylece alt tabakalardaki kuru madde su ile yüzeye kadar taşınır ve su uzaklaşıp gidince, yüzeyde bir kuru madde birikimi görülür. Yüzeyde kuru madde konsantrasyonu artınca, iç kısımlarda düşmüş konsantrasyonu dengelemek amacıyla bu defa yüzeyden içeri doğru bir kuru madde akımı başlar [38].

Kabuk Oluşumu: Kabuk oluşumu, genellikle kurutma ilk sıcaklığının çok yüksek olmasından kaynaklanır. Yüzeyde hızla oluşan kuru tabaka büzüşme sonucu henüz ıslak olan alt tabakalara baskı yapar, alt tabakalar bu basınca direnç gösterir. Bu durumda kuruma sonucu büzüşme olanağı bulamayan üst tabaka gerilip sert bir kabuk haline dönüşür. Kabuk bağlama ile birlikte kuruma hızı düşer [38].

Kitle Yoğunluğunda Değişmeler: Herhangi bir materyalin birim hacminin ağırlığına kitle yoğunluğu denir. Kurutulmuş bir ürünün kitle yoğunluğu onun kurutulmasında uygulanan koşulların bir göstergesidir ve ayrıca kurutulmuş ürünün bir kalite ölçüsüdür. Kurutma koşulları eğer, ürünün yüzeyinin iç kısımlarına göre daha fazla ve hızlı kurumasına neden olmayacak şekildeyse, tüm kitle beraberce kurur kurutulan gıda şeklini kaybeder. Hacmi son derece küçülür. Böyle bir ürünün kitle yoğunluğu çok yüksektir. Buna karşın önce yüzeyde aşırı bir kuruma oluşacak şekilde hızlı bir kurutma uygulanırsa, dış tabakalar sertleşir ve ürünün içi henüz ıslak kalır. Daha sonraki kuruma aşamalarında alt tabakalar da kurur. Ancak sertleşmiş dış tabaka, daha sonra kuruyan alt tabaka üzerine çökemediğinden kurumuş ürünün içinde kat kat boşluk ve çatlaklar oluşur. Bunlarda kitle yoğunluğu çok düşüktür. Kitle yoğunluğu düşük olan kurutulmuş ürünlerin iç kısmında bir sürü boşluk ve çatlak bulunduğundan bunların kesiti incelenirse bazen bir petek görüntüsü ortaya çıkar [38].

Kurutulmuş Ürünün Rehidrasyon Yeteneği: Meyve ve sebzeler kurutulduktan sonra tüketimde kullanılacakları zaman genellikle suda bekletilir. Bu sebeple rehidrasyon yeteneği yani bünyesine tekrar su alması ve su alarak eski haline ve şekline

dönüşebilme düzeyi oldukça önemlidir. Bu özellik dondurularak kurutulmuş ürünlerde önemli ölçüde sağlanabilirse de, diğer kurutma yöntemleriyle kurutulanlarda önemli ölçüde kaybedilmiş olur [38].

2.4.2 Kimyasal değişimler

Besin Değerinde Oluşan Değişimler: Kurutma gıda türüne, kurutma yöntemine, işlem yoğunluğuna ve çalışma koşullarına bağlı olarak besinin kimyasal bileşimini ve besin maddelerini önemli ölçüde değiştirebilir. Kurutulmuş gıdaların besin değerindeki değişiklikler, hazırlama sistemleri (ön işlemler), kurutma koşulları (özellikle sıcaklık) veya saklama koşullarından (kuruduktan sonra) kaynaklanabilir. Vitaminlerin suda çözünürlüğü değişkendir. Kurutma devam ettikçe, bazı vitaminler (örneğin riboflavin) aşırı doymaya ulaşır ve çökelir, bu nedenle düşük kayıplar meydana gelir. Diğerleri (örneğin C vitamini), gıdadaki nem içeriği çok düşük olana kadar erir ve işlem ilerledikçe çözünenlerle daha yüksek oranda reaksiyona girer. C vitamini özellikle ısı ve oksidasyondan etkilenir. Yağda çözünen vitaminler ısıya ve oksidasyona karşı daha kararlıdır (kayıpları <% 10), ancak lipid oksidasyonundan kaynaklanan peroksitlerle reaksiyona girebilir [32]. Kurutma işlemi C vitamini gibi diğer bazı bileşikleri yok etmesine rağmen, suyun giderilmesi kalanların yüzde olarak oranını yükseltir. Böylece besin değerinde artış meydana gelir.

Tat ve Aroma: Kurutma, işlem sıcaklığına, uçucu maddelerin buhar basıncına, su buharındaki çözünürlüğüne ve gıdadaki katı madde konsantrasyonuna göre gıdadaki uçucu bileşenlerde meydana gelen kayıpları oluşturur. Kurutulmuş gıdaların tadını korumak için bazı yöntemler vardır. Bu yöntemler, düşük sıcaklıkta kurutma ve/veya vakum kullanmak, gıdalarda doğal enzimlerin aktivasyonunu teşvik etmek ve aroma bileşiklerini kullanmaktır [32].

Esmerleşme Reaksiyonları/Renk: Gıdalarda kurutma sırasında enzimatik ve enzimatik olmayan esmerleşme reaksiyonları meydana gelir. Kurutulmuş ürünlerde genellikle enzimatik olmayan esmerleşme reaksiyonları olur. Enzimatik olmayan esmerleşme reaksiyonu, indirgen şeker gibi karbonil grubu içeren maddelerle, serbest amino grubu içeren aminoasitler veya proteinler arasında gerçekleşen bir tür reaksiyondur [39]. Meyvelerde kuruma sırasında meydana gelen enzimatik ve özelliklede enzimatik olmayan esmerleşmeleri önlemek için kükürt dioksit uygulaması en yaygın başvurulan

uygulamadır. Meyve ve sebzelerde kurutulmasında ön işlem olarak kükürt dioksit uygulaması, su kaybı hızlandığı için kurumayı da hızlandırmaktadır. Sebzelerin mekanik olarak kurutulmasında kükürt dioksit uygulanan ürünlerde kurutma sıcaklığını biraz yükseltilebilir. Bu da sebzelerde renk esmerleşmesi görülmeden daha kısa sürede kurutmanın tamamlanmasına olanak sağlayabilmektedir. Sebzelerde SO_2 uygulaması, ürünün SO_2 çözeltisine daldırılması veya solüsyonun sebzeler üzerine püskürtülmesi şeklinde yapılır. Kükürtleme çözeltisi olarak sülfit veya bisülfit çözeltisi uygulanır. Domateslerde kükürtleme işlemi genellikle sergi yerine serilen kesilmiş domateslerin üstüne sodyum metabisülfit çözeltisinin püskürtülmesi şeklinde uygulanmaktadır [40].

Lipid Oksidasyonu: Lipid oksidasyonu genellikle et ve ürünlerinin kurutulmasında ortaya çıkan bir problemdir [41]. Lipid oksidasyonu sonucunda gıdada acılaşma başta olmak üzere istenmeyen tat değişiklikleri ve yağda çözünen vitaminlerin kayıpları meydana gelir [42].

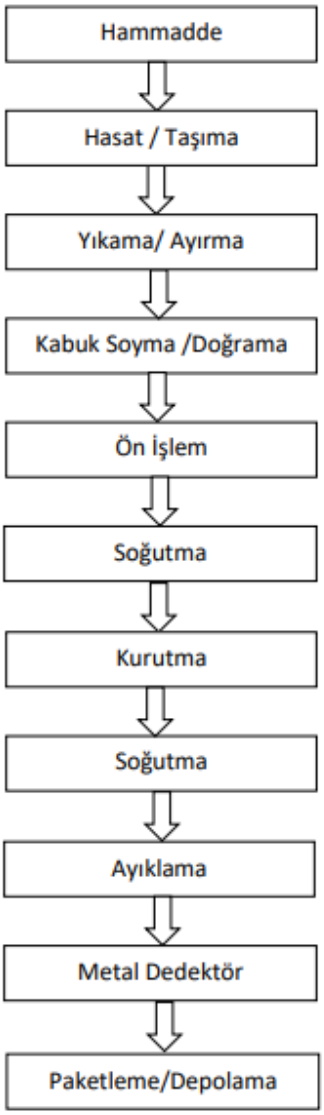
Çözünebilme Kapasitesi: Özellikle süt tozu gibi kurutulmuş taneli yapıdaki gıdaların kalite kriterleri arasında yer almaktadır. İşlem koşulları, muhafaza şartları, ürünün kompozisyonu, pH'sı ve tane büyüklüğü çözünebilme kapasitesini etkilemektedir. Yüksek sıcaklıkta kurutulan gıdalarda protein denatürasyonu gerçekleştirebileceğinden çözünürlük önemli ölçüde azalmaktadır [42].

2.5 Sebze Kurutma

Pek çok sebzenin kurutulmuş formu bulunmaktadır. Özellikle Akdeniz gibi bol güneş alan bölgelerde yaygın olarak güneşte kurutma yapılmaktadır [38]. Sebzeler genellikle kurutulmadan önce ön işleme tabi tutulurlar. Değişken kurutma sıcaklıklarda sebzelerin kurutulması için birçok farklı kurutucu türü kullanılır [43]. Guiné ve Barroca [44] bal kabağı ve yeşilbiberi 30°C and 70°C sıcaklıklarda sıcak havalı kurutucu ve dondurarak kurutucuda, Doymaz vd. [45] dereotu ve maydanozu 50, 60 ve 70°C'de laboratuvar tipi kurutucuda, Singh ve Pandey [46], tatlı patatesi 50, 60, 70, 80 ve 90°C kabin kurutucuda ve Corrêa vd. [47] domatesi kızılötesi kurutucuda kurutmuştur. Her sebzenin kurutulmasında aşamalar farklılık gösterse de genel olarak kullanılan üretim aşaması Şekil 2.9'da verilmiştir.

Sebzeler ilk olarak istenilen olgunluğa ulaştıklarında hasat edilirler. Hasat edilirken gerekli önlemler alınmazsa sebzeler zarar görebilir. Bu zarar, kurutma sonrası son ürün kalitesine kadar etki gösterir. Hammadde hasat edildikten sonra taşıması yapılır. Taşıma işlemi genellikle plastik kasalarda yapılmaktadır. Daha sonra sebzeler, kuruma işlemine hazırlamak için soğuk ve temiz su ile yıkanır böylece toz, toprak ve kimyasal kalıntılarından arınmış olur. Yıkanan sebzeler ayıklanır. Bozuk, ezik, küflü ve çürümüş olan kısımlar kesilip uzaklaştırılır ya da sebze tamamen atılır.

Kurutmayı hızlandırma için sebzelerin kabukları soyulur ve küçük parçalar halinde kesilir. Bu işlem sebzenin cinsine ve tüketicinin arzusuna göre değişim gösterebilmektedir. Ayrıca çekirdekleri bu aşamada çıkartılır.



Şekil 2.9 Sebze kurutma akım şeması [48]

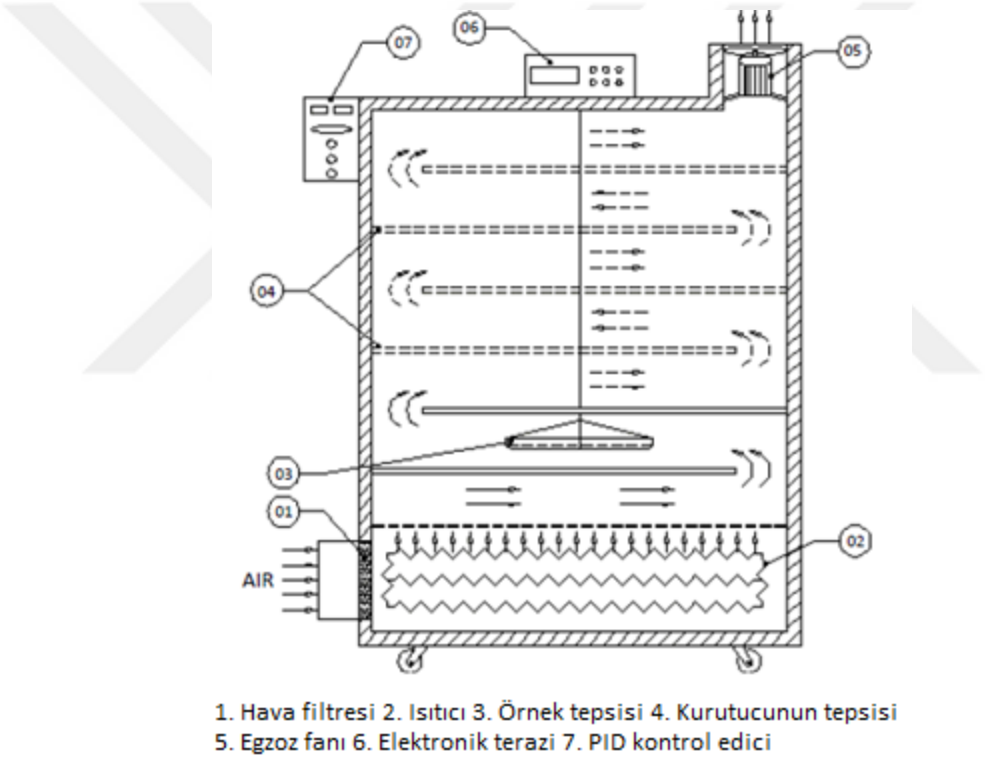
Ön işlem, sebzelerin kurumadan önce sahip oldukları suyun daha hızlı uzaklaştırılması, renklerin, tatların, besin değerlerinin korunması, üzerlerindeki olası mikrobik aktivitelerin engellenmesi ve böylece daha hijyenik olmasının sağlanması için yapılan fiziksel, kimyasal işlemlerin bütünüdür. Sebzelere uygulanan en yaygın ön işlem haşlamadır. Tanım olarak, haşlama, sebzelerin dokuda mevcut olan enzimleri yok edecek kadar yüksek bir sıcaklığa kadar ısıtılması işlemidir. Haşlama, kurutma ve depolama sırasında renk ve lezzet kaybına neden olabilecek enzimlerin aktivasyonunu durdurur. Ayrıca doku duvarlarını gevşeterek nemin içeri ve/veya dışarıya alınımı hızlandırır, böylece kuruma ve rehidrasyon süresini kısalır. Sebzeler suyla veya buharda haşlama yapılabilir. Haşlama işlemi direk olarak suda yapıldığında fazla besin kaybına neden olur, ancak buharla yapılan haşlanmadan daha az kısa sürede gerçekleşir. Haşlamadan sonra sebzeleri kısaca soğuk suya batılır ve soğutulması sağlanır. Sebzelerde haşlanmadan kaynaklanan ısı, kurutma işleminin daha hızlı başlamasına neden olur [49]. Haşlama dışında uygulanan bir diğer yaygın yöntem ise, çözeltiye daldırmadır. Çözeltiye daldırma gıdaların dış yüzeyindeki mumsu tabakayı çözerek kurutma hızını arttırır. Çeşitli derişimlerde ve sıcaklıklarda sitrik asit, askorbik asit, potasyum karbonat, potasyum hidroksit, sodyum hidroksit, potasyum metebisülfat, etil ve metil ester emülsiyonları gibi çözeltileri ya da bunların karışımlarına daldırma yoluyla gıdalara istenilen sürelerde ön işlemler uygulanmaktadır [50].



Şekil 2.10 Güneşte domates kurutma [51]

Sebzelerin kurutulması, güneşe doğrudan maruz bırakma veya yapay kurutma sistemlerinde yapılabilir. Kurutmada amaç sebzenin içerisindeki su oranının azaltılmasıdır. Sebzelerin doğal olarak güneş enerjisi ile kurutulması ekonomik bir yöntemdir. Şekil 2.10'da domatesin güneşte kurutulması verilmiştir.

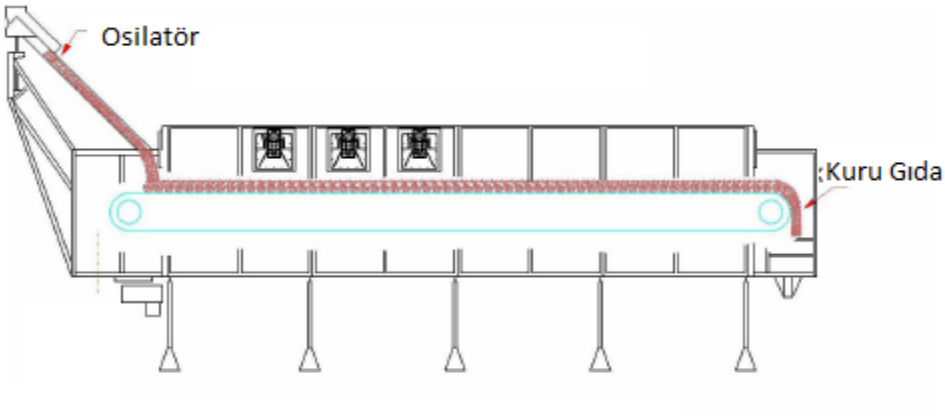
Sebzelerin yapay kurutmasında pek çok farklı kurutucu tipi kullanılmaktadır. Sebze (özellikle domates) kurutmada en yaygın olarak kullanılan kurutucu kabin kurutucudur (Şeil 2.11). Kabin tipi kurutucular daha çok taneli ve dilimlenmiş ürünler için uygun olup, gıda yassı bir şekilde kurutmanın yapılacağı tepsilere yayılır ve kabine koyulur. Bu tip kurutuculardа ürüne göre belli bir hava hızı uygulanmakta olup, ürün kısa kurutma süresine sahiptir [52].



Şekil 2.11 Kabin kurutucu sistemi [53]

Tünel kurutucular, kabin kurutucuların daha gelişmiş halidir. Kabin kurutuculardа kurutma süresi boyunca raflar sabit iken tünel kurutuculardа tünel boyunca bir hareket mevcuttur. Bu şekilde kurutulacak taze ürün taşıyan bir araba tünele sokulurken, diğer uçtan kurumuş ürün taşıyan başka bir araba tünelden dışarı çıkartılır [38].

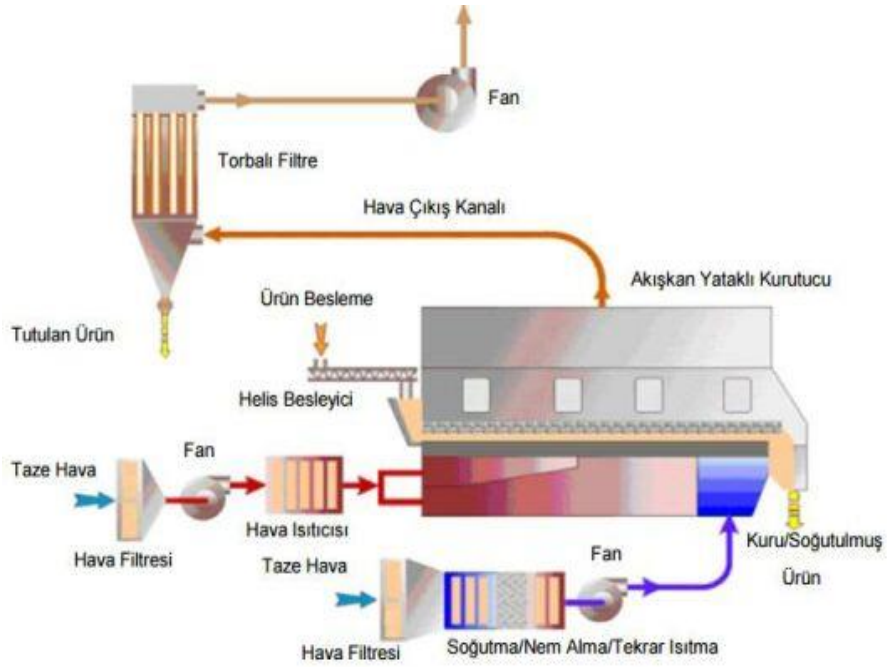
Bantlı (konveyör) kurutucuların çalışma ilkesi tünel kurutucular gibidir. Kurutma süresi boyunca çalışan bir bant sistemi vardır (Şekil 2.12). Elma, havuç, soğan ve fasulye gibi doğranmış, kıyılmış, parça hâlindeki gıdaların kurutulmaları için uygundur [38].



Şekil 2.12 Konveyör kurutucu sistemi [54]

Akışkan yatak kurutucu özellikle meyve ve sebzelerin kurutulmasında yaygın olarak kullanılmaktadır (Şekil 2.13). Üç ana tip akışkan yataklı kurutucu mevcuttur. İlk tip statik akışkan yatak olarak adlandırılır, çünkü kurutma işlemi sırasında sabit kalır. İkinci tür akışkan yatak kurutucuları, kurutucu gövdesinin titreştiği veya salındığı, maddenin ünite boyunca hareket etmesine yardımcı olan titreşimli bir akışkan yatak kurutucusudur. Akışkan yataklı kurutucular, yüksek ısı ve kütle transferi oranları ve düşük kuruma süreleri nedeniyle, özellikle katı taneciklerin (toz, granül vs. form) kurutulmasında tercih edilmektedir [55].

Sandık kurutucular; özellikle sebzelerde, kurumanın son aşamasında kullanılan kurutma sistemleridir. Özellikle tünel veya konveyörde kurutulmuş sebzelerdeki nem oranının, istenen son düzeye düşürülmesinde kullanılırlar. Sandık kurutucularda ilke, ana kurutucuda kurutulmuş ürünün bir sandığa doldurulup, alttan ılık ve kuru hava verilmesidir [38].

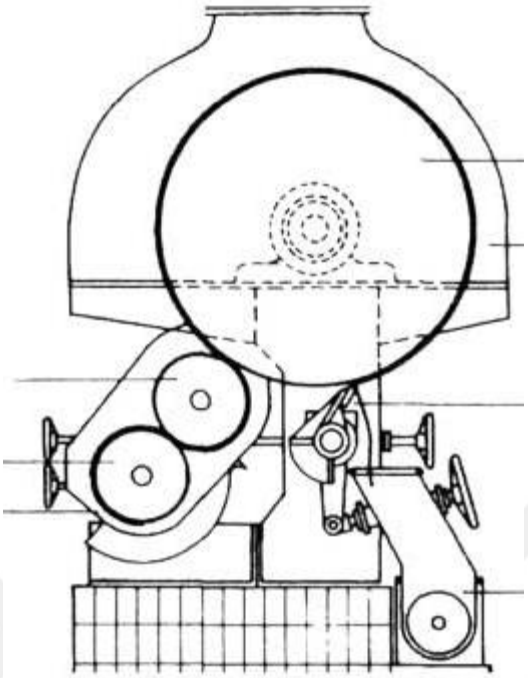


Şekil 2.13 Akışkan yatak kurutucu sistemi [54]

Sıvı veya yarı sıvı halindeki gıdaların örneğin sebze pürelerinin kurutulmasında valsli kurutuculardan yararlanılır. Bu kurutucularda ilke, içten ısıtılan bir silindirin (Vals) sıcak yüzeyine ince bir tabaka halinde yayılan sıvı veya lapa halindeki gıdanın silindirin dönüşü sırasında yüzeyde kurutulması ve buradan kazınıp alınmasıdır. Yüzey buhar veya sıcak sıvı ile ısıtılır. Çeşitli tipte valsli kurutucular vardır ve genellikle "tek valsli" ve "çift valsli" kurutucular olmak üzere iki ana gruba ayrılırlar. Çift valsli kurutucular daha yaygın kullanılmaktadır. Vals, genellikle dökme demirden yapılmıştır ve dış yüzeyi paslanmaz çelikle kaplanmıştır (Şekil 2.14).

Vakum kurutma özellikle zor kuruyan sebzeler için kullanılan önemli bir yöntemdir. Yapılan çalışmalar bu metodun, kurutma işlem süresini diğer metotlara nazaran çok kısalttığını göstermiştir. Kurutma bölmesindeki basınç normal atmosfer basıncının altında bir değere düşürülmüştür. Vakum ne kadar arttırılırsa o kadar düşük sıcaklıkta kurutma sağlanabilecektir. Vakum gıdada bulunan suyun düşük sıcaklıklarda atmosferik koşullardan daha kolay buharlaşmasını sağlamaktadır. Daha da önemli bir diğer nokta, suyun uzaklaştırılması esnasında ortamda hava bulunmadığı için oksidasyon reaksiyonlarını azaltmaktadır. Vakum kurutucularda kurutulmuş olan ürünlerde renk,

tekstür ve aroma iyi bir şekilde korunabilmektedir ve ısı değişimine karşı çok hassas olan gıdalar da kısa sürede besin kaybı yaşamadan kurutulabilir [53].



Şekil 2.14 Valsli kurutucu sistemi [55]

Ambalajlama işleminden önce kurutulmuş ürünlerin soğutulması gerekir. Kurutuculardan çıkan kurumuş ürünler, hemen ambalajlandığında raf ömrü kısalır ve nem miktarı artarak mikroorganizmaların üremesi kolaylaşır. Bu gibi istenmeyen özelliklerin oluşumunu engellemek için mutlaka belli bir sıcaklığa kadar uygun ortamlarda soğutulması gerekir.

Her kurutulan üründe daima ortaya çıkan en önemli olumsuzluk, renk esmerleşmesidir. Birçok meyve ve sebze kurutma sırsında bu renk değişimleri görülmektedir. Meyve ve sebzelerde kuruma sırasında meydana gelen enzimatik ve özellikle de enzimatik olmayan esmerleşmeleri önlemek için kükürt dioksit uygulaması en yaygın başvurulan uygulamadır. Sebzelerde SO_2 uygulaması, ürünün SO_2 çözeltisine daldırılması veya solüsyonun sebzeler üzerine püskürtülmesi şeklinde yapılır. Kükürtleme çözeltisi olarak sülfit veya bisülfit çözeltisi uygulanır. Domateslerde kükürtleme işlemi genellikle sergi yerine serilen kesilmiş domateslerin üstüne sodyum metabisülfit çözeltisinin püskürtülmesi şeklinde uygulanmaktadır. Büyük alanlarda yapılan kurutma işleminde,

iki kişinin tutmuş olduğu borudan sodyum metabisülfitin püskürtülmesiyle kükürtleme işlemi yapılmaktadır [40].

Kurutulmuş ürüne değişik yollardan metal bulaşabilir. Metal dedektör, kurutulmuş ürünlerde kritik kontrol noktalarından biridir. Bu nedenle de çok önemlidir. Bunlar dedektörden geçirilerek temizlenir [48].

Gıdalar kuruduktan sonra soğutuur. Daha sonra bunları temiz neme karşı dayanıklı kaplara yerleştirilir. Cam kavanozlar, metal kutular veya derin dondurucu kapları, sıkı oturan kapakları varsa iyi saklama kaplarıdır. Kuru yiyecekler serin, kuru ve karanlık bir yerde muhafaza edilmelidir [49].

Soğutulan kurutulmuş sebzeler uygun ambalajlara doldurularak depolanır. Ambalajın niteliği ve depolama ortamının koşulları kurutulmuş sebzelerin raf ömrünü etkileyen en önemli etkenlerdir. Kurutulmuş sebzeler; uzun süre dayanıklılığını artırmak, dışarıdan gelecek nem, ışık, hava ve tozdan korumak, sevkiyatı gerçekleştirmek amacıyla ambalajlanır. Kurutulmuş sebzeler için en ideal depo alanı soğuk, karanlık ve kuru olmalıdır. Deponun soğuk olması depoya koyulan soğutucular sayesinde sağlanır. Kurutulmuş sebzeler, genel olarak 0-4^{o}C'de %50–60 bağıl nemli depolarda bozulma belirtisi olmadan ortalama bir yıl depolanabilir [48].

BÖLÜM 3

DOMATES

3.1 Domatesle İlgili Genel Bilgi

Domates (*Lycopersicum esculentum* L.), Solanaceae familyasının üyesi olup anavatanı Meksika ve Peru'dur. 1900'lü yılların başından beri ülkemizde yaygın olarak yetiştirilmektedir. Domates, dünyada en çok üretilen tarım ürünlerinin başında gelmesi, insan beslenmesinde vazgeçilmez ürünlerden olması ve gıda sanayinde pek çok çeşitli kullanım alanlarına sahip olması nedeniyle önemli sebzelerin başında gelmektedir. Domates üretimi, tüm yaş sebze üretimine oranla %13'lük paya sahiptir. Dünya domates üretiminde 2016 yılı itibariyle 56,4 milyon tonluk üretim ile Çin ilk sırada, 18,4 milyon tonluk üretimi ile Hindistan ikinci, USA 13,03 milyon ton ile üçüncü ve 12,6 milyon tonluk üretimi ile Türkiye ise dördüncü sırada yer almaktadır. Üretimi her geçen yıl artan domatesin ticari önemi sebebiyle bilimsel olarak en çok araştırılan sebzelerden birisi olmuştur. Domates çabuk bozulan bir yapıya sahip sahiptir ve hasattan tüketime %50'ye varan oranında bir kayıp görülebilmektedir [57]. Domates taze tüketimi yanında başta salça olmak üzere ketçap, domates suyu, domates püresi, soyulmuş domates, dilimlenmiş domates, küp şeklinde doğranmış domates, domates konservesi ve son yıllarda artan kurutulmuş domates kullanımı bulunmaktadır [58].

Domates yaklaşık %93-95 arasında su oranına sahiptir ve geri kalanı inorganik bileşikler, organik asitler (sitrik asit ve malik asit), alkolde çözünemeyen katı maddeler (proteinler, selüloz, pektin, polisakkaritler), karotenoidler ve lipidlerdir [4].

Çizelge 3.1 Domates meyvesindeki kuru madde bileşenleri [4]

Bileşen madde	**%**
Fruktoz	25
Glikoz	22
Sakaroz	1
Sitrik Asit	9
Malik Asit	4
Protein	8
Dikarboksilik amino asit	2
Pektinler	7
Selüloz	6
Hemiselüloz	4
Mineraller	8
Yağlar	2
Askorbik asit	0,5
Renk maddeleri	0,4
Diğerleri (amino asitler, vitaminler, polifenoller)	1
Uçucu bileşikler	0,1

Çizelge 3.1'de görüldüğü üzere kuru bileşen içerisinde en yüksek fruktoz ve glikozdur. Taze domates suyundaki serbest aminoasitlerin %45'ini glutamik asit oluşturmakta, bunu aspartik asit izlemektedir. Sitrik asit en fazla bulunan organik asit iken, bir miktar da malik asit bulunmaktadır. Bunların yanı sıra, domatesin tadı ve aroması üzerinde etkili olan 400'ün üzerinde madde bulunmuş, bunların 30 tanesinin aroma oluşumunda çok daha yüksek etkisinin bulunduğu belirlenmiştir. Uçucu ve değişken aroma maddelerinin ve organik asitlerin yanında şekerler, serbest aminoasitler, mineral tuzları da domatesin tadının oluşumunda rol oynamaktadır. Domatese kırmızı rengini veren metabolit ise, başta likopen olmak üzere karotenoidlerdir. Bu bileşenler Çizelde 3.2'de görüldüğü gibi domatesin tipi (sofralık), kiraz (kiraz) vb. çeşit, uygulanan işlemler,

yetiştirme ortamı (tarla, sera), bölge, hasat zamanı gibi faktörlere göre farklılıklar gösterebilmektedir [59].

Çizelge 3.2 Domates ve domates ürünlerinin genel kimyasal bileşimi (yenilebilir 100 g için) [59]

	Kiraz	Sofralık	D. Suyu	D. Kurusu	Konserve	Salça	Ketçap
Protein (g)	0,87	0,89	0,75	11,31	0,88	4,56	1,12
Yağ (g)	0,22	0,20	0,08	0,53	0,22	0,52	0,17
Karbonhidrat (g)	4,62	2,86	2,11	29,22	1,77	16,64	25,33
Glikoz (g)	1,43	1,18	1,12	5,04	-	-	-
Fruktoz (g)	1,62	1,15	1,43	8,58	-	-	-
Kül (g)	0,73	0,66	0,96	10,99	0,50	2,98	2,36
Su (g)	92,53	94,29	94,74	26,30	95,18	71,72	68,67
Diyet lif (g)	1,02	1,10	1,36	21,65	1,45	3,58	2,37
Enerji (kCal)	26	19	15	210	15	97	112

Ayrıca domates ve domates ürünleri pek çok mineral madde açısından değerli bir besin kaynağıdır. Çizelge 3.3 incelendiğinde, domates ürünlerinin özellikle potasyum açısından zengin bir kaynak olduğu görülmektedir.

Çizelge 3.3 Domates ve domates ürünlerinin mineral madde bileşimi (yenilebilir 100 g için) [59]

	Kiraz	Sofralık	D. Suyu	D. Kurusu	Konserve	Salça	Ketçap
Potasyum (mg)	229	206	239	3416	209	260	281
Fosfor (mg)	29	27	-	317	-	-	26
Kalsiyum (mg)	13	10	11	143	20	25	15
Mg (mg)	13	12	11	177	10	12	13
Na (mg)	5	4	-	2124	-	-	907
Demir (mg)	0,32	0,34	0,09	6,46	0,55	1,52	0,35
Çinko (mg)	0,19	0,16	0,10	1,97	0,01	0,01	0,17

Domates mikro düzeyde bazı vitaminler açısından değerli bir besin kaynağıdır. Domates ve bazı ürünlerinin vitamin içerikleri Çizelge 3.4'te verilmiştir. Domates iyi bir C vitamini kaynağı olarak bilinir ve C vitamini, domatesin antioksidan potansiyeline en çok katkıda bulunanlardan bileşenlerden biridir [60].

Çizelge 3.4 Domates ve domates ürünlerinin bazı vitamin içerikleri (yenilebilir 100 g için) [59]

	Kiraz	Sofralık	D. Suyu	D. Kurusu	Konserve	Salça	Ketçap
C vitamini (mg)	24,3	19,8	70,1	39,2	9,2	21,9	4,1
A vitamini (RE)	63	51	23	44	11	76	26
Niasin (mg)	0,624	0,613	0,67	9,05	1,22	3,08	1,43
Riboflavin (mg)	0,027	0,025	0,08	0,49	0,05	0,15	0,17
Tiamin (mg)	0,028	0,030	0,10	0,53	0,07	0,06	0,01
Folat (µg)	12	13	20	68	13	12	9
K1 vitamini (µg)	3,7	3,3	2,3	43	5,3	11,4	3,0

Domates ve domates ürünleri önemli bir besin kaynağı olmasının yanında vücutta önemli fonksiyonel özelliklere sahip karotenoidler açısından da oldukça zengindir. Domates ve ürünleri vücutta A vitaminine dönüştürülebilen β-karoten açısından önemli olmasının yanında A vitaminine dönüştürülemeyen ancak antioksidan özellikte olan likopen açısından çok değerli bir kaynaktır. Çizelge 3.5 incelediğinde, özellikle domates kurusu, salça, ketçap gibi ürünlerin karotenoidler açısından zengin olduğu görülecektir. Bunun birincil nedeni bu ürünlerin kuru madde içeriklerinin taze domatese göre daha yüksek olmasıdır. Ancak bunun yanında özellikle likopen içeriğindeki önemli farklılıkta, proses sırasında uygulanan ısıl işlemin ürünün likopen içeriğinde artışa neden olduğu bildirilmektedir. Bunun uygulanan ısıl işlemin domates dokularındaki likopenin açığa çıkarılmasına yardımcı olmasından kaynaklandığı belirtilmektedir. Ayrıca ısıl işlem ile birlikte trans formunda bulunan likopenin biyoyararlılığı daha yüksek olan cis formuna dönüştüğü de bildirilmektedir.

Çizelge 3.5 Domates ve domates ürünlerinin bazı karotenoid içerikleri (yenilebilir 100 g için) [59]

	Kiraz	Sofralık	D. Suyu	D. Kurusu	Konserve	Salça	Ketçap
β-karoten (µg)	752	612	-	1,340	-	1,569	1,319
Likopen (µg)	5,824	5,681	-	48,644	-	48,441	17,812
Lutein (µg)	0,624	0,613	-	124	-	127	126

Düzenli domates tüketiminin, belirli kanser türleri ve kardiyovasküler hastalıklar gibi kronik dejeneratif hastalıkların insidansını azalttığına dair kanıtlar vardır. Domates

tüketiminin yararlı etkileri genellikle, belirli kanser türleri, arteriyoskleroz ve katarakt oluşumunun riskini azaltabilen karotenoidlere bağlanır. Domateste iki ana karotenoid bulunur: likopen, ki bu da kırmızı renge meyve veren ana karotenoid bileşiktir (%80 - %90) ve toplam karotenoid içeriğin %7-10'u olan β-karotendir. Öte yandan, β-karoten, provitamin A aktivitesi nedeniyle özel ilgi çekicidir. Domatesler, asıl kaynağı olan likopen'i temsil ederken, diğer birçok besin kaynağı da günlük olarak β-karoten alımına katkıda bulunur. Bununla birlikte, domates meyvesi, askorbik asit, E vitamini ve fenolik bileşikler, özellikle flavonoidler gibi diğer potansiyel olarak sağlıklı moleküllerin bir rezervuarıdır [61].

3.2 Domates Kurutmayla İlgili Literatür Çalışmaları

Lewicki vd. [62], domates kurutma işleminde uygulanan ön işlemlerin etkisini araştırmışlardır ve deneylerde iki çeşit domates; v. Revermun ve Lima kullanılmışlardır. İlk olarak v. Revermun'un 20°C'de 24 saat boyunca %2'lik $CaCl_2$ çözeltisine konulmuştur daha sonra 180 dakika boyunca 30°C'de %61,5 sakkaroz çözeltisi içinde ön işleme tabi tutulmuştur. Ayrıca her iki domates çeşiti de %2'lik $CaCl_2$ içeren sakkaroz çözeltisi içine daldırılmıştır. Konveksiyonel kurutma, 60°C'de ve 2 m/s hava hızında bir laboratuvar kurutucuda gerçekleştirilmiştir. Uygulanan ön işleme bağlı olarak domateslerin 60°C'de konvektif kurutması 7 ila 10 saat arasında sürmüştür. Domates v. Lima, v. Revermun'dan çok daha hızlı kurumuştur. Araştırıcılar, yapılan ön işlemlerin kuruma süresini kısalttığını gözlemekle birlikte, kalsiyum klorür çözeltisi ile yapılan ön işlemin daha hızlı kuruma sağladığını ortaya koymuşlardır.

Sacilik vd. [63], organik domatesi ince tabaka halinde güneş altında ve güneşli tünel kurutucuda kurutmuşlardır. Olgun, iyi renkte ve sağlam domateslerin elle hasadını yapmışlar ve denemelere başlayana kadar örnekleri buzdolabında 4°C'de depolamışlardır. Oda sıcaklığında 2 saat beklettikleri homojen örnekleri yıkadıktan sonra ikiye bölerek 10 dakika süre ile %10'luk tuz çözeltisine daldırmışlardır. İlk nem içeriklerini belirleyebilmek amacıyla örnekleri 70°C'de, 24 saat vakumlu fırında tutmuşlar ve ortalama nem içeriğini yaş baza göre %93,35 olarak bulmuşlardır. Güneş altında yapılan kurutmada nem içeriği %93,35' ten %11,50' ye beş gün içinde düşerken, güneşli tünel kurutucuda aynı nem değerine dört gün içinde ulaşılmıştır. Hava

şartlarına bağlı olarak, güneş altında yapılan kurutma ile karşılaştırıldığında, güneşli tünel kurutucunun kuruma süresini %26,9 oranında kısalttığı, burada kurutulan örneklerin daha kırmızı renkte ve daha parlak oldukları saptanmıştır. Elde edilen verilere göre kurutma eğrilerini oluşturmak için on farklı matematiksel modelden yararlanılmıştır. Yapılan matematiksel modelleme çalışmaları sonucunda en uygun modelin difüzyon modeli olduğu ifade edilmiştir.

Akanbi vd. [64], domatesleri ilk olarak yıkanıp sınıflandırılmıştır. Bütün domatesler 180 saniye boyunca %1'lik sodyum metabisülfit solüsyonuna daldırıp, 15 mm kalınlığa dilimlenmiştir. 60 saniye haşlama yapıldıktan sonra tekrar 30 saniye boyunca sülfitleme işlemi yapılmıştır. Domates dilimleri sıcak havalı kurutma kabininde 45, 60 ve 75°C sıcaklıkta 0,13 m/s hava hızında kurutulmuştur. Ortam havasındaki nem oranı 0,008 ile 0,010 kg/kg kuru hava arasında değişecek şekilde ayarlanmıştır. Gravimetrik metottan elde edilmiş adsorpsiyon verileri 5 farklı sorpsiyon modelleme yönteminde uygulanmıştır. Sonuçlar incelendiğinde, 45°C'de kurutulan dilimlerde gözle görülür bir büzülme olmaksızın pürüzsüz bir dokuya sahiptir, fakat 60 ve 75°C'de kurutulmuş olanlar sertleşmişlerdir. Domates dilimlerinin sodyum metabisülfit çözeltisine daldırılması renk korunmasına pozitif bir etkiye sebep olmuştur. Kuruma hızı eğrileri incelendiğinde, her üç sıcaklık içinde kurutma azalan hız periyoda gerçekleştiği bildirilmiştir. GAB polinomu ve Oswin modelleri, kurutulmuş domatesin 25°C'deki su buharı adsorpsiyon izotermlerini diğer modellerden daha iyi tanımlamaktadır. Bununla birlikte, her üç sıcaklık için GAB modeli kalitenin devamlılığını en iyi tanımladığı sonucuna varılmıştır.

Chang vd. [65], tarafından gerçekleştirilen çalışmada iki çeşit normal kırmızı domates (*Lycopersicon esculentum Mill.)*; I-Tien-Hung (ITH) ve Sheng-Neu (SN) kullanılmıştır. Domatesleri önce yıkamışlar ve 10×10×10 mm^3 büyüklüğünde küp şeklinde kesmişlerdir. Toplamda 5 kg ürün kullanmıştır. Dondurarak kurutmayı -50°C'de, 24 saat süre ile dondurmalı kurutucuda, sıcak havalı kurutmayı da fırında 80°C'de 2 saat, daha sonra 60°C'de 6 saat süre ile gerçekleştirmişlerdir. Kurutma işlemlerinden sonra ürünleri toz haline getirmişler, paketlemişler ve kullanıma kadar -40°C'de depolamışlardır. Deney sonucunda, askorbik asit içeriği incelendiğinde her iki domatesin taze halindeki içeriğine en yakın sonuçlar dondurarak kurutmadan elde

edilmiştir. Sıcak hava ile kurutmada askorbik asit içeriği yaklaşık olarak yarı yarıya azalmıştır. Kurutma süreci toplam flavonoidlerin, toplam fenoliklerin ve likopen içeriğinin bir bölümünü arttırarak domateslerin besin değerini artırtırmıştır. Bu çalışmada aynı zamanda, farklı kurutma işlemlerinin, antioksidan bileşenlerin artışıyla antioksidan aktivite düzeylerini belirli düzeyde artırabileceğini gösterdiği vurgulanmıştır.

Doymaz [66], yaptığı çalışmada yarıya kesilen domatesleri 1 dakika boyunca alkali etil oleat çözeltisine (%2 etil oleat+ %4 potasyum karbonat) ön işlem muamelesi yaptıktan sonra delikli tepsi ile 55, 60, 65 ve 70°C sıcaklıkta ve 1,5 m/s hava hızıyla sıcak hava kurutucuda kurutmuştur. Aynı proses ön muamele görmeyen domatesler için de gerçekleştirilmiştir. Nem kaybı ölçümü 30 dakikada bir alınmıştır. Kurutmanın sonunda alkali etil oleat çözeltisiyle muamele görmüş örneklerin kurutma zamanı ön işlme görmeyen örneklere göre 55, 60, 65, ve 70°C sıcaklıklarla için sırasıyla %8,45, %10,71, %15,09 ve %12,50 azalma tespit edilmiştir. Rehidrasyon kapasitesi ön muamele görmüş domateslerde daha hızlı olduğu görülmüştür.

Heredia vd. [67], tarafından yapılan çalışmada kiraz domatesleri (*Lycopersicon esculentum var. Cerasiforme cv. Cocktail*) %20'lik tuzlu su çözeltisine ve %27,5 sükroz + %10 tuz içeren çözeltiye batırılmış ve ayrıca her iki çözeltiye %2'lik kalsiyum laktak eklenerek aynı işlem tekrarlanmıştır. Kurutma deneyleri, sıcak hava mikrodalga fırında gerçekleştirilmiştir. Mikrodalga güç seviyeleri sıcak hava (50°C) ile kombine 0, 1, 3, 7 ve 10 W/g olarak ayarlanmıştır. Hava hızı 1,6 ± 0,2 m/s'dir. Üçlü çözelti (su, tuz ve şeker), suyun giderilmesinde yüksek verimlilik sağlaması sonucu ozmotik ön işlem için tavsiye edilmiştir. Ayrıca, bu tür bir solüsyona kalsiyum laktat ilavesi meyvenin dokusunun iyileştirilmesini sağlamıştır. Mikrodalga yardımlı hava kurutması altındaki kinetiklere bakıldığında, önceden tuz çözeltileri ile muamele edilmiş numunelerde elde edilenlere kıyasla daha yüksek kuruma oranları elde edilmiştir.

Muratore vd. [68], yaptıkları çalışmada %25 su içeriğine sahip bir ürün elde etmek için yarım olarak kesilmiş çapları 29-32 mm arasında olan kiraz domatesleri (*Lycopersicon esculentum, var. Shiren*) 40, 60 ve 80°C'de 2000 rpm hava hızındaki fırını kullanılarak kurutma işlemine tabi tutmuştur. İlk olarak, taze domatesleri sitrik asit, sodyum ve

kalsiyum klorid sulu çözeltisine (10:10:24 g/l) daldırıldıktan sonra; ikinci olarak ön muamele edilmeksizin işlemi gerçekleştirmiştir. Sonuç olarak sıcaklık 40, 60 ve 80°C artarak kurutma süresi düşürülmüş ve kuru madde miktarı kurutma sonunda artmıştır. Sıcaklık yükseldikçe, ön muamelenin etkisi azalmaktadır. Ön muamele edilmiş ve edilmemiş ürünler arasında kurutma süresi farkı oldukça az bulunmuştur. Kurumaya minimum esmerleşme etkisi a*/b* veya b*L*/a* oranlarına göre değerlendirilmiştir. En yüksek esmerleşme ön muamele uygulanmamış 60 ve 80°C'de işlenmiş olanlarda görülürken, en az esmerleşme ön muamele işlemine tabi tutulup kurutulan örneklerde görülmüştür. Böylece, renk parametresine sitrik asit-sodyum klorür-kalsiyum klorür çözeltisine daldırılarak ön muamele etmenin açıkça pozitif etkisini vurgulamıştır. Ön muamele edilen domateslerde askorbik asit tüm koşullarda ön muamele edilmeyenlerden daha yüksektir. 80°C'de askorbik asit kaybı, ön muamele edilmiş ve ön muamele edilmemiş numunelerde sırasıyla %59 ve %74'dür. Orta sıcaklıklarda askorbik asit düzeyi taze domateslerinkine daha yakındır.

Khazaei vd. [69], hava sıcaklığının ve dilim kalınlığının domateste kalite ve kuruma kinetikleri üzerine etkisini araştırmışlar, bu amaçla 60, 80, 100 ve 120°C kurutma sıcaklığı ile 3, 5, 7, 9 ve 11 mm dilim kalınlığı uygulamışlardır. Denemeleri kabin tipi sıcak havalı kurutucuda gerçekleştirmişlerdir. Domatesleri %94,4 ilk nem içeriğinden %15 içeriğine kadar kurutmuşlardır. Kuruma süresi 2,6- 18,7 saat arasında değişmiştir. Dilim kalınlığının ince olması kurutma süresini kısaltmış ve benzer şekilde sıcaklığın arttırılması kurutma süresini kısaltmıştır.

Gürlek vd. [70], domates kurutma denemelerini İzmir, Türkiye'de gerçekleştirmiştir. Kullanılan domates Rio Grande tipi ve 80 kg domates kullanılmıştır. Kurutmadan önce 5 dakika boyunca kalsiyum klorür çözeltisiyle ön muamele edilmiştir. Kurutucu olarak güneş tüneli kurutucu kullanılmıştır. Tünel, polietilen plastik film malzemesi ile kaplanmıştır. Kurutma deneyleri sırasında, ortam havasının sıcaklığı 22 ile 36°C arasında, ortam havasının nemi %30 ile %40 arasında, kurutma havası sıcaklığının 32 ile 59^{o}C arasında değişmesi, kurutma havasının bağıl nemini %10'dan %20'ye ve güneş radyasyonu kolkektörün yüzey için 400 ile 950 W/m^2 arasındadır. Nem içeriğinin %5'e ulaşma süresi 96 saat olarak bulunmuştur. Kurutma eğrileri dikkate alınarak on iki farklı matematiksel model karşılaştırılmıştır. İstatistiksel analiz sonuçlarına göre deneysel

kurutma verilerine en iyi uyum sağlayanın R^2 değerinin 0,9967 olduğu two-term matematiksel model olduğu görülmüştür. Tüm kurutma işlemleri azalan hız periyodunda gerçekleştirilmiştir.

Marfil vd. [71], yumurta domatesi kurutma amacıyla öncelikle 30°C'de 30 dakika boyunca NaOH çözeltisine (6 g NaOH / 100 g solüsyon) daldırma yoluyla kostik soyma işlemi uygulamıştır. Ozmotik ajan olarak damıtılmış suda eritilen, sükroz ve NaCl kullanılmıştır. Kuruma, paralel hava akımlı pilot ölçekli bir tepsi kurutucusunda 50, 60 ve 70°C'de hava hızı 1 m/s ile gerçekleştirilmiştir. Sonuç olarak, daha yüksek kuruma sıcaklıkları, belirli nem içeriğini elde etmek için gerekli olan kurutma süresini kısaltmıştır. Ozmotik ön-muamele soyulmuş domateslerin kuruma sürelerinin azaltılmasına katkıda bulunmuştur. Kostik soyma, askorbik asidin başlangıç içeriğini %16 düşürürken, ozmotik ön-muamele %45 oranında azalmıştır. Kurutma sırasındaki askorbik asit indirgenmesi, kurutma öncesi uygulanan muameleye ve kurutma sıcaklığına bağlı olarak bulunmuştur. Yüksek kuruma sıcaklıkları C vitaminin indirgenme oranlarını arttırdığı tespit edilmiştir.

Gaware vd. [72] yaptıkları çalışmada, domatesleri ortalama 60 mm çapında yerel pazardan alarak 5°C'de muhafaza edilmiştir. Deneylerden önce, domatesler soğuk hava deposundan çıkarılıp 2 saat boyunca oda sıcaklığında tutulmuştur. Daha sonra musluk suyu içinde yıkanıp, dilimleyiciyi kullanarak 6 mm ince dilimler halinde kesilmiştir. Domates dilimlerinin kurutulması, sıcak hava (HAD), güneş kabin (SCD), ısı pompası (HPD), mikrodalga vakum (MVD) ve dondurarak kurutma (FD) olmak üzere beş farklı yöntem kullanılarak gerçekleştirilmiştir. Domatesler sıcak hava kurutma sisteminde 40°C'de, 1 m/s hava hızında; ısı pompası sisteminde 40-42°C' de %15 bağıl nem 1 m/s hava hızında; güneş kabininde 50- 55°C' de %45-55 bağıl nem 0,9-1 m/s hava hızında; mikrodalga vakum sisteminde sıcaklık 40-45°C'ye sabit tutularak kurutulmuştur. Son sistem olarak, dondurarak kurutma sisteminde -20 ile -22°C arasında 6 saat dondurulmuş ardından 25°C 30 Pa'da vakum pompasında kurutulmuştur. Sonuç olarak, MVD, tüm diğer yöntemlere göre daha hızlı kuruma işlemi gerçekleştirmiştir. MVD, nemi %94,2'den %5'in altına düşürmek için yalnızca 36 dakika, buna karşılık SCD, HAD, HPD ve FD aynı miktarda nemi uzaklaştırmak için sırasıyla 180, 200, 200 ve 580 dakika gereklidir. MVD ve FD sistemlerinde sabit ve azalan hız periyodu gözlenirken, SCD, HAD

ve HPD sistemlerinde sadece azalan hız periyodu gözlenmiştir. Rehidrasyon kinetiği incelendiğinde, FD, suyun kolayca nüfuz edebildiği büyük boy açık gözeneklere bağlı olarak en yüksek rehidrasyon oranına sahiptir. MVD ve HPD domates dilimleri, HAD ve SCD domates dilimlerinden daha yüksek rehidrasyon oranları sergilenmiştir. Su sıcaklığı artması, rehidrasyon süresini kısaltmıştır.

Hastürk Şahin vd. [73], 15 mm kalınlığında dilimlenmiş domates dilimleri dondurarak kurutma yöntemi ile kurutmuştur. Denemelerde 500 g dilimlenmiş domates kullanılmıştır. Dondurarak kurutmada akışkan yataklı dondurucu ve kurutucu kullanılmıştır. Kurutma buz kristallerinden süblimasyon yoluyla ve vakum altında gerçekleşmiştir. İlk olarak 10 m/s hızla hava üfleyen -40°C' de çalışan akışkan yataklı bir dondurucunun raflarına yerleştirilmiş, ardından dondurulmuş ürünün kurutulacağı vakumlu dondurarak kurutucuya alınmıştır. Burada kurutma işlemi 30°C sıcaklıkta, 0.025 kPa vakum basıncı altında gerçekleştirilmiştir. Domateslerde kurumayı hızlandırmak için etil oleat ve potasyum karbonat, kuruma esnasında meydana gelecek renk değişimini önlemek, enzimatik ve enzimatik olmayan reaksiyonları engellemek amacıyla dilimlere askorbik asit+sitrik asit ve sodyum metabisülfit uygulamaları yapılmıştır. Domatesin farklı önişlemlerle dondurularak kurutulmasına yönelik yapılan bu çalışmada bütün haldeki domateslerin etil oleat+potasyum karbonat solüsyonuna daldırılmaları, kuruma sürelerini az da olsa kısaltmıştır. Renk kriterlerine bakıldığında kurutulmuş domateslerin parlaklık değerlerindeki yükseklik dikkat çekicidir. Sarılık değerlerinde de bir miktar artış olmuş, kırmızılık değerleri ise azalmıştır. Dondurarak kurutma, diğer kurutma yöntemlerine göre daha pahalı bir yöntem olmasına rağmen, bu yöntemle kurutulan ürünlerin hem görünüm hem de besin değerleri açısından üstün özelliklere sahip olduğu dikkate alınırsa, üretim faktörlerinin, teknolojisinin ve maliyetlerinin elvermesi durumunda, domatesin önişlem uygulamalarıyla beraber dondurularak kurutulmasının uygun olduğu söylenmiştir.

Aktaş vd. [74], güneş enerjili 10 kg kapasiteli bir kurutucu tasarlamıştır. Gerekli olan elektrik ve ısı enerjisi tamamıyla güneş enerjisiyle sağlamıştır. 5 mm kalınlığında dilimlenmiş domatesler, 16,39 g su/g kuru madde başlangıç nem miktarından 0,21 g su/g kuru madde son nem miktarına düşünceye kadar kurutulmuştur. Domates dilimleri; 40, 45 ve 50°C kurutma havası sıcaklıklarında ve ortalama 0,2 m/s hava

hızında sırasıyla 8, 5, 7 ve 6 saat sürede kurutulmuştur. Deney sonuçlarına göre, güneş kollektörü verimi ortalama %49,33 olarak hesaplanmıştır. Kurutma işleminde, başlangıçta ürün içerisindeki serbest nemin hızlı olarak uzaklaştığı ve ilerleyen safhalarında ise, nem uzaklaşma hızının daha yavaş olduğu görülmüştür. Bu da ürün içinde serbest nem kolay alınırken ürün içindeki bağlı nemin uzaklaşmasının biraz daha enerji ve zaman istediğini göstermektedir. Düşük sıcaklıklarda yapılan kurutma uygulamaları ile domateslerde oluşabilecek ısı hasarlarının (likopen azalması, esmerleşme vb.) önüne geçilmiş buna bağlı olarak kaliteli bir şekilde domatesler kurutulmuştur. Domateslerin 5 mm kalınlığında dilimlenmesinden dolayı kurutma esnasında üründen kurutma havasına kütle transferi hızlanmış ve diğer çalışmalara göre domatesler daha kısa sürede kurutulmuştur.

Demiray vd. [75], denemelerinde Rio Grande tip domates yaklaşık 7 cm çapında seçilmiş ve polietilen paketleri içine paketlemiştir. Domatesler kurutulana kadar soğukta bekletilmiştir. Numunelerin başlangıçtaki nem içeriği 94,5 g/100 g'dır. Kurutucu olarak kabin kurutucu kullanılmıştır. 60, 70, 80, 90 ve 100°C hava sıcaklıkları kullanarak, domatesler ortalama %10 nem içeriğine kadar kurutulmuştur. Domateslerin kuruma kinetikleri incelenmiş, kabin tipi kurutucu ile kurutma sırasında meydana gelen likopen, β-karoten, askorbik asit ve renk değişimleri araştırılmıştır. Sonuç olarak, uygulanan sıcaklık değeri arttıkça numunelerin kuruma sürelerinin azalmıştır. 60°C'de 20 saat süren kurutma işleminde askorbik asit miktarında %75,13 oranında azalma meydana gelmiştir. 90°C'de 10 saat süren kurutma işleminde 8. saatten sonra ortamda askorbik asit tespit edilememiştir. 100°C'de 8 saat süren işlemde ise 5. saatten itibaren numunelerde askorbik asit tespit edilememiştir. Domates numunelerindeki likopen miktarındaki değişimlerin incelenmesi sonucunda, 60°C'de %75,63 oranında kayıp meydana gelirken, 100°C'de yapılan işlemde %97,81 oranında azalma belirlenmiştir. β-karoten miktarında ise 60°C'de %81 oranında, 100°C'de %95,75 oranında azalma meydana gelmiştir. Kuruma kinetiğine, askorbik asit, likopen, β-karoten ve renk değişim kinetiklerine ait modelleme çalışmaları yapılmıştır. İncelenen modeller arasında 60°C ve 100°C değerleri arasında ve %20 bağıl nemde domateslerin kurutulmasını en iyi tanımlayan modelin Modifiye Page model olduğu belirlenmiştir.

Doymaz ve Özdemir [76], domates örneklerini 1 dakika boyunca alkali etil oleat çözeltisine (%2 etil oleat + %4 potasyum karbonat) ön işlem uyguladıktan sonra yarım (1/2), çeyrek (1/4) ve sekizde bir (1/8) olmak üzere kesmiştir. Sıcak hava ile kurutma sıcaklığı 60, 68 ve 76°C olmak üzere üç farklı sıcaklık denenmiş ve 2 m/s sabit hava hızı kullanılmıştır. Aynı işlemler ön muamele görmemiş örnekler içinde tekrarlanmıştır. Kurutma, kg kuru madde başına yaklaşık 19,366 kg suyun başlangıç nem içeriğinden kg kuru madde başına 0,176 kg suya ulaşıncaya kadar gerçekleştirilmiştir. Sonuç olarak, ön işlem uygulanması, kurutma sürelerinde yaklaşık %11,3-39,5 oranında bir düşüş sağlamıştır. Kurutma hızı ince dilimli domateste daha yüksek ve toplam kurutma süresi, dilimlerin kalınlığındaki azalma ile büyük oranda azalmıştır. Hava kurutma sıcaklığı arttığında, numunelerin kuruma süresi kısalmıştır. Ön işlem görmüş domates dilimleri, kontrol domates dilimleri ile karşılaştırıldığında daha yüksek kurutma hızına sahiptir.

Maqsood vd. [77], taze ve olgun domatesleri ilk önce uzunlamasına iki eşit yarıya kesmiş ve daha sonra her bir yarımı 1 cm kalınlığında dilimlere kesmiştir. Domates dilimleri, güneşte kurutma ve güneş kurutucuda kurutma olmak üzere iki gruba ayrılmıştır. Güneşte kurutma yönteminde numuneler uygun bir paslanmaz çelik ağa yerleştirilmiş ve açık havada doğrudan güneş ışınlarına maruz bırakılmıştır. Güneş kurutucu açık gökyüzünün altına yerleştirilmiştir. Güneş kurutucusunun iç ve dış sıcaklığı, günün 24 saati boyunca izlenmiştir. Domates dilimi, güneş kurutucu içinde tel örgü üzerine yerleştirilmiştir. Numuneler başlangıçta ve numunelerin ağırlığı sabit hale gelene kadar düzenli aralıklarda tatılmıştır. Güneşte kurutulmuş domates, güneş kurutucuda kurutulandan daha hızlı bir oranda nemini kaybettiği sonucu elde edilmiştir. Güneşte kurutulan ve güneş kurutucuda kurutulan örnekler arasında antioksidatif aktivite, C vitamini ve likopen açısından incelendiğinde kayda değer bir fark elde edilmemiştir. Güneşte kurutulmuş örnekler daha parlak kırmızı renkte olmasına karşın güneş kurutucuda kurutulan numuneler nispeten daha koyu olmuştur.

Horuz vd., [78], domatesleri 8 dilime kesmiştir. Ortalama kalınlık, uzunluk ve genişlik sırasıyla 0,7± 0,1 mm, 54± 2 mm ve 19± 1 mm'dir. Daha sonra domateslerin çekirdekleri çıkartılmıştır. Toplam fenolik madde, nem, renk, likopen ve C vitamini içeriği belirlenmiştir. Hazırlanan domates dilimleri oda sıcaklığında 25 kHz ultrason banyosuna daldırılarak ön işlem yapılmıştır. Kurutma işlemi programlanabilir hava

sirkülasyonlu hibrit mikrodalga fırın ile gerçekleştirilmiştir. 60°C sıcak hava sirkülasyonu ile 120, 150 ve 180 W mikrodalga güç ile denemeler yapılmıştır. Nem kaybı, bilgisayara bağlı bir dijital terazi ile otomatik olarak kaydedilmiştir. Kurutma, nem içeriği yaklaşık %17 oluncaya kadar devam etmiştir. Bu çalışmanın deney sonuçları, mikrodalga gücü arttığında kurutma süresinin önemli ölçüde azaldığını göstermiştir. Bununla birlikte, 120 W mikrodalga gücünde kurutulan domates dilimlerinin kurutma süresi, ultrasonla işlemden geçirilmiş numunelerde %7,38 azalmıştır. Kurutulmuş domates dilimlerinin toplam fenolik içeriği genellikle taze domateslerden daha yüksek bulunmuştur.

Kutlu ve İşçi [79] tarafından yapılan deneysel çalışmada, kiraz domatesler ikiye bölünerek kurutulması amaçlanmıştır. Bu amaçla tepsili kurutucuda, 60, 70 ve 80°C'de ve sabit hava hızında (2 m/s) kurutma işlemi gerçekleştirilmiştir. Mikrodalga kurutucuda, ilk olarak tepsili kurutucu ile (80°C ve 2 m/s hava hızı) nem miktarı %65 oluncaya kadar bir ön-kurutmaya tabii tutulmuştur. Daha sonra 3 farklı güç seviyesinde (140, 210 ve 280 W) kurutma yapılmıştır. Domateslerin başlangıçtaki nem miktarı %91 iken, tepsili kurutucu ile kurutma sonunda %5'e düşürülmüştür. Sabit hızda bir kuruma görülmemekte ve sıcaklık artışı kurutma hızını olumlu etkilemektedir. Örnekler 60, 70 ve 80°C'de sırasıyla 1050, 660 ve 600 dakikada kurutulmuştur. Kurutma sıcaklığı 60°C'den 80°C'ye arttırıldığında kurutma süresinde %37 oranında azalma gözlenmiştir. Ancak, 70°C ile 80°C kurutma sıcaklıkları arasında sadece %9'luk bir süre kazanımı vardır. Böylelikle, örneklerin kurutma sıcaklığının 70°C'den daha fazla arttırmanın kurutma süresini çok etkilemediği için ekonomik olmayacağı söylenmiştir. Mikrodalga ile kurutma öncesi başlangıç nem miktarı ortalama %65 iken kurutma sonrası nem miktarı %13 olarak ölçülmüştür. Mikrodalga ile kurutulan domateslerin kurutma hızları, tepsili kurutucu ile kurutulan örneklere oranla yaklaşık 10 kat daha fazla olarak tespit edilmiştir. 140, 210, 280 W güç uygulamasıyla kurutma süreleri sırasıyla 1020, 720 ve 420 saniye olmuştur. Mikrodalga fırınında kurutulan örneklerinin renk kalitesinin, tepsili kurutucu ile kurutulmuş örneklere kıyasla daha iyi olduğu bulunmuştur. En yüksek rehidrasyon oranının, tepsili kurutucu için 60°C'de, mikrodalga için ise 210 W gücünde olduğu tespit edilmiştir.

Nabnean vd. [80], ozmotik dehidrasyon için yaklaşık 2 cm çapında kiraz domatesler 5 dakika kaynatılmış ve 72 saat boyunca %40'lık şeker solüsyonuna batırılmıştır. Hibrit

güneş kurutucu tasarlanmış ve kurutucunun, 100 kg kiraz domatesin başlangıç nem içeriği olan %62'den son nem içeriği olan %15'e kadar kurutulması amaçlanmıştır. Bunun bir sonucu olarak, atılan su kütlesi 55,3 kg olmuştur. Kuruma süresi 4 gün olarak seçilmiştir. 18 adet kurutma tepsisi içeren güneş kurutma sistemi kullanılmıştır. Ayrıca domatesler dışarıda doğal güneşte kurutmaya bırakılmıştır. Çalışma sonucunda, kurutulmuş kiraz domateslerin rengi parlak kırmızımsı kahverengi iken, dışarıda doğal güneşte kurutulmuş olanlar ise açık sarı kahverengidir. Kurutucunun güneş ışınlarına maruz kalmaya duyarlı ürünleri kurutma için uygun olduğu tespit edilmiştir. Kurutucunun geri ödeme süresi 1,37 yıl olarak tahmin edilmiştir.

BÖLÜM 4

MATERYAL VE YÖNTEM

4.1 Materyal

Kurutma deneylerinde kullanılan Şekil 4.1'de görünen kiraz domatesler (*Lycopersiconesculentum var. Cerasiforme*) , İstanbul'da bulunan yerel bir marketten yaklaşık aynı boyutta ve olgunlukta seçilerek temin edilmiştir. Ortalama çapı ve kütlesi sırasıyla 2,04 cm ve 6,97 g olarak belirlenmiştir. Kiraz domatesler, kurutma denemelerinde kullanılana kadar 4°C'de buzdolabında muhafaza edilmiştir.



Şekil 4.1 Deneyde kullanılan kiraz domates

Ön işlem uygulaması için hazırlanan sodyum bisülfit ($NaHSO_3$)ve potasyum karbonat (K_2CO_3) Merck kalitesinde hazırlanmıştır. Ayrıca kullanılan zeytinyağı saf ve sızma özelliklerine sahiptir.

4.2 Yöntem

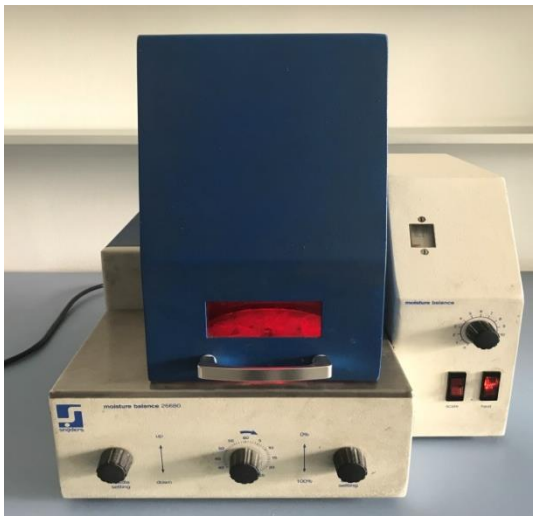
4.2.1 Kurutma sistemleri

Kiraz domateslerin kurutulması Şekil 4.2'de gösterilen kabin kurutucuda (APV&Pasilac Ltd., Carlisle, Cumbria, UK) ve Şekil 4.3'de gösterilen kızılötesi (infrared) kurutucuda (Snijders Moisture Balance, Snijders b.v., Tilburg, Holland) gerçekleştirilmiştir.



Şekil 4.2 Laboratuvar tipi kabin kurutucu

Kabin tipi kurutucu, 30×30×10 cm boyutundaki delikli tepsilere serilerek çeşitli gıdaların istenilen sıcaklık ve hava akımıyla kurutulması için kullanılan laboratuvar tipi kurutucudur. Kabin kurutucu çelikten imal edilmiş olup 50 mm kalınlığında yarı rijit yassı izolasyon maddesi ile kaplanmıştır. Kabin içerisinde sirkülasyon halinde bulunan havanın hızı ise, hızı değiştirilebilen sirkülasyon fanı tarafından kontrol edilebilmektedir. Sirkülasyon fanı 0,37 kW gücünde bir elektrik motoruyla çalışmaktadır. Kullanılacak olan havanın ısıtılması ise, sirkülasyon fanının karşısında bulunan 14 adet şerit halindeki ısıtıcılar ile sağlanmaktadır. Kurutucuda, 200°C sıcaklığa kadar çalışmak mümkündür. İstenilen sıcaklık ayarları, cihaz üzerinde bulunan kontrol panelindeki dijital sıcaklık göstergesinden ayarlanabilmektedir.



Şekil 4.3 Kızılötesi kurutucu

Bir diğer kurutma sistemi olarak kızılötesi (infrared) kurutma yöntemi uygulanmıştır. Kurutmada 250 W halojen lambaya sahip infrared kurutucu kullanılmıştır.

4.2.2 Kuru madde tayini

Kuru madde tayini için kiraz domates dilimleri yaklaşık 5 gram olarak, darası alınmış örnek kabına (cam kroze) konulmuştur. Şekil 4.4'de görünen etüvün (Selecta, Barcelona, Spain) sıcaklığı 105°C'ye geldiğinde örnekler etüve konulmuş ve sabit tartıma gelene kadar kurutulmuştur. Desikatörde bekletilip soğutulması sağlanmış ve Precisa marka (XB 220 A model, Precisa Instruments AG, Dietikon, Switzerland) hassas terazi kullanılarak tartılmıştır. Örneklerin içerdiği nem miktarı ve kuru madde miktarı tayin edilmiştir.



Şekil 4.4 Selecta marka etüv cihazının genel görünümü

Kuru madde miktarı 4.1 denklemine göre hesaplanmıştır.

$$\%Kuru\ madde = \frac{m_2 - m_0}{m_1 - m_0} \times 100 \qquad (4.1)$$

m_0: Örnek kabın boş ağırlığı (g),

m_1: Örnek kabın ve örneğin kuruma öncesi ağırlıkları toplamı (g),

m_2: Örnek kabın ve örneğin kuruma sonrası ağırlıkları toplamı (g)

olarak ifade edilmektedir.

4.2.3 Dijital termometre

Deneyler sırasında kullanılan suyun sıcaklığı Şekil 4.5'de görülen ve 0-600°C arasında çalışabilen 8 kanallı ve taramalı Meter Elektronik Fe-Konstant dijital termometrede yararlanılarak ölçülmüştür.



Şekil 4.5 Meter Elektronik Fe-Konstant dijital termometre

4.2.4 Hava akış hızı

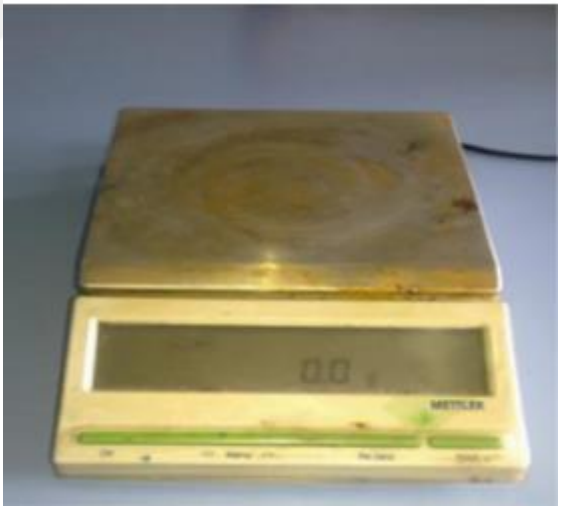
Kiraz domates kurutma denemeleri sırasında havanın akış hızı, Şekil 4.6'da gösterilen TESTO 440 Vane Anemometre (AM-4201, Lutron, Taipei, Taiwan) ile 2±0,1 m/s olarak ölçülmüştür.



Şekil 4.6 Anemometre genel görünümü

4.2.5 Ağırlık ölçümleri

Kiraz domates kurutma deneyleri sırasında Şekil 4.7'de gösterilen Mettler marka (model BB3000, Grefensee, Switzerland) bir terazi ile her 15 dakikada bir ölçümler alınarak kaydedilmiştir.



Şekil 4.7 Mettler marka terazinin genel görünüşü

Nem tayini, kuru madde tayini ve rehidrasyon işlemleri esnasındaki ağırlık ölçümleri daha hassas veriler elde etmek amacıyla Şekil 4.8'de gösterilen Precisa marka (XB 220 A model, Precisa Instruments AG, Dietikon, Switzerland) hassas terazi kullanılarak yapılmıştır.



Şekil 4.8 Precisa marka terazinin genel görünüşü

4.2.6 Renk ölçümü

Renk ölçümleri Minolta renk cihazında yapılmıştır (Chroma Meter-CR-400 from Konica Minolta, Osaka, Japonya). Deneylerde kullanılan renk ölçüm cihazının genel görünümü Şekil 4.9'da verilmiştir. Kiraz domates örneklerinde ölçümler 5 kez tekrarlanmış ve ölçülen değerlerin ortalaması alınarak Hunter Lab skalasına göre kuru ürünlerin renk değerlendirmesi yapılmıştır. Çalışmalar sırasında "L" değeri parlaklığı ifade etmekte ve 0 ile 100 arasında değerler alabilmektedir. "L", 0 değerini siyah renkte hiçbir yansımanın olmadığı durumda alırken 100 değerini tam yansımanın olduğu beyaz renkte almaktadır. Pozitif "a" değerleri kırmızılığı, negatif "a" değerleri yeşili, pozitif "b" değerleri sarılığı ve negatif "b" değerleri ise maviliği temsil etmektedir. Sıfır kesim noktasında (a = 0 ve b = 0) renksizlik yani grilik olmaktadır [81].



Şekil 4.9 Konica Minolta CR–400 cihazının genel görünüşü

Toplam renk değişimi (ΔE*)* aşağıdaki denklem (4.2)'e ve Chroma değeri denklem (4.3)'e göre hesaplanmıştır.

$$\Delta E = \sqrt{\Delta L^2 + \Delta a^2 + \Delta b^2} \tag{4.2}$$

$\Delta L=L-L_0$, $\Delta a=a-a_0$ ve $\Delta b=b-b_0$ hesaplanarak denkleme yerleştirilir.

$$C = \sqrt{a^2 + b^2} \tag{4.3}$$

4.2.7 Numune saklama

Kurutma işleminin ardından kurutuculardan alının numuneler 10 dakika bekletildikten sonra, Şekil 4.10'da görünen düşük yoğunluklu polietilen (60 µm kalınlığındaki LDPE) torbalara doldurulduktan sonra yine Şekil 4.10'da görülen KRUPS markalı (Fransa) Vacupak 2 Plus cihazı kullanılarak ısısal yöntemle torbaların ağzı sıkıca kapatılarak muhafazaya alınmıştır.



Şekil 4.10 Isısal paketleme cihazı ve kullanılan polietilen torba

4.3 Kurutma Denemeleri

Kurutma denemelerinde kullanılacak kiraz domatesin kuru madde içeriği, yapılan kuru madde tayini sonucunda ortalama %10,63 (yaş baz) olarak bulunmuştur. Benzer boyutlardaki kiraz domatesler bir bıçak yardımıyla ortadan ikiye ayrılmışlardır. Kiraz domates dilimleri üç gruba ayrılmıştır. Birinci gruptaki domatesler herhangi bir ön işlem yapılmadan (Kontrol), ikinci gruptaki domatesler oda sıcaklığındaki %2 sodyum bisülfit çözeltisinde 2 dakika süre ile ön işleme tutularak ($NaHSO_3$), üçüncü gruptaki domatesler %2 potasyum karbonat + % 1 zeytinyağı çözeltisinde 2 dakika süre ile ön işleme tutulduktan (K_2CO_3) kurutulmuşlardır. Ön işlem sonrasında kiraz domatesler, sıcak havalı kabin kurutucuda ve sadece kontrol olarak kızılötesi (infrared) kurutucuda ve her iki kurutucunun kombinasyonu ile kurutulmuştur. Her kurutma sisteminde, domatesin nem oranı %10'a ulaştığında kurutma işlemi sonlandırılmıştır. Bunun sebebi mikrobiyal bozulmanın gerçekleşmeyeceği nem oranına indirmektir.

4.3.1 Sıcak havalı kabin kurutucuda kurutma

Dilimlenmiş ve bahsedilen üç grup halinde olan kiraz domatesleri yaklaşık 100'er gram tartılarak Şekil 4.11'de görünen delikli tel tepsilere serilerek 45, 55, 65 ve 75°C'deki hava ile kurutulmuşlardır.



Şekil 4.11 Kabin kurutucuda kurutulacak olan domateslerin genel görünümü

Kurutucudaki hava hızı sabit tutulmuş ve 2±0,1 m/s olarak ölçülmüştür. Kurutma işlemi başladıktan sonra her 15 dakikada bir numunenin ağırlığı kaydedilmiş ve bu işleme örneklerdeki nem içeriği yaklaşık %10'a düşünceye kadar devam edilmiştir. Kurutulan kiraz domatesler oda sıcaklığında soğuması için bekletildikten sonra 60 µm kalınlığındaki düşük yoğunluklu polietilen (LDPE) torbalara doldurularak Şekil 4.10'da görülen pakeleme cihazı yardımıyla torbaların ağzı sıkıca kapatılarak muhafazaya alınmıştır.

4.3.2 Kızılötesi (Infrared) kurutucuda kurutma

Bıçak ile yarıya kesilmiş kiraz domatesler, kontrol olarak kurutulmak üzere Şekil 4.12'de görülen kaba yerleştirilmiştir. Daha sonra Şekil 4.3'de görülen kızılötesi kurutucuda kurutma işlemi gerçekleştirilmiştir. 62, 74, 88 ve 104 W olmak üzere dört farklı kızılötesi güç denemesi yapılmıştır. Kabin kurutucuda olduğu gibi her 15 dakikada bir ölçüm alınmış ve son nem %10'a ulaşıncaya kadar devam edilmiştir. Ardından numuneler paketlenmiştir.



Şekil 4.12 Kızılötesi kurutucuda kurutulacak olan domateslerin genel görünümü

4.3.3 Kombine kurutma

Kızılötesi kurutucu ve sıcak havalı kurutucunun kombine olarak kullanıldığı kurutma sistemi de kiraz domates kurutma için kullanılmıştır. Kiraz domatesler herhangi bir ön işlemle muamele edilmeden kurutulmuştur. İlk olarak kızılötesi kurutucuda 62 W gücünde sırasıyla 30, 60, 90 ve 120 dakika kurutulduktan sonra 65°C'de sıcak havalı kurutucuda kurutulmuştur. Kurutucudaki hava hızı sabit tutulmuş ve 2±0,1 m/s olarak kaydedilmiştir. Benzer şekilde kurutma işlemi başladıktan sonra her 15 dakikada bir numunenin ağırlığı kaydedilmiş Kurutma ürün nem içeriği yaklaşık %10'a düşünce son bulmuştur. Kurutulmuş numuneler LDPE torbalara saklanmıştır.

4.3.4 Geometrik şekile göre kurutma

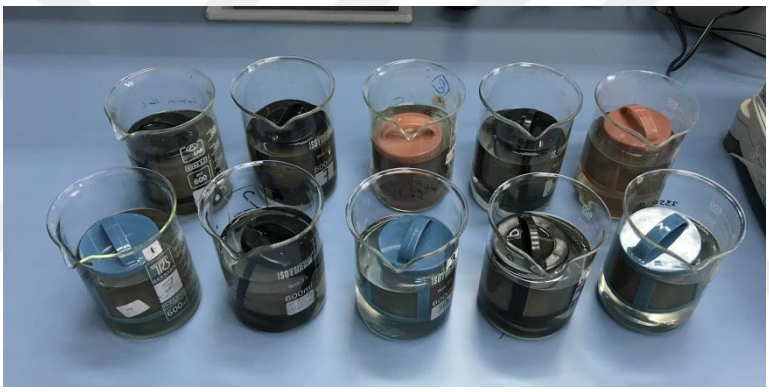
Geometrik şekil farklılığının kurutma süresine etkisinin araştırılması amacıyla; kiraz domatesler ön işleme muamele edilmeden bütün (1/1), yarım (1/2) ve çeyrek (1/4) olarak 65°C'de kabin kurutucuda kurutulmuştur. Kurutucudaki hava hızı sabit tutulmuş ve 2±0,1 m/s olarak kaydedilmiştir. Kurutma başladıktan sonra her 15 dakikada bir numunenin ağırlığı kaydedilmiş ve kurutma 800 dakika sonunda kesilmiştir.

4.4 Rehidrasyon Oranı

Kurutulmuş meyve ve sebzeler tüketilmeden önce genellikle rehidre edilirler. Özellikle kurutulmuş sebzelerin birçoğu rehidrasyon işleminden sonra tüketilir. Rehidrasyon,

kurutulmuş ürünlere tekrar su kazandırma işlemidir. Rehidrasyon ile suyun doku içine absorpsiyonu ve buna bağlı olarak üründe kütle artışı meydana gelmektedir [82]. Rehidrasyon oranını kurutma koşulları başta olmak üzere, uygulanan ön işlemler, tekstürel karakteristikler gibi birçok farklı özellik etkilemektedir [83].

Rehidrasyon deneylerinde, kabin kurutucuda 45, 55, 65 ve 75°C'de ve kızılötesi (infrared) kurutucuda 62, 74, 88 ve 104 W infrared güçlerinde kurutulmuş domates örnekleri kullanılmıştır. Tüm rehidrasyon denemelerinde su sıcaklığı 23°C'ye sabitlenmiştir. Yaklaşık 2 gram civarında tartılan kurutulmuş ürünler, Şekil 4.13'de gösteridiği gibi 500 ml'lik beherlerde yaklaşık 400 gram su içerisinde bekletilmiştir. Kütle artışının tespiti için 6 saatin sonunda örnekler sudan çıkarılarak yüzey nemi havlu kâğıt yardımıyla alınmış ve hassas terazide ölçümü yapılmıştır.



Şekil 4.13 Kurutulmuş kiraz domateslerin rehidrasyon işlemi

Rehidrasyon oranı (RR) aşağıda gösterilen (4.3) formülüne göre hesaplanmıştır:

$$RR = \frac{W_2}{W_1} \tag{4.3}$$

Burada W_1 ve W_2 simgeleri sırasıyla rehidrasyon işleminden önceki madde miktarı (kg) ve rehidrasyon işleminden sonraki madde miktarı (kg) göstermektedir.

4.5 Matematiksel Modelleme

Kurutma ve rehidrasyon işlemlerinin tasarım ve optimizasyonunda matematiksel modeller önemlidir. Matematiksel modeller yardımıyla bir gıdanın kurutulması veya rehidrasyonu için en uygun koşullar belirlenebilir [82].

Kurutma denemelerinde kullanılan ürünlerin nem içeriği kuru baza göre denklem (4.4) kullanılarak hesaplanmıştır.

$$M = \frac{m_w}{m_d} \tag{4.4}$$

Denklemde; M: nem içeriğini (kg su/kg kuru madde), m_w: su miktarını (kg) ve m_d: kuru madde miktarını (kg) göstermektedir.

Kurutma hızı ise aşağıdaki (4.5) eşitliği yardımıyla hesaplanmıştır [84].

$$\frac{\Delta M}{\Delta t} = \lim_{\Delta t \to 0} \frac{M_t - M_{t+\Delta t}}{\Delta t} \tag{4.5}$$

Denklemde; $\frac{\Delta M}{\Delta t}$: Kurutma hızı (kg su/(kg kuru madde × dakika), M_t: t anındaki nem içeriği (kg su/kg kuru madde), $M_{t+\Delta t}$: t+Δt anındaki nem içeriği (kg su/kg kuru madde), t: süre (dakika) olarak ifade edilmektedir.

Nem oranı (MR) ise (4.6) eşitliği yardımıyla hesaplanmıştır [85].

$$MR = \frac{M - M_e}{M_0 - M_e} \tag{4.6}$$

Denklemde; MR: Nem oranı, M: Herhangi bir andaki su miktarı (kg su/kg kuru madde), M_0: Kurutmaya başlamadan önceki ürünün içerdiği su miktarı (kg su/kg kuru madde) ve M_e: Kurutma koşullarındaki havanın denge su miktarı (kg su/kg kuru madde) olarak ifade edilmektedir. M_e değeri, M ve M_0 değerleri ile kıyaslandığında çok küçük bir değer olduğundan ihmal edilir.

Deneysel verilerden yararlanarak nem içeriği ile kurutma zamanı arasında bir ilişki sağlanması amacıyla Çizelge 4.1'de gösterilen Lewis, Henderson ve Pabis, Logaritmik, Page, Midilli vd., Wang ve Singh, Aghbashlo vd. ve Parabolik denklemleri test edilmiş ve istatistiksel olarak kıyaslanmıştır.

Çizelge 4.1 Domates kurutma eğrilerinin modellenmesinde kullanılan denklemler

Model Adı	**Denklem**	**Kaynaklar**
Lewis	$MR=exp(-kt)$	[86]
Henderson and Pabis	$MR=aexp(-kt)$	[87]
Logaritmik	$MR=aexp(-kt)+c$	[88]
Page	$MR=exp(-kt^n)$	[89]
Midilli vd.	$MR=aexp(-kt^n)+bt$	[90]
Wang ve Singh	$MR=1+at+bt^2$	[91]
Aghbashlo vd.	$MR = exp(-\frac{k_1 t}{1+k_2 t})$	[92]
Parabolik	$MR = a^2t + bt + c$	[94]

4.6 Regrasyon Analizi

Regresyon analizlerinde Statistica programı (Statsoft, Inc., Tulsa, OK) kullanılmıştır. Regresyon katsayısı (R^2) ürünlerin kuruma eğrilerini tanımlayan denklemi seçmek için ana kriter olarak alınmıştır. Ayrıca khi-kare (χ^2) ve tahminin standart hatası (RMSE) değerleriyle de kullanılan denklemin uygunluğu saptanmıştır [95]. R^2, χ^2 ve RMSE değerleri, aşağıdaki (4.7), (4.8) ve (4.9) eşitlikler kullanılarak hesaplanmıştır.

$$R^2 = 1 - \frac{\sum_{i=1}^{N}\left(MR_{pre,i} - MR_{exp,i}\right)^2}{\sum_{i=1}^{N}\left(\overline{MR}_{pre} - MR_{exp,i}\right)^2} \tag{4.7}$$

$$\chi^2 = \frac{\sum_{i=1}^{\infty}(MR_{exp,i} - MR_{pre,i})^2}{N-n} \tag{4.8}$$

$$RMSE = [\frac{1}{N}\sum_{i=1}^{n}(MR_{pre,i} - MR_{exp,i})^2]^{1/2} \tag{4.9}$$

Denklemde; MR_{exp}: deneysel nem oranı, MR_{pre}: tahmin edilen nem oranı, N: deneysel veri sayısı ve n: kullanılan kurutma modelindeki katsayı sayısını gösterir.

Tahminin standart hatası (RMSE), ampirik ve deneysel değerler arasındaki sapmayı gösterir. En iyi kurutma modelinin seçilmesinde, RMSE değerinin sıfıra yakın olması istenmektedir. Ayrıca, model seçiminde göz önünde bulundurulan parametrelerden biri olan khi-kare (χ^2) değerinin de düşük olması tercih edilir [96].

4.7 Difüzyon Katsayısının ve Aktivasyon Enerjisinin Hesaplanması

Çeşitli gıdaların ince tabaka kurutma işleminde geniş bir araştırma olanağı bulmuş olan teorik model, Fick'in ikinci difüzyon denkleminin çözümüdür.

$$MR = \frac{8}{\pi^2} \sum_{n=o}^{\infty} \frac{1}{(2n+1)^2} exp(-\frac{(2n+1)^2 \pi^2 D_{eff} t}{4L^2}) \quad (4.10)$$

Burada; D_{eff}: efektif difüzyon katsayısı (m^2/s), L: dilim yarı kalınlığı (m) ve t: kurutma zamanı (s) olarak ifade edilmektedir. Uzun kurutma süreleri çin, (4.11) denkleminin ilk terimi çözüm için kullanılmaktadır.

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

Eşitlik (4.11) aşağıda gösterildiği gibi sadeleştirilir.

$$MR = a\ exp\ (-kt) \quad (4.12)$$

Ln(MR) ile t arasında çizilen doğrunun eğiminden (k), D_{eff} değeri hesaplanır.

$$k = \frac{\pi^2 D_{eff}}{4L^2} \quad (4.13)$$

Efektif difüzyon katsayısının sıcaklık ile değişimi Arhenius tipi üstel bir fonksiyonla açıklanmaktadır.

$$D_{eff}=D_0 exp(-\frac{E_a}{R\ (T+273,15)}) \quad (4.14)$$

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: gaz sabiti (8,314 kJ/mol $\times$ K) ve T: kurutma sıcaklığıdır (^oC).

Kızılötesi kurutucunun kullanıldığı çalışmalarda sıcaklık doğrudan ölçülemediğinden dolayı aktivasyon enerjisi hesaplanmasında modifiye edilmiş Arrhenius denklemi kullanılmıştır [97].

$$D_{eff} = D_0 exp\left(-\frac{E_a m}{p}\right) \quad (4.15)$$

Burada D_0 Arrhenius denklemi ön eksponansiyel bir faktörü (m^2/s), E_a aktivasyon enerjisini (W/kg), p kızıl ötesi güç seviyesini (W) ve m örnek ağırlığını (kg) göstermektedir.

BÖLÜM 5

DENEYSEL BULGULAR VE TARTIŞMA

5.1 Sıcak Havalı Kabin Kurutucuda Kurutulmuş Kiraz Domates

5.1.1 Hava sıcaklığının ve ön işlemin kurutma süresine etkisi

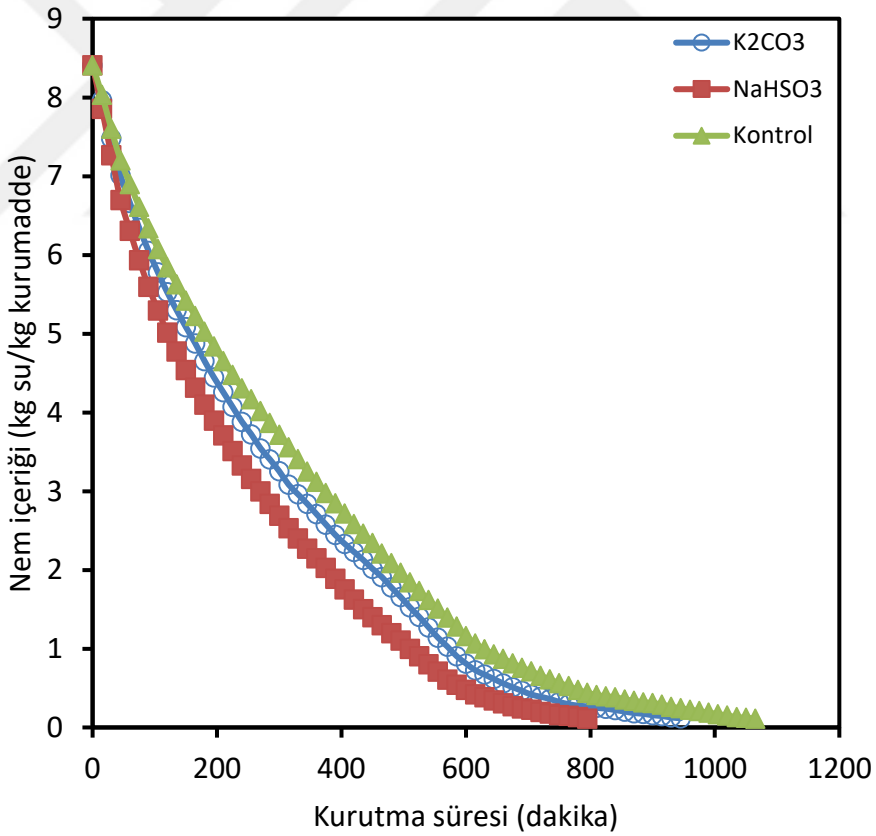
Hava sıcaklığının kiraz domates dilimlerinin (1/2) kuruma süresi üzerindeki etkisi Çizelge 5.1'de verilmiştir. Kuruma süresi, beklendiği gibi artan hava kuruma sıcaklığı ile azalmıştır. Ön işlem görmemiş numunelerin kuruma süreleri, sırasıyla 45, 55, 65 ve 75°C hava sıcaklığında 1065, 660, 585 ve 300 dakika olarak tespit edilmiştir. 75°C sıcaklıkta kuruma süresi, 45°C sıcaklıktan 3,55 kat daha kısa olmuştur. Ön işlem görmüş numunelerde de benzer sonuçlar gözlemlenmiştir. Kurutma sıcaklığının artmasıyla birlikte kurutma süre azalma Muratore vd. [68] ve Kutlu ve İsci [79] tarafından kiraz domates için, Khazaei vd. [69] ve Demiray vd. [75] domates dilimleri için gözlemlenmiştir.

Çizelge 5.1 Hava sıcaklığının ve ön işlemin kiraz domates dilimlerinin kuruma sürelerine etkisi

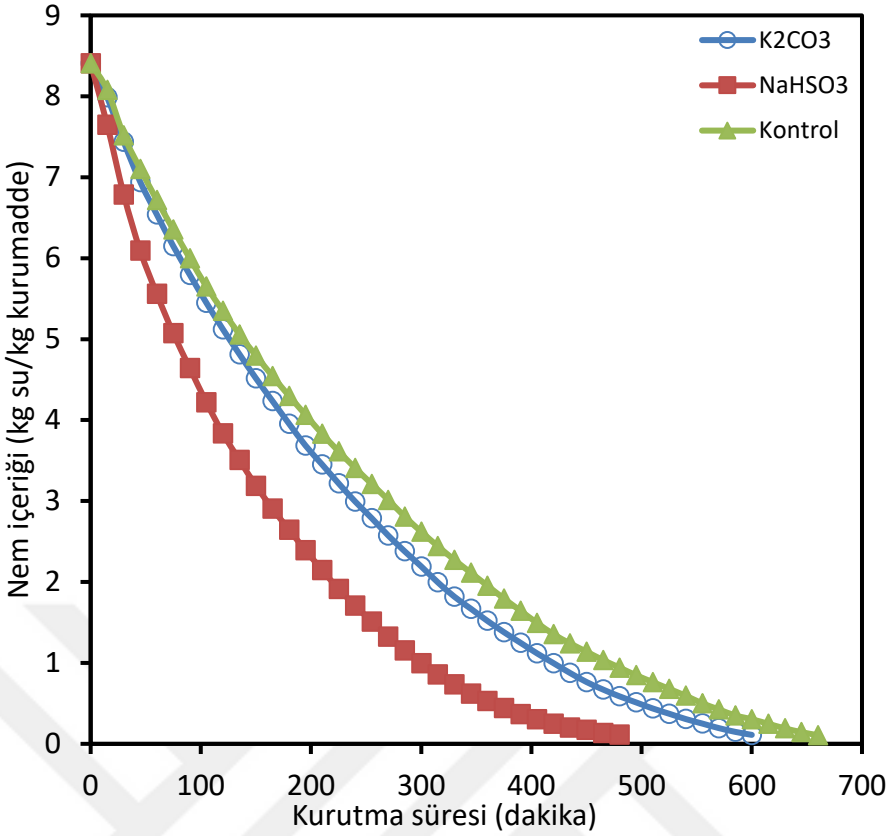
Hava Sıcaklığı (°C)	**Kurutma Süresi (dakika)**		
	Kontrol	**K_2CO_3**	**$NaHSO_3$**
45	1065	945	795
55	660	600	480
65	585	465	345
75	300	285	225

Kurutma süresi, ön işlem uygulaması ile de kısalmıştır. Çizelge 5.1 incelendiğinde, 65°C'de ön işlem uygulanmayan domateslerde kuruma süresi 585 dakika, K_2CO_3 çözeltisinde ön işlem görmüş domateslerde 465 dakika ve $NaHSO_3$ çözeltisinde ön işlem görmüş domateslerde ise 345 dakikadır. Bu sonuçlara göre K_2CO_3 ve $NaHSO_3$ çözeltisinde ön işlem görmüş örneklerin, ön işlem görmemiş örneklere göre sırasıyla %20,5 ve %41 daha hızlı kuruduğu tespit edilmiştir.

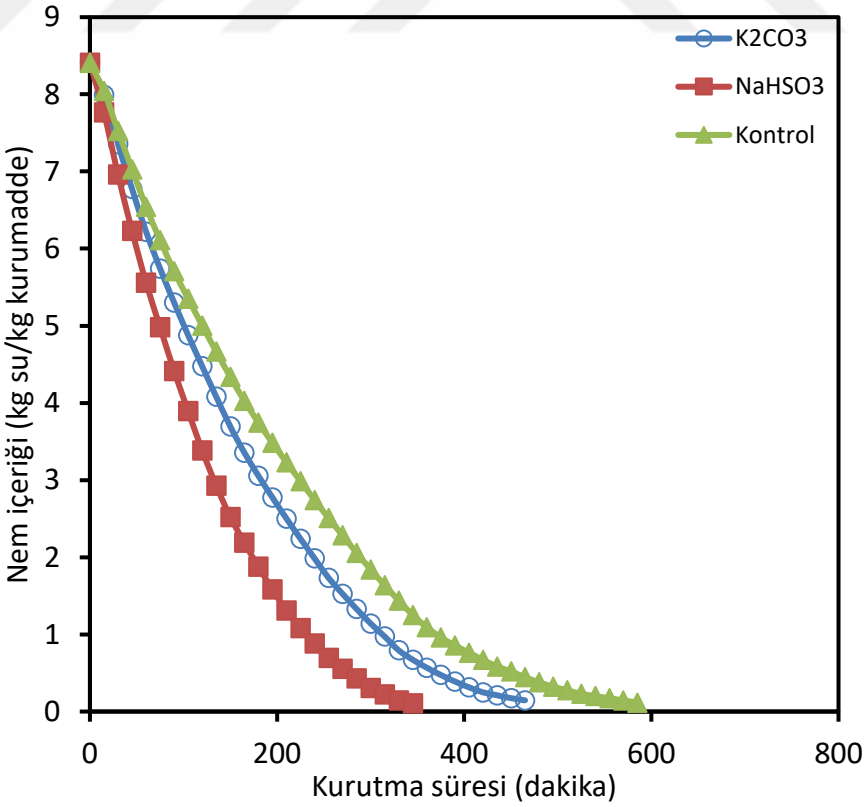
Kiraz domateslerin nem içeriklerinin kuruma süreleri ile değişimi ise Şekil 5.1-5.4'de gösterilmektedir. Şekillerden anlaşılacağı üzere, örneklerdeki nem miktarları kuruma süresi ile azalmaktadır. Sıcaklığın artışıyla ortaya çıkan bu etkiyi, sıcaklık artışının doğal bir sonucu olarak kurutma havası bağıl neminin düşmesine bağlanabilir. Dolayısıyla sıcaklık artışıyla bağıl nemi düşen ve daha yüksek bir kurutma potansiyeline sahip olan kurutma havası kurutmada çok daha etkin bir rol üstlenmektedir.



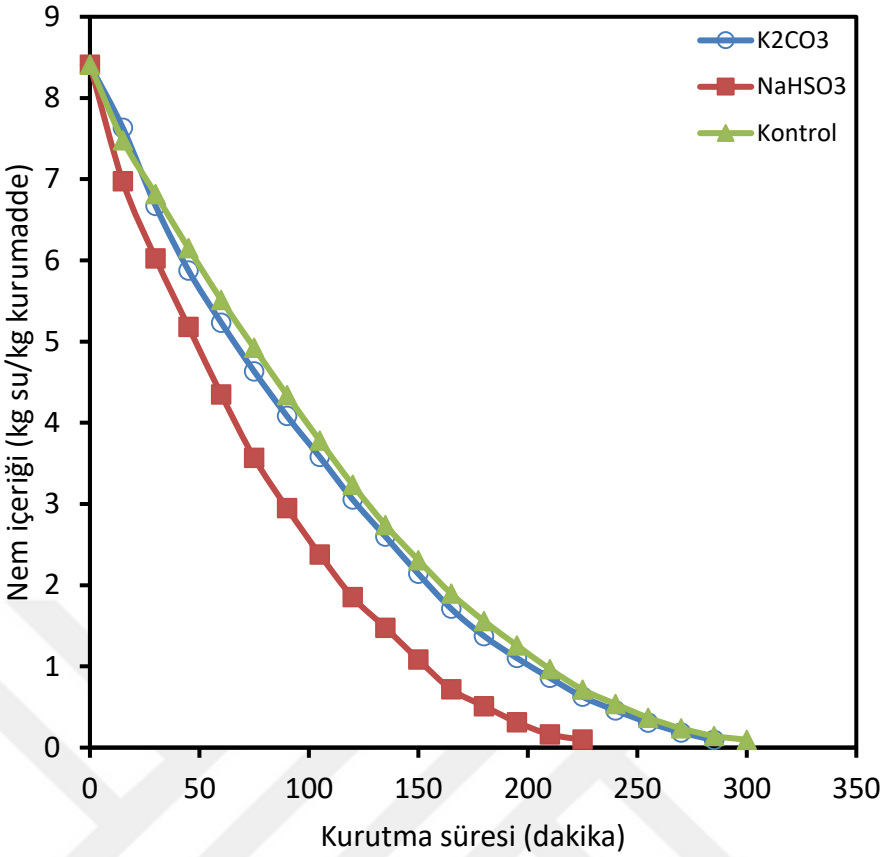
Şekil 5.1 Kiraz domatesin 45°C sıcaklıktaki nem içeriğinin kuruma süresi ile değişimi



Şekil 5.2 Kiraz domatesin 55°C sıcaklıktaki nem içeriğinin kuruma süresi ile değişimi



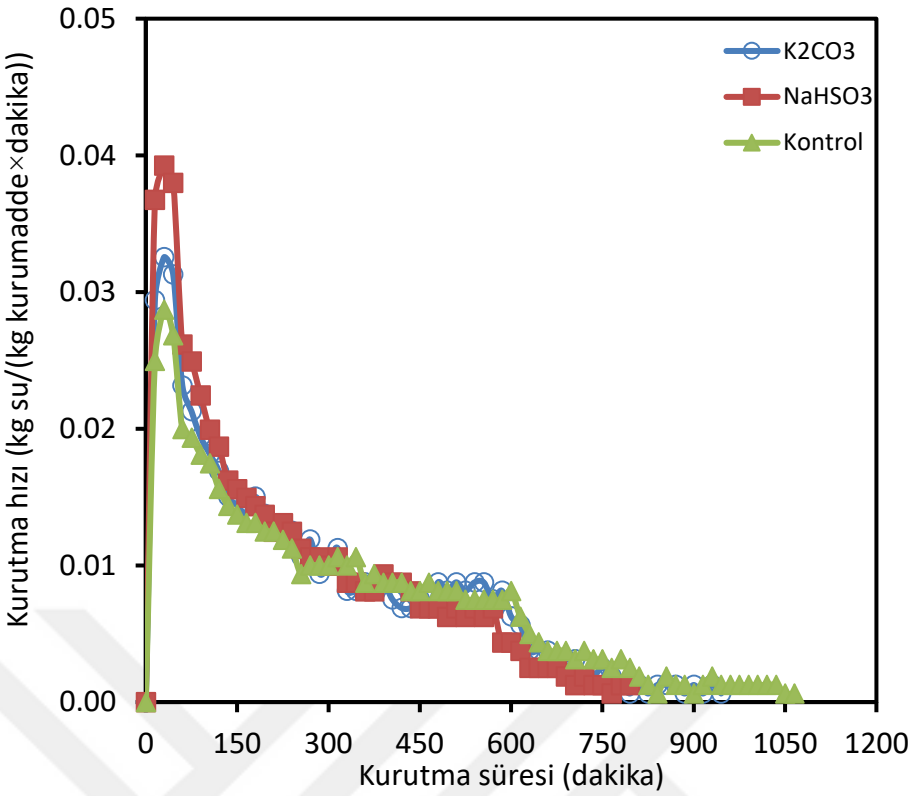
Şekil 5.3 Kiraz domatesin 65°C sıcaklıktaki nem içeriğinin kuruma süresi ile değişimi



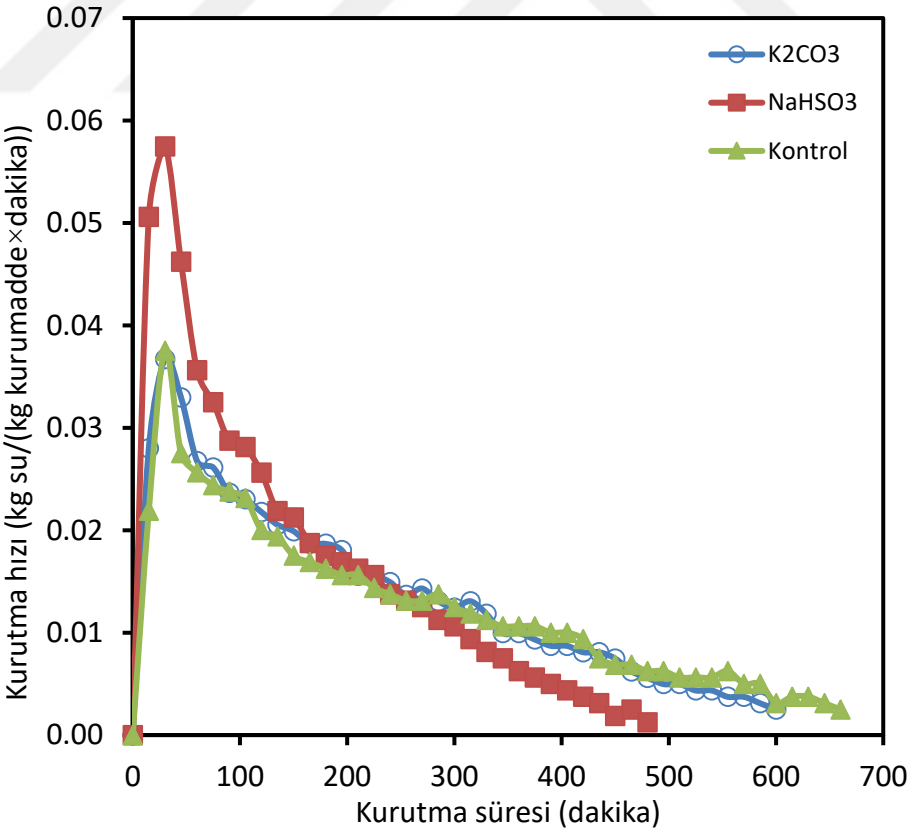
Şekil 5.4 Kiraz domatesin 75°C sıcaklıktaki nem içeriğinin kuruma süresi ile değişimi

5.1.2 Kuruma hızı ile kurutma süresinin değişimi

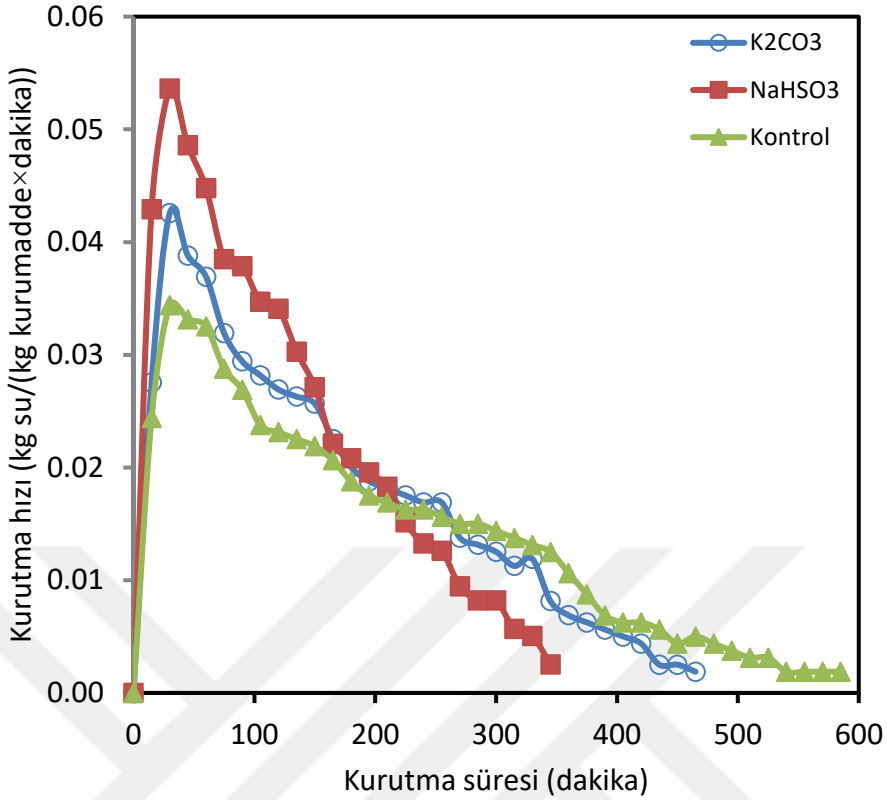
Değişik sıcaklıklarda kurutulan kiraz domates dilimlerinin kurutma hızı ile kurutma süresinin değişimi grafikleri sırasıyla Şekil 5.5, 5.6, 5.7 ve 5.8'de verilmiştir. Grafikler incelendiğinde, kurutma işleminin başında kısa ön ısıtma periyodu olduğu görülmektedir. Bu periyottan sonra kurutma işlemi, azalan debi periyodunda gerçekleşmiştir. Ayrıca kurutma süresi boyunca sabit debi periyodu gözlemlenmemiştir.



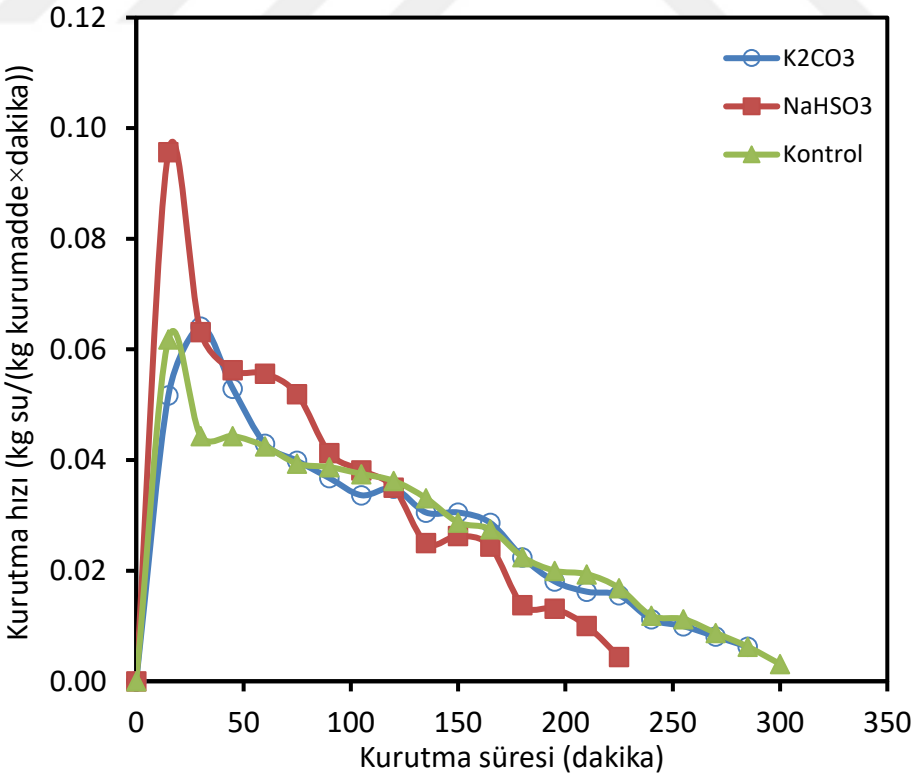
Şekil 5.5 Kiraz domatesin 45°C sıcaklıktaki kurutma hızının kuruma süresi ile değişimi



Şekil 5.6 Kiraz domatesin 55°C' sıcaklıktaki kurutma hızının kuruma süresi ile değişimi



Şekil 5.7 Kiraz domatesin 65°C sıcaklıktaki kurutma hızının kuruma süresi ile değişimi



Şekil 5.8 Kiraz domatesin 75°C sıcaklıktaki kurutma hızının kuruma süresi ile değişimi

5.1.3 Kurutma eğrilerinin matematiksel modellenmesi

Deney sonuçlarından elde edilen verilerden yararlanarak lineer olmayan regresyon analiz yöntemi yardımıyla nem içeriği ile kurutma süresinin değişimi eğrilerinin matematiksel modellenmesi yapılmıştır. Uygulanan denklemler Çizelge 4.1'de ve bu denklemlerin uygulanması ile elde edilen regresyon katsayıları (R^2), khi-kare (χ^2) ve tahminin standart hatası (RMSE) değerleri hesaplanmış ve Çizelge 5.2 ve 5.3'de verilmiştir. Tahmini standart hata, modelden elde edilen tahmini ve deneysel veri arasındaki sapmayı ve khi-kare uyumun iyilik derecesini göstermektedir. En uygun model için khi-kare ve tahmini standart hata değerinin sıfıra, R^2'nin ise bire yakın olması gerekmektedir [79].

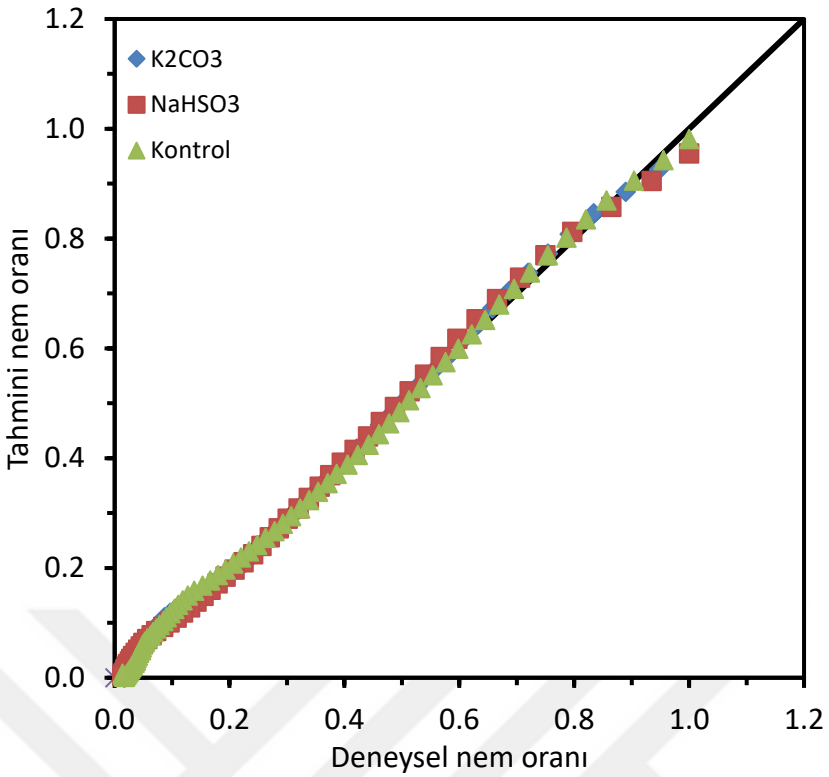
Çizelge 5.2 ve 5.3 incelendiğinde 45, 55, 65 ve 75°C sıcaklık değeri için Midilli vd. ve Logaritmik denklemlerinin R^2 değerlerinin diğer denklemlere göre daha yüksek olduğu, χ^2 ve RMSE değerlerinin ise daha düşük olduğu tespit edilmiştir. Buna göre Midilli vd. ve Logaritmik denklemlerinin kiraz domates kurutma kinetiğini diğerlerinden daha iyi açıkladığı saptanmıştır. Tüm sıcaklık değerleri için deneysel değerler ile teorik Midilli vd. ve Logaritmik denklemlerinden hesaplanan değerlerden faydalanarak çizilen nem içeriğinin kuruma süresi ile değişim grafiği Şekil 5.9-5.16'da görülmektedir.

Çizelge 5.2 45°C ve 55°C'de kurutulan domates dilimleri için matematiksel denklemler kullanılarak hesaplanmış regresyon katsayısı, khi-kare ve RMSE değerleri

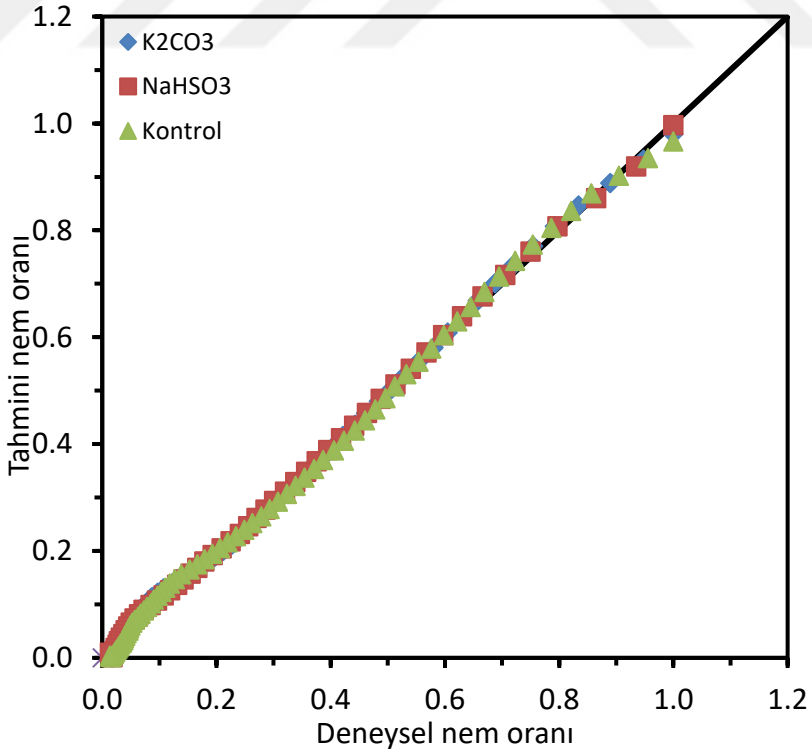
T	Ön İşlem	Model	R^2	χ^2	RMSE
45°C	K_2CO_3	Lewis	0,9906	0,000708	0,193010
		Henderson & Pabis	0,9907	0,000718	0,194503
		Logaritmik	0,9973	0,000209	0,098837
		Page	0,9921	0,000603	0,177190
		Midilli vd.	0,9972	0,000222	0,100160
	$NaHSO_3$	Lewis	0,9929	0,000516	0,148788
		Henderson & Pabis	0,9932	0,000504	0,145799
		Logaritmik	0,9975	0,000186	0,077865
		Page	0,9929	0,000523	0,148529
		Midilli vd.	0,9986	0,000104	0,061932
	Kontrol	Lewis	0,9905	0,000732	0,206901
		Henderson & Pabis	0,9909	0,000716	0,208971
		Logaritmik	0,9975	0,000193	0,103081
		Page	0,9939	0,000477	0,164989
		Midilli vd.	0,9974	0,000208	0,105353
55°C	K_2CO_3	Lewis	0,9886	0,000020	0,024890
		Henderson & Pabis	0,9908	0,000790	0,154312
		Logaritmik	0,9997	0,000021	0,024890
		Page	0,9963	0,000317	0,096608
		Midilli vd.	0,9996	0,000027	0,028265
	$NaHSO_3$	Lewis	0,9958	0,000329	0,090080
		Henderson & Pabis	0,9959	0,000332	0,090046
		Logaritmik	0,9992	0,000064	0,037013
		Page	0,9968	0,000261	0,079509
		Midilli vd.	0,9993	0,000054	0,033952
	Kontrol	Lewis	0,9885	0,000947	0,179827
		Henderson & Pabis	0,9906	0,000792	0,160041
		Logaritmik	0,9997	0,000025	0,027306
		Page	0,9956	0,000366	0,108305
		Midilli vd.	0,9996	0,000029	0,029817

Çizelge 5.3 65°C ve 75°C'de kurutulan domates dilimleri için matematiksel denklemler kullanılarak hesaplanmış regresyon katsayısı, khi-kare ve RMSE değerleri

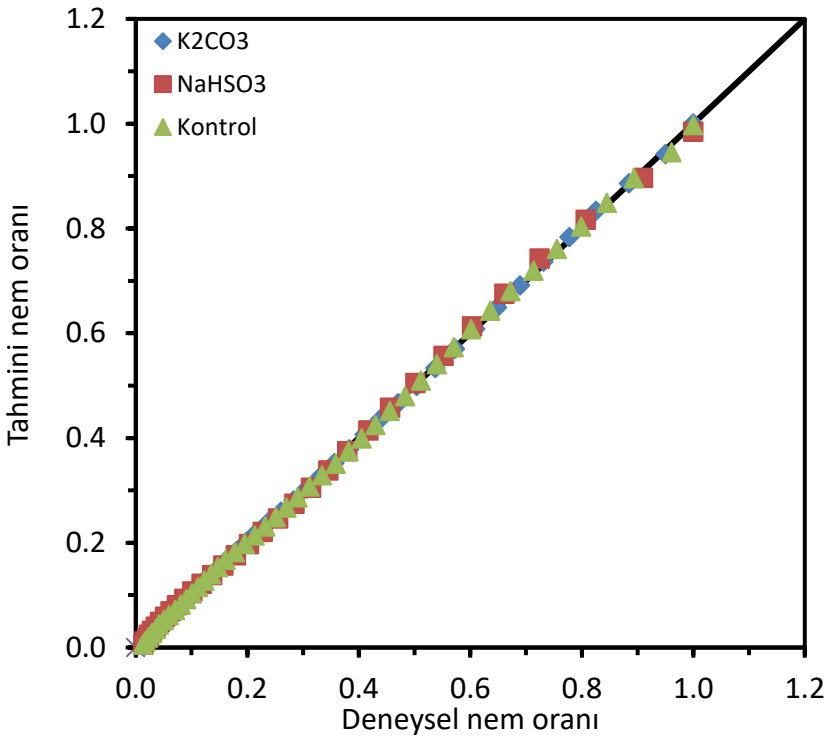
Sıcaklık	Ön İşlem	Model	R^2	χ^2	RMSE
65°C	K_2CO_3	Lewis	0,9839	0,001473	0,195193
		Henderson & Pabis	0,9891	0,001035	0,156226
		Logaritmik	0,9989	0,000100	0,042321
		Page	0,9977	0,000209	0,070303
		Midilli vd.	0,9995	0,000048	0,031155
	$NaHSO_3$	Lewis	0,9844	0,001483	0,164897
		Henderson & Pabis	0,9893	0,001069	0,133840
		Logaritmik	0,9989	0,000109	0,040524
		Page	0,9984	0,000152	0,050486
		Midilli vd.	0,9998	0,000017	0,016006
	Kontrol	Lewis	0,9844	0,001392	0,218519
		Henderson & Pabis	0,9890	0,001006	0,177979
		Logaritmik	0,9984	0,000144	0,059062
		Page	0,9972	0,000248	0,087742
		Midilli vd.	0,9990	0,000071	0,050054
75°C	K_2CO_3	Lewis	0,9809	0,001854	0,170203
		Henderson & Pabis	0,9850	0,001532	0,146791
		Logaritmik	0,9990	0,000102	0,037079
		Page	0,9957	0,000440	0,076843
		Midilli vd.	0,9992	0,000088	0,033526
	$NaHSO_3$	Lewis	0,9869	0,001271	0,117019
		Henderson & Pabis	0,9883	0,001217	0,117154
		Logaritmik	0,9991	0,000096	0,027895
		Page	0,9952	0,000493	0,069425
		Midilli vd.	0,9990	0,000115	0,030426
	Kontrol	Lewis	0,9757	0,002394	0,193798
		Henderson & Pabis	0,9805	0,002025	0,177297
		Logaritmik	0,9981	0,000205	0,053665
		Page	0,9953	0,000481	0,081192
		Midilli vd.	0,9990	0,000113	0,036192



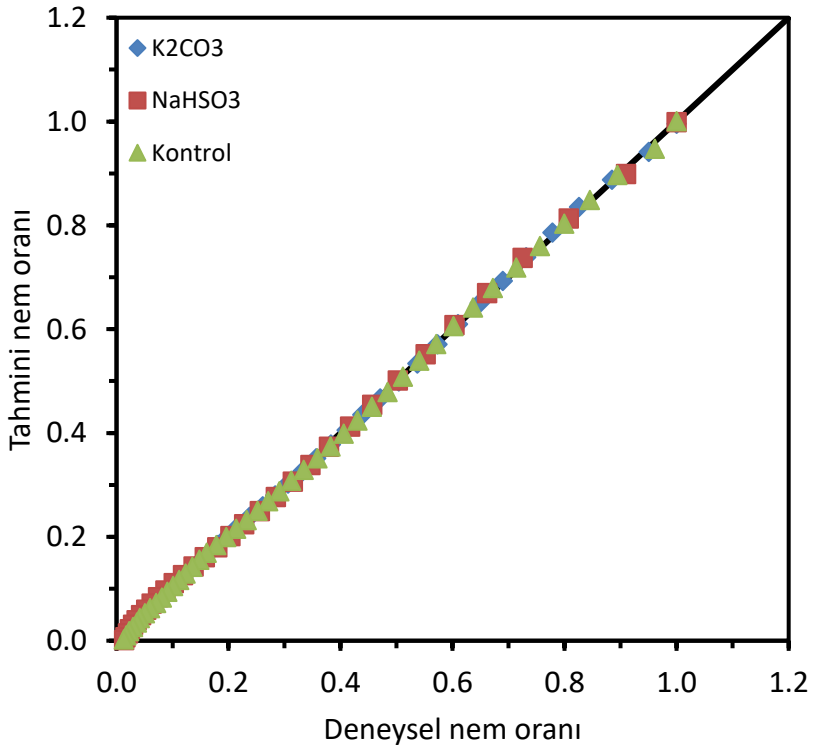
Şekil 5.9 45°C'de kurutulan domates dilimleri için deneysel ve Logaritmik denkleminin tahmini nem oranı değerleri



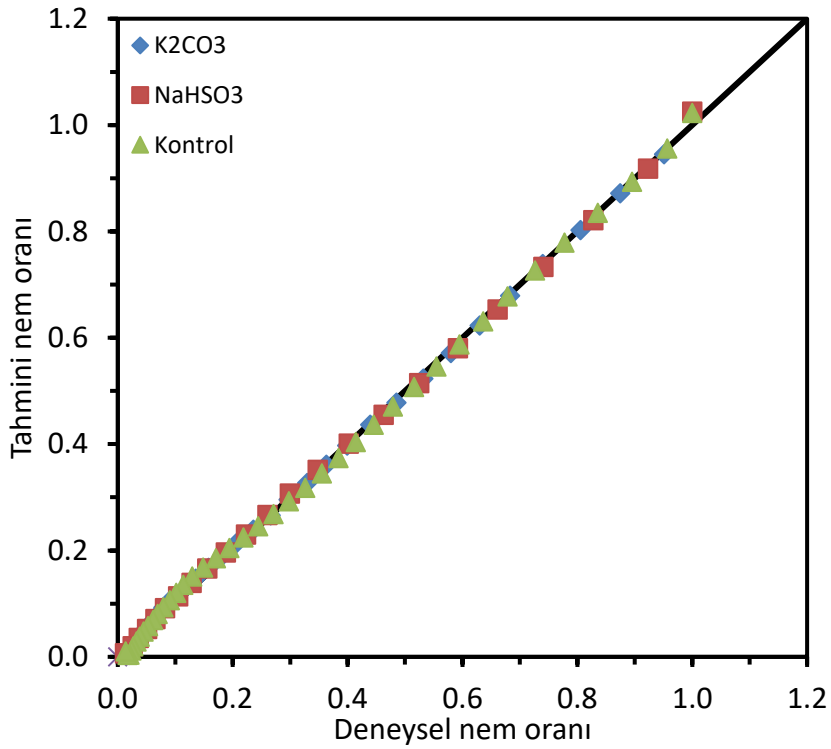
Şekil 5.10 45°C'de kurutulan domates dilimleri için deneysel ve Midilli vd. denkleminin tahmini nem oranı değerleri



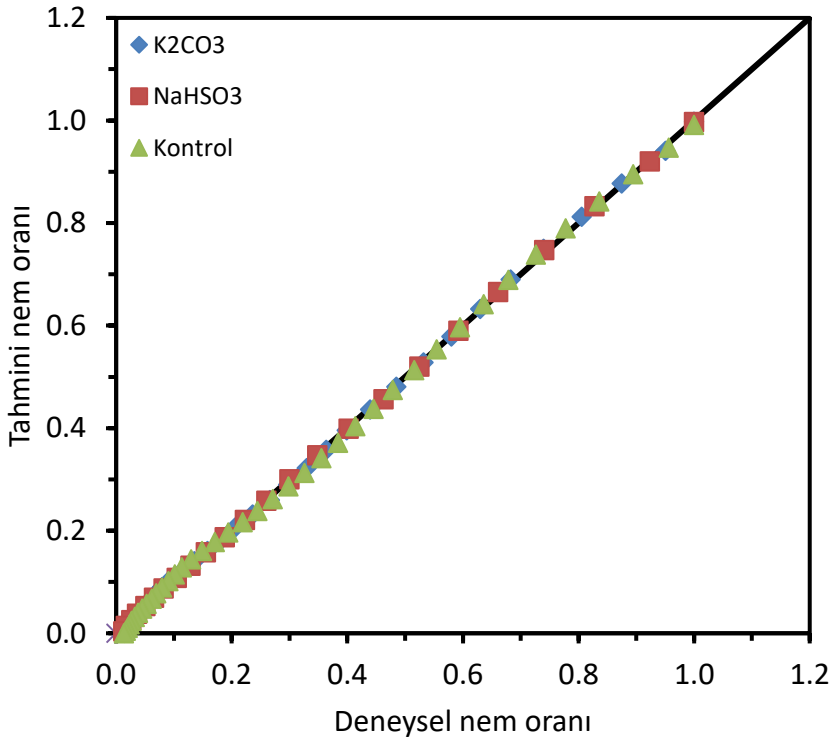
Şekil 5.11 55°C'de kurutulan domates dilimleri için deneysel ve Logaritmik denkleminin tahmini nem oranı değerleri



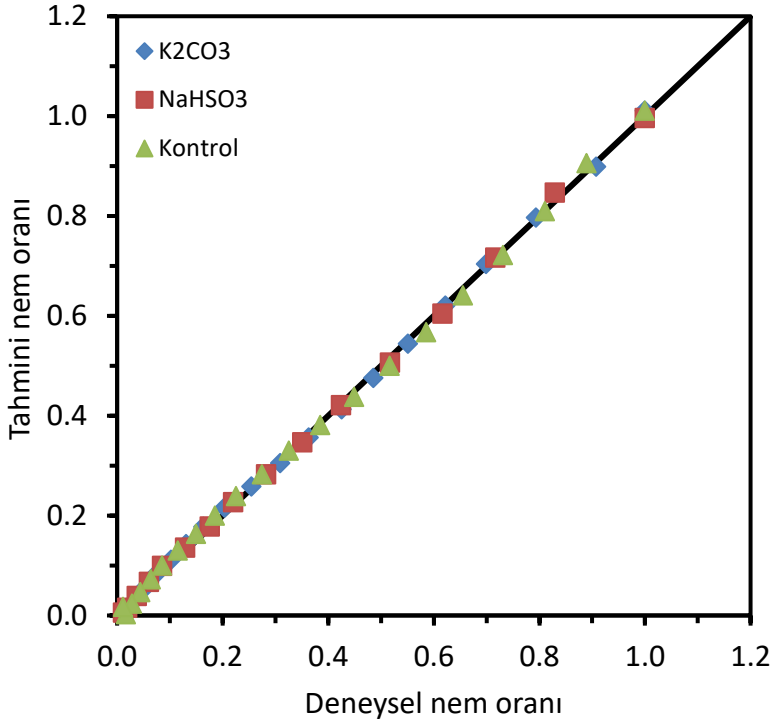
Şekil 5.12 55°C'de kurutulan domates dilimleri için deneysel ve Midilli vd. denkleminin tahmini nem oranı değerleri



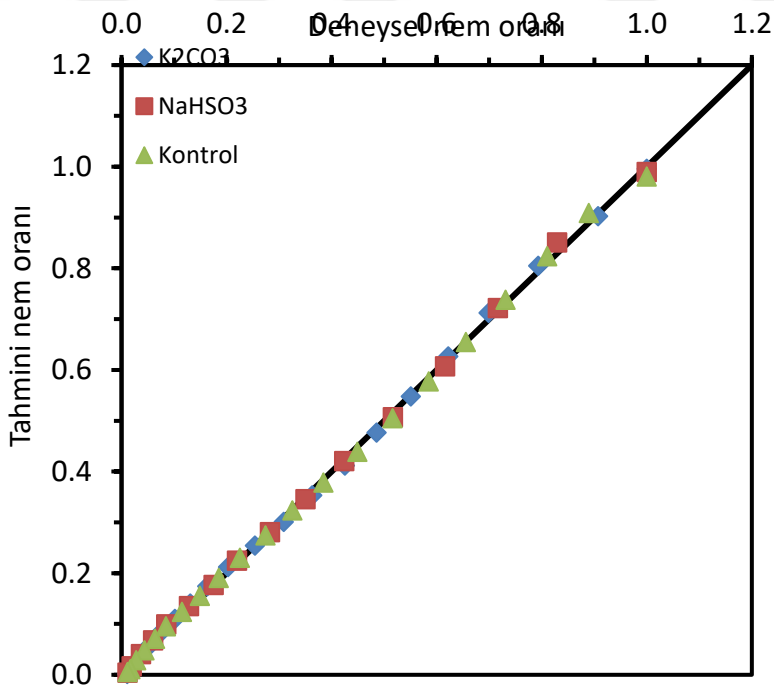
Şekil 5.13 65°C'de kurutulan domates dilimleri için deneysel ve Logaritmik denkleminin tahmini nem oranı değerleri



Şekil 5.14 65°C'de kurutulan domates dilimleri için deneysel ve Midilli vd. denkleminin tahmini nem oranı değerleri



Şekil 5.15 75°C'de kurutulan domates dilimleri için deneysel ve Logaritmik denkleminin tahmini nem oranı değerleri



Şekil 5.16 75°C'de kurutulan domates dilimleri için deneysel ve Midilli vd. denkleminin tahmini nem oranı değerleri

.

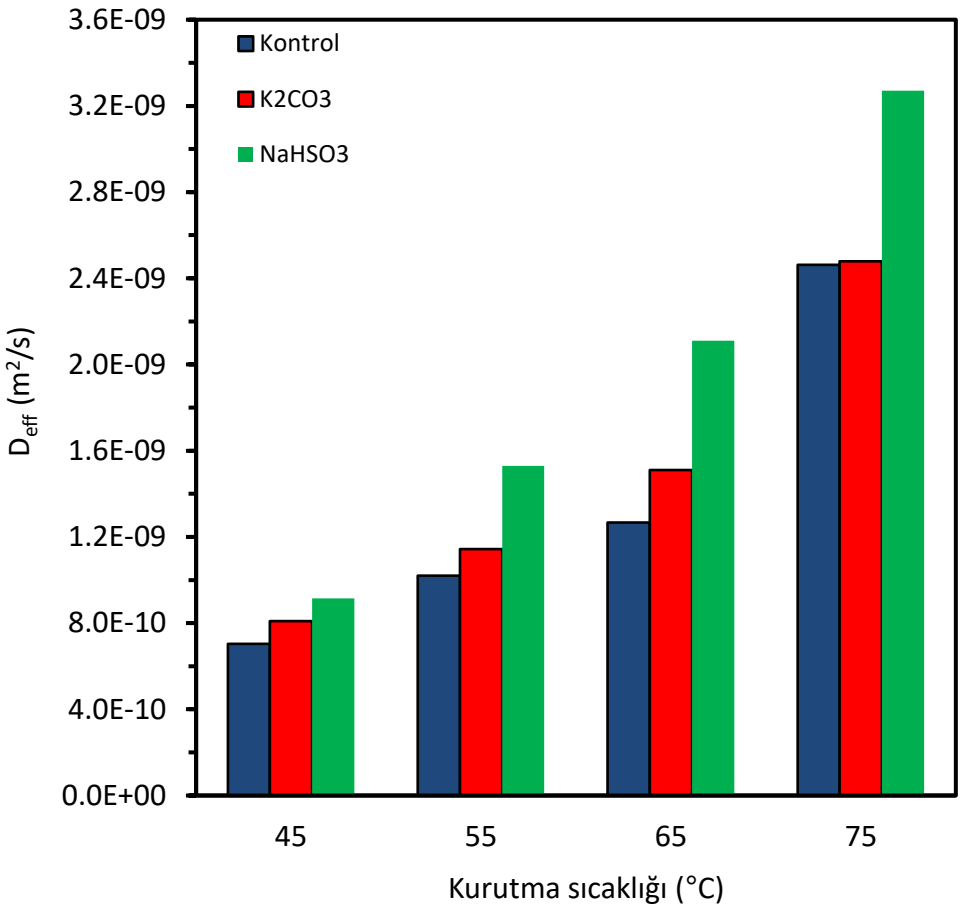
Şekil 5.9-5.16 incelendiğinde her sıcaklık için deneysel veriler ile tahmin edilen veriler uyum içinde olduğu görülmektedir.

5.1.4 Efektif difüzyon katsayılarının hesaplanması

Sodyum bisülfit ve potasyum karbonat çözeltisinde ön işlem uygulanmış domates dilimleri ve ön işlemsiz kontrol domates örnekleri için her bir kurutma havası sıcaklığı için (4.10) denklemi kullanılarak efektif difüzyon katsayısı hesaplanmış ve Çizelge 5.4 ve Şekil 5.17'de gösterilmiştir. Kiraz domates dilimlerinin 45-75°C sıcaklıklarda kurutulması sonrasında hesaplanan D_{eff} değerleri $7{,}034\times10^{-10}$ m^2/s ile $3{,}271\times10^{-9}$ m^2/s arasında değişmektedir. Ön işlem uygulanması efektif difüzyon katsayısı değerlerini büyük oranda arttığı görülmektedir.

Çizelge 5.4 Kiraz domates için efektif difüzyon katsayıları

Kod	T (°C)	D_{eff} (m^2/s)
$NaHSO_3$	45	$9{,}145\times10^{-10}$
	55	$1{,}530\times10^{-9}$
	65	$2{,}110\times10^{-9}$
	75	$3{,}271\times10^{-9}$
K_2CO_3	45	$8{,}089\times10^{-10}$
	55	$1{,}143\times10^{-9}$
	65	$1{,}512\times10^{-9}$
	75	$2{,}497\times10^{-9}$
Kontrol	45	$7{,}034\times10^{-10}$
	55	$1{,}020\times10^{-9}$
	65	$1{,}266\times10^{-9}$
	75	$2{,}462\times10^{-9}$



Şekil 5.17 Kiraz domatesin efektif difüzyon katsayısının kurutma sıcaklığıyla değişimi

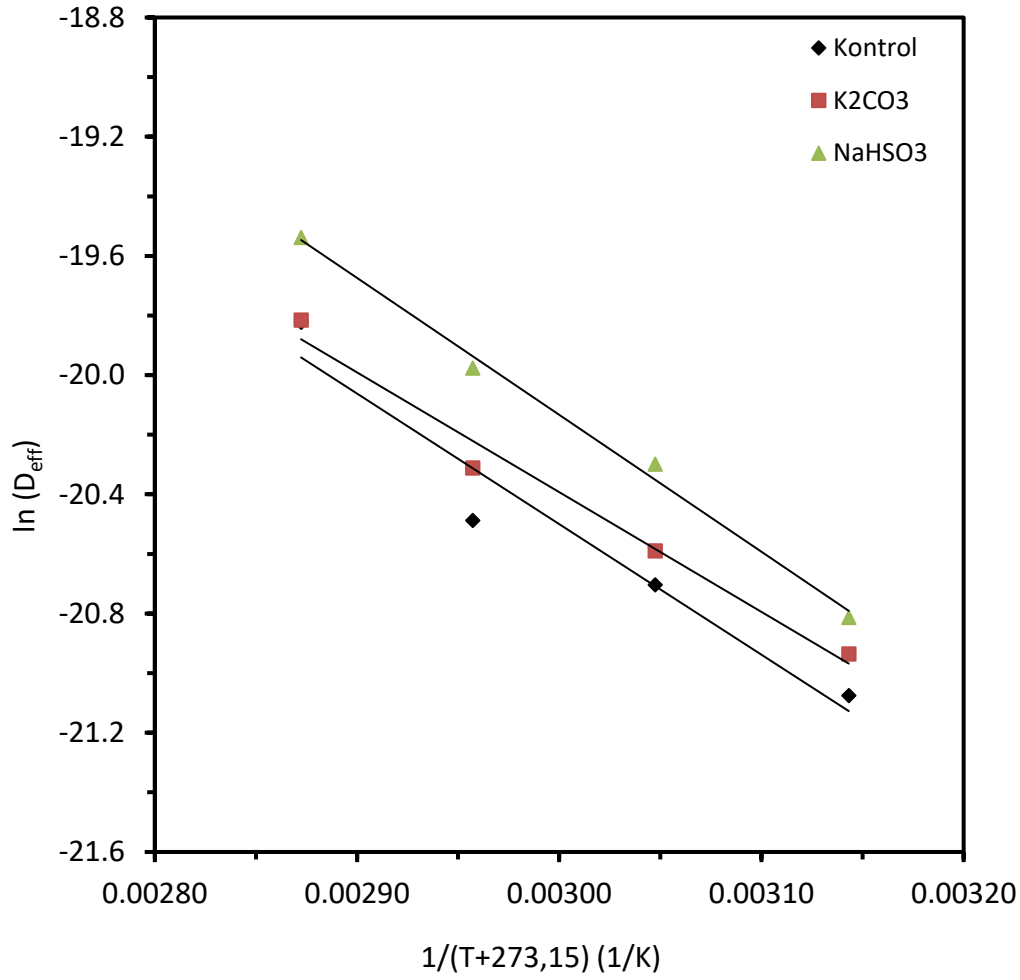
Şekil 5.17 incelendiğinde, D_{eff} değerinin ön işlem görmüş domates dilimlerinde yüksek olduğu görülmektedir. Ayrıca D_{eff} değerinin sıcaklıkla arttığı da gözlemlenmektedir. Bu durum kurutma sıcaklığındaki bir artışın daha fazla nem buharlaşmasına sebep olmasından kaynaklanmaktadır. Literatürde, kurutulmuş domateslerin efektif difüzyon katsayıları incelendiğinde benzer sonuçlar elde edildiği görülmüştür. Çizelge 5.5'de literatürden bazı örnekler verilmiştir.

Çizelge 5.5 Literatürden farklı domates türleri için efektif difüzyon katsayı değerleri

Ürün	**D_{eff} (m^2/s)**	**Kaynak**
Kiraz Domates	$4{,}42\times10^{-10}$- $4{,}76\times10^{-10}$	Ismail ve Akyol [98]
Domates	$1{,}76\times10^{-4}$ - $3{,}09\times10^{-2}$	Taheri-Garavand vd. [99]
Kiraz Domates	$2{,}26\times10^{-9}$ - $6{,}22\times10^{-9}$	Doymaz ve Kipcak [100]
Domates	$2{,}26\times10^{-9}$- $9{,}14\times10^{-9}$	Giovanelli vd. [101]
Domates	$1{,}4\times10^{-10}$- $2{,}8\times10^{-9}$	Khazaei vd. [102]

5.1.5 Aktivasyon Enerjisinin Hesaplanması

Aktivasyon enerji değerleri, ln (D_{eff}) ile 1/(T+273,15) arasında çizilen grafikten (Şekil 5.18) yararlanarak hesaplanmıştır.



Şekil 5.18 Kiraz domates için sıcaklığın efektif difüzyon katsayısına etkisi

Aşağıdaki denklemlerde (5.1-5.3), ön işlem uygulanarak (K_2CO_3 ve $NaHSO_3$) ve ön işlem uygulanmadan (kontrol) kurutulan kiraz domatesler için difüzyon katsayı değerlerine sıcaklığın etkisi gösterilmiştir.

K_2CO_3:

$$D_{eff} = 2{,}39\times10^{-4}\ exp\left(-\frac{4017{,}9}{T+273{,}15}\right) \quad (R^2 = 0{,}980) \qquad (5.1)$$

$NaHSO_3$:

$$D_{eff}=1,74\times10^{-3}\ exp\left(-\frac{4593,8}{T+273,15}\right)\quad (R^2 = 0,994) \tag{5.2}$$

Kontrol:

$$D_{eff}= 6,37\times10^{-4}\ exp\left(-\frac{4380,7}{T+273,15}\right)\quad (R^2 = 0,943) \tag{5.3}$$

Değişik sıcaklıklarda kurututulan domates örnekleri için aktivasyon enerjisi değerlerini (5.1), (5.2) ve (5.3) denklemlerinden yararlanarak hesaplanmıştır. K_2CO_3, $NaHSO_3$ ve kontrol numuneleri için aktivasyon enerji değerleri sırasıyla 33,40, 38,18 ve 36,42 kJ/mol olarak bulunmuş. Çizelge 5.6'da farklı domates kurutma çalışmalarında bulunan aktivasyon enerjisi değerleri verilmiştir. Bu çalışmada bulunan E_a değeri literatürde belirtilen 12,7-110 kJ/mol aralığındadır [104].

Çizelge 5.6 Farklı domates türleri için aktivasyon enerjileri

Ürün	**E_a (kJ/mol)**	**Kaynak**
Domates	24,92	Gamlı [105]
Domates	33,33- 43,23	Taheri-Garavand vd. [99]
Kiraz Domates	26,51-32,79	Doymaz ve Kipcak [100]
Domates	21,25-23,4	Khazaei vd. [102]
Kiraz Domates	31,99-36,21	Cheng vd. [103]

5.1.6 Renk analizi

Kurutma sıcaklığının ve ön işlem uygulamasının kurutma sonrası ürünün rengine etkisini araştırmak amacıyla taze ve kurutulmuş domates dilimlerinin renk analizleri yapılmıştır. Elde edilen ortalama L, a ve b değerleri taze ve farklı sıcaklıklarda kurutulmuş domates dilimleri için Çizelge 5.7 ve Çizelge 5.8'de verilmektedir.

Çizelge 5.7 Taze kiraz domates renk analiz değerleri

Taze kiraz domates		
L	**a**	**b**
32,31	22,58	10,75

Çizelge 5.8 Kabin kurutucuda kurutulmuş domates dilimlerinin renk analiz değerleri

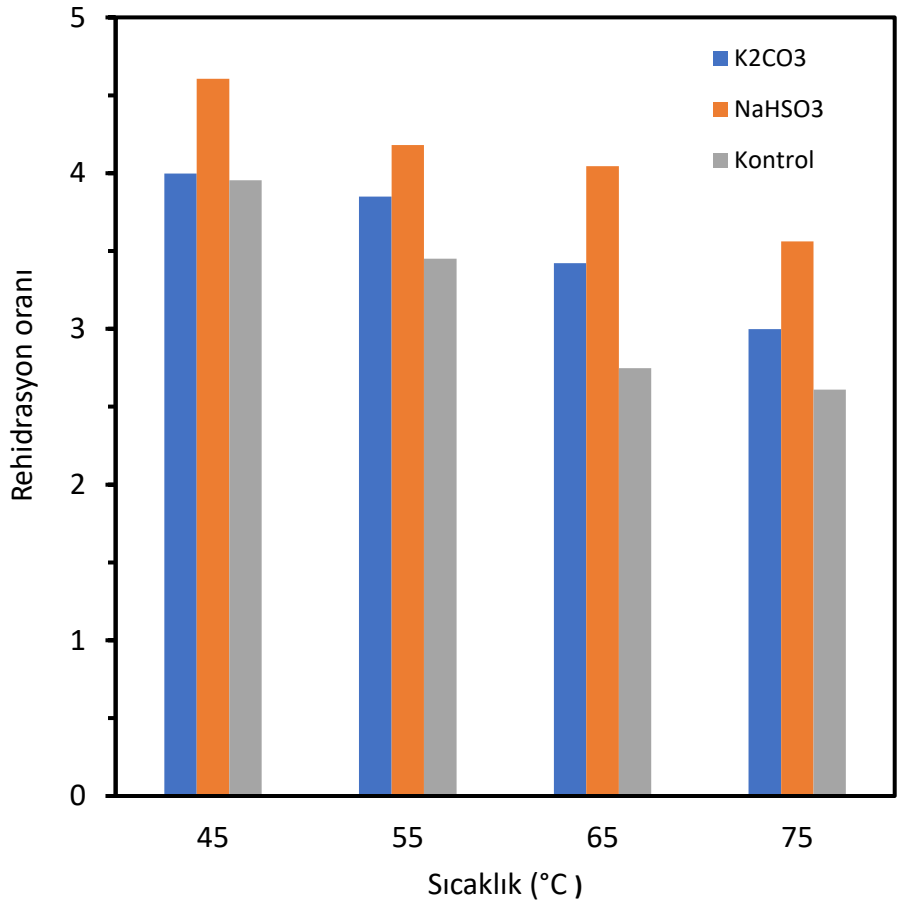
Ön işlem	T (°C)	L	a	b	C	ΔE
K_2CO_3	45	30,80	21,24	9,07	23,09	52,10
	55	35,47	16,46	5,92	17,49	52,64
	65	37,72	16,05	4,35	16,62	53,06
	75	38,08	16,00	3,32	16,34	53,84
$NaHSO_3$	45	31,13	23,09	10,49	25,36	50,75
	55	36,97	17,98	5,41	18,77	52,25
	65	38,19	16,23	4,81	16,92	52,43
	75	38,48	14,75	3,81	15,23	53,39
Kontrol	45	30,59	17,04	8,79	19,17	52,70
	55	36,03	15,43	5,55	16,39	52,83
	65	37,61	14,91	4,35	15,53	53,25
	75	38,01	14,26	3,76	14,74	53,70

Çizelge 5.8 incelendiğinde, kurutma sıcaklığı arttıkça L değeri artmakta, bunun aksine a ve b değerleri azalmaktadır. Burada L değeri parlaklığı, a değerleri kırmızılığı ve b değeri sarılığı ifade etmektedir. Ayrıca kurutma sıcaklığındaki artış Chroma (C) değerini düşürmüş, toplam renk değişimi (ΔE) değerinde artış sağlamıştır. Aynı hava sıcaklığında kurutulan kontrol ve ön işlem uygulaması yapılan örneklerin parlaklık ve toplam renk değişimi değerleri arasında kayda değer bir fark olmamıştır. Bununla birlikte ön işlem uygulaması yapılan örneklerin C, a ve b değerleri kontrole göre daha yüksektir.

Kocabiyik vd. [106] kurutmadan önce ve sonra domates dilimlerinin L, a ve b değerlerinin birbirine çok yakın sonuçlar verdiğini bildirmiştir. Çalışmamıza benzer olarak kurutulmuş domates dilimlerinin b değeri, tüm kurutma işlemleri için taze olanlardan daha düşük olduğunu tespit etmiştir. Ashebir vd. [107], domatesi sıcak havalı kabin kurutucuda 55, 65 ve 75°C sıcaklıklarda kurutmuş ve renk analizi sonucunda ΔE değerinin kurutma sıcaklığı arttıkça arttığını bildirmiştir.

5.1.7 Rehidrasyon oranlarının belirlenmesi

Kabin kurutucuda 45, 55, 65 ve 75°C sıcaklıkta kurutulan kiraz domatesler, 23°C sıcaklıktaki suda 6 saat rehidrasyona bırakılmıştır. Deney sırasında alınan sonuçlarına göre rehidrasyon oranı (4.3) denklemine göre hesaplanıp Şekil 5.19'da bar grafiğinde görülmektedir.



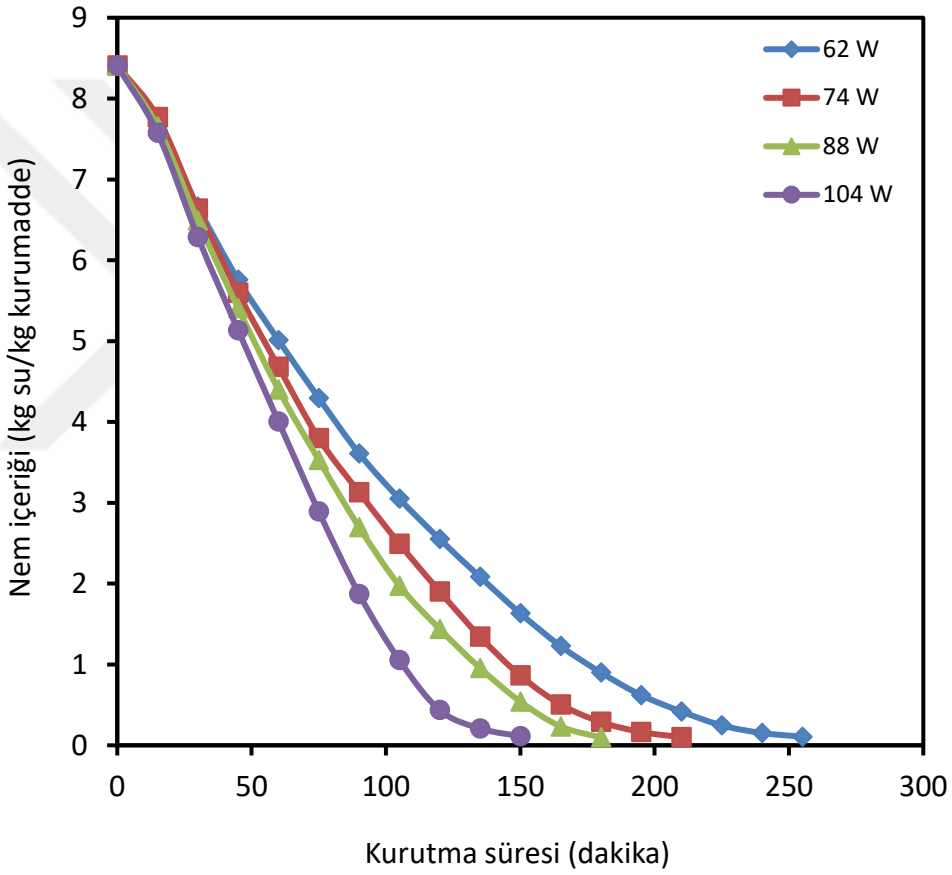
Şekil 5.19 Farklı sıcaklıklarda kurutulan domates dilimlerinin rehidrasyon oranları

Şekil 5.19 incelendiğinde ilk olarak ön işlemin etkisi göze çarpmaktadır. Ön işlemle muamele edilmiş örneklerin rehidrasyon oranı kontrol örneğine göre daha yüksek rehidrasyon oranlarına sahiptir. $NaHSO_3$ ile muamele edilen ve farklı sıcaklıklarda kurutulan domates dilimleri en yüksek rehidrasyon oranına sahiptir. Bununla birlikte kurutma sıcaklığının yükselmesi rehidrasyon oranını düşürmüştür. Yüksek sıcaklıklarda yapılan kurutma işlemlerinde domateslerin dokularında geri dönülemez zararlar oluştuğu için domateslerin su absorplaması daha zor olmaktadır. Doymaz ve Özdemir [76] yaptıkları çalışmada; domatese kurtulmadan önce uygulanan ön işlemin (AEEO) kontrol örneklere göre daha yüksek rehidrasyon oranına sahip olduğu sonucunu bildirmiştir.

5.2 Kızılötesi (Infrared) Kurutucu

5.2.1 Kızılötesi kurutma gücünün kurutma süresine etkisi

Kurutma gücündeki değişimin kurutma süresine etkisi Şekil 5.20'de verilmiştir. Şekilde görüldüğü üzere, kurutma gücü yükseldikçe kurutma süresinde düşüş olmuştur. Kurutma süreleri 62, 74, 88 ve 104 W için sırasıyla 225, 210, 180 ve 150 dakikadır. Kurutma gücünün 62 W'dan 104 W'a yükselmesiyle kurutma süresi %33,33 kısalmıştır. Kurutma gücünün artması, domatesin içerisinde barındırdığı suyun daha hızlı buharlaşmasını sağlamıştır.



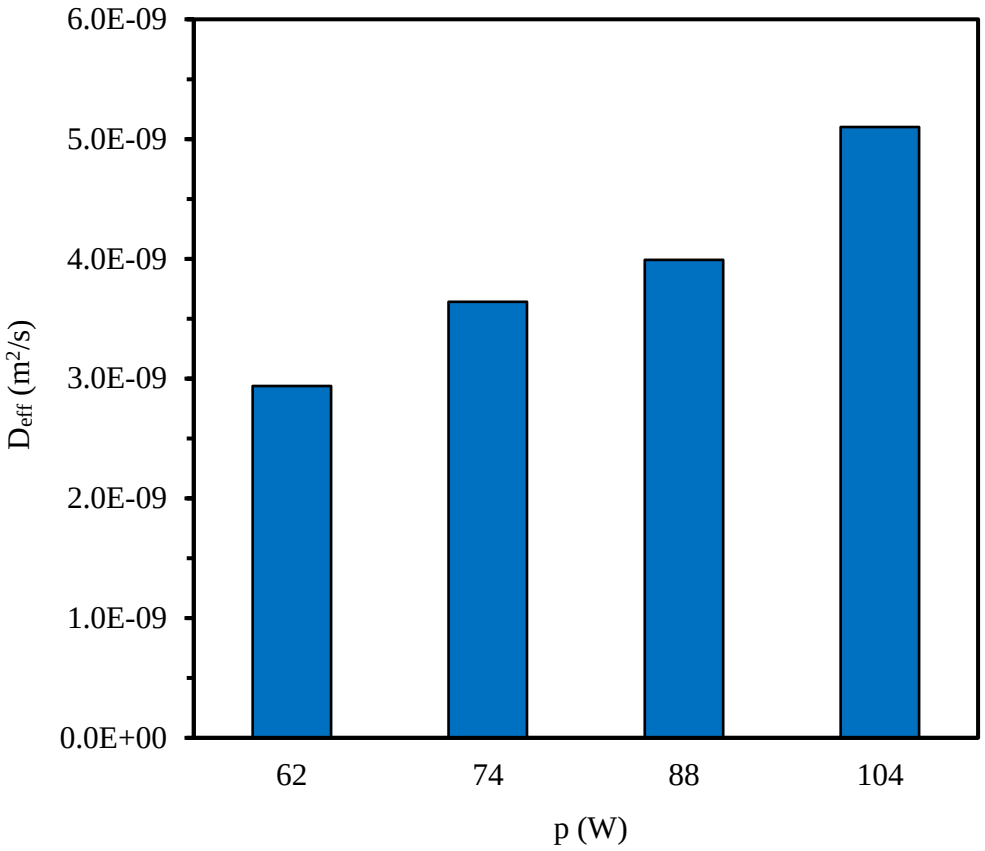
Şekil 5.20 Kızılötesi kurutma gücünün kurutma süresine etkisi

Literatürde kızılötesi kurutucu kullanılarak pek çok meyve ve sebze kurutulmuştur. Örnek olarak, domates [108], yaban mersini [109], elma [110] ve havuç [111]. Bu çalışmalar incelendiğinde benzer olarak kızılötesi güç artmasıyla birlikte kurutma davranışlarında olumlu sonuçlar olduğu tespit edilmiştir. Doymaz [25], domates dilimlerini kızılötesi kurutucuda 125 W'dan 188 W'a çıkarılması sonucu kurutma

süresinin 450 dakikadan 240 dakikaya düştüğünün sonucunu bildirmiştir. Celma vd. [86], domates atığının kızılötesi kurutucuda kurutma sıcaklığının 100°C'den 160°C'ye çıkmasının kurutma süresini 99,5 dakikadan 35 dakikaya düşürdüğünü bildirmiştir.

5.2.1 Efektif difüzyon katsayılarının hesaplanması

Kızılötesi kurutucu ile kurutulmuş domates örnekleri için her bir kurutma gücü için (4.10) denklemi kullanılarak efektif difüzyon katsayısı hesaplanmış ve Şekil 5.21'de gösterilmiştir. Kiraz domates dilimlerinin 62-104 W kurutucu gücündeki D_{eff} değerleri $2{,}93\times10^{-9}$ m^2/s ile $5{,}1\times10^{-9}$ m^2/s arasında değişmiştir. Kurutma gücün artmasıyla D_{eff} değerlerindeki değişimin sebebi domatesin içindeki nemin daha fazla buharlaşmasına sebep olmasından kaynaklanmaktadır.



Şekil 5.21 Kiraz domatesin efektif difüzyon katsayısının kurutma gücüyle değişimi

Sadin vd. [112], kızılötesi kurutucuda kuruttuğu domatesler için efektif difüzyon katsayısını $1{,}09\times10^{-9}$ ile $4{,}46\times10^{-9}$ m^2/s arasında olduğunu bildirmiştir. Celma vd. [86], endüstriyel domates atığının kızılötesi kurutucuda 100°C ile 160°C kurutma sıcaklığında kurutulması deneysel çalışmasında efektif difüzyon katsayısının $5{,}17\times10^{-9}$ m^2/s ile

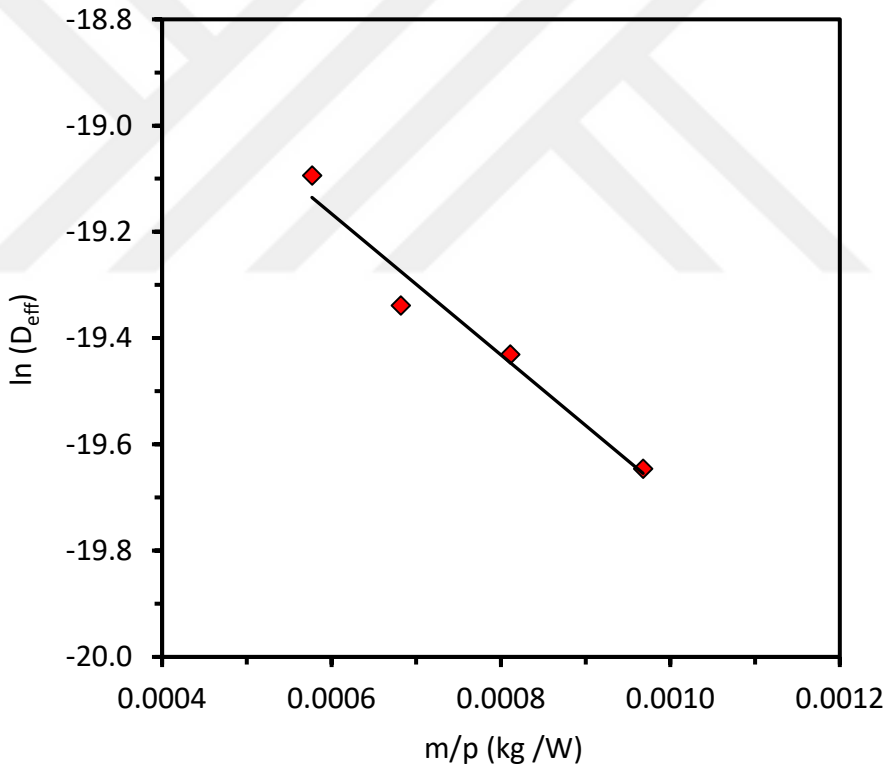
1,42×10^{-8} m^2/s değerleri arasında değiştiği belirtmiştir. Genel olarak D_{eff} değerleri çeşitli gıda maddelerinin kurutulması için 10^{-12} ila 10^{-8} m^2/s aralığında olduğu rapor edilmiştir. [104].

5.2.3 Aktivasyon Enerjisinin Hesaplanması

Aktivasyon enerji değerleri, ln (D_{eff}) ile 1/(T+273,15) arasında çizilen grafikten (Şekil 5.22) yararlanarak hesaplanmıştır. (5.4) denkleminde kızılötesi kurutucuda kurutulan kiraz domatesler için difüzyon katsayı değerlerine kurutma gücüne etkisi gösterilmiştir.

$$D_{eff} = 1{,}053\times10^{-8}\, exp\left(-\frac{1328{,}3}{T+273{,}15}\right) \quad (R^2 = 0{,}9609) \qquad (5.4)$$

Farklı kurutma güçlerinde kurututulan kiraz domatesler için aktivasyon enerjisi değeri (5.4) denkleminden yararlanarak 1,328 kW/kg olarak hesaplanmıştır.

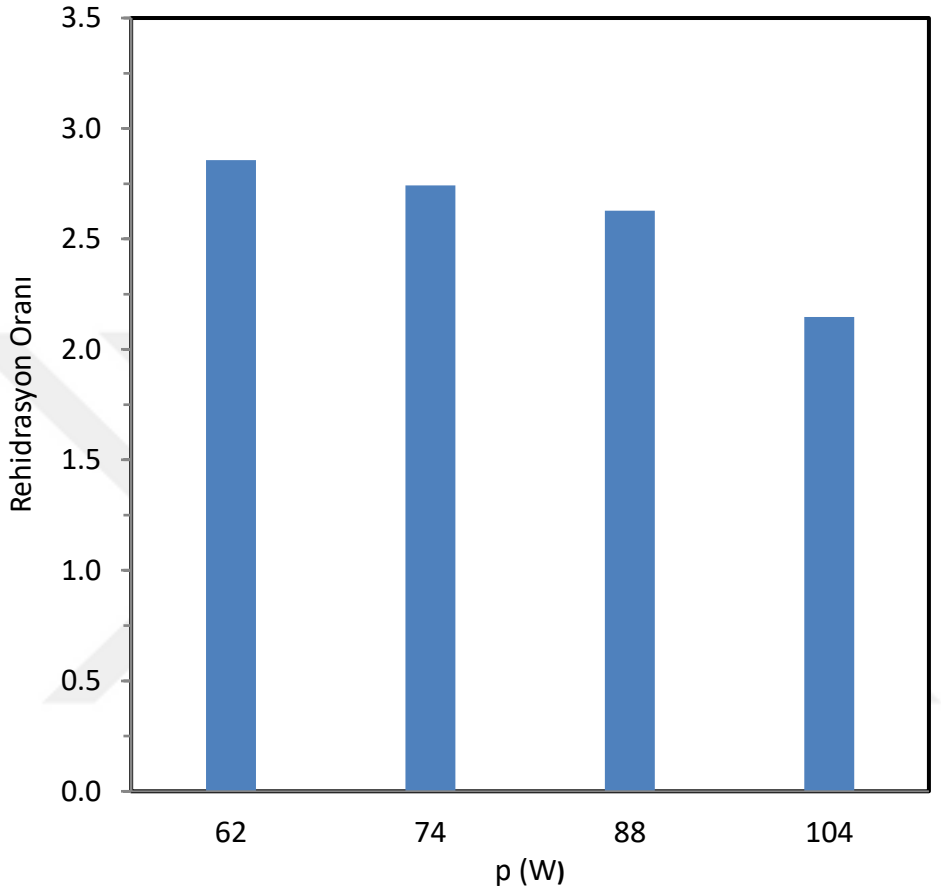


Şekil 5.22 Kiraz domates için kurutma gücünün efektif difüzyon katsayısına etkisi

Doymaz [25], kızılötesi kurutucuda 125 ile 188 W arasında uyguladığı kızılötesi güç ile kurutulmuş kiraz domateslerin aktivasyon enerjisinin 3,73 kW/kg olduğunu bildirmiştir. Celma vd. [86], endüstriyel domates atığının nem difüzyonu için aktivasyon enerjisini 22,23 kJ/ mol olarak belirlemiştir.

5.2.4 Rehidrasyon oranının belirlenmesi

Kızılötesi kurutucuda 62, 74, 88 ve 104 W kızılötesi güçte kurutulmuş domates dilimlerinin rehidrasyon oranları Eşitlik (4.2) kullanılarak hesaplanmıştır. Elde edilen sonuçlar Şekil 5.23'de verilmiştir.



Şekil 5.23 Farklı kızılötesi güçte kurutulmuş domates dilimlerinin rehidrasyon oranları

Şekil 5.23 incelendiğinde, rehidrasyon oranı en yüksek 62 W kurutma gücünde olduğu, en düşük ise 104 W kurutma gücünde olduğu görülmektedir. Yani düşük kurutma gücü yüksek rehidrasyon oranı sağlamaktadır. Kurutma sonrası gıdaların tekrar kullanılması için rehidrasyon oranının yüksek olması önemlidir. Rehidrasyon oranı, kurutma kalitesini etkilen önemli faktörlerden biridir ve yüksek olması beklenir. Yüksek güçte yapılan kurutmada gıdanın yapısı daha fazla bozulmaktadır. Yüksek güçte kurutulan domates dilimlerinin sahip olduğu porlar parçalandığı için tekrar su alımında içyapısı yetersiz kalmaktadır. Böylece rehidrasyon oranı düşmektedir. Altı saat rehidrasyona

tabii tutulan domates dilimlerinde en yüksek rehidrasyon oranı 2,85 iken en düşük 2,14 olarak hesaplanmıştır.

5.2.5 Renk Analizi

Farklı kızılötesi güç değerlerinde kurutulan kiraz domateslerin renk analiz değerleri Çizelge 5.9'da verilmektedir. Bu çizelge incelendiğinde kızılötesi güç arttıkça L (parlaklık), a (kırmızılık), b (sarılık) ve Chroma (C) değerinde düşüş bunların aksine toplam renk değişimi (ΔE) değerinde artış olmaktadır.

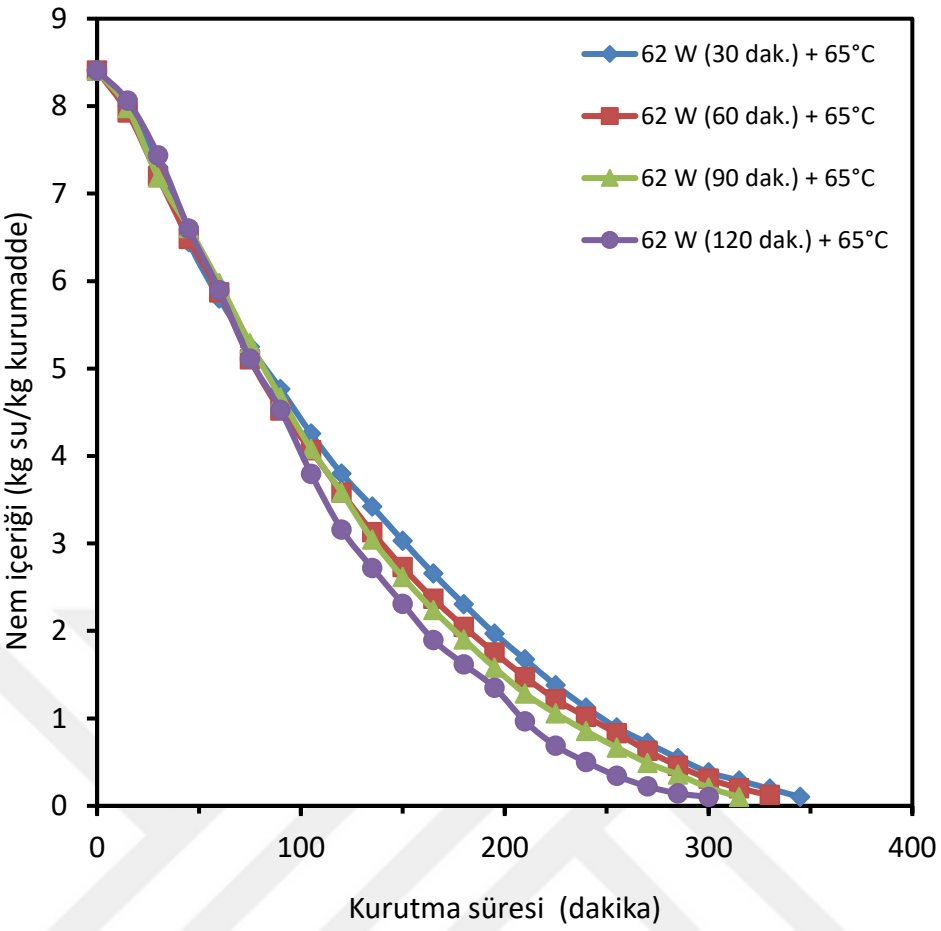
Çizelge 5.9 Kızılötesi kurutucuda kurutulmuş domates dilimlerinin renk analiz değerleri

p (W)	L	a	b	C	ΔE
62	38,29	12,51	3,98	13,12	53,68
74	36,93	10,02	2,66	10,36	55,91
88	36,65	9,10	1,23	9,18	57,50
104	35,40	5,50	0,21	5,50	59,82

Deneysel çalışmamızın sonucuna benzer olarak, Izli ve Isik [113] mikrodalga fırınında kuruttuğu domateslerinin renk analiz sonucunda her sıcaklık değeri için taze olan domatese göre kurutulmuş domatesin a ve b değerlerinin düştüğünü belirtmiştir. Chroma değerinin ise sıcaklık arttıkça düştüğünü bildirmiştir.

5.3 Kombine Kurutma

Kombine kurutma (kızılötesi + kabin kurutucu) süresi boyunca kiraz domateslerin nem içeriğindeki değişim Şekil 5.24'de verilmiştir. 30, 60, 90 ve 120 dakika gibi 62 W kızılötesi gücünde kurutulduktan sonra kurutma işlemine 65°C'de kabin kurutucuda devam edilmiştir. Bu örneklerin kuruma süreleri sırasıyla 345, 330, 315 ve 300 dakikadır. Kabin kurutma öncesinde uygulanan kızılötesi kurutmanın süresi uzatıldıkça toplam kurutma süresi kısalmıştır. Örnek olarak ön kurutmanın 120 dakika uygulanması 30 dakika uygulanmasına göre kurutma süresini %13 kısaltmıştır. Çizelge 5.1'de verilen sadece kabin kurutucuda 65°C'de kontrol kodlu domates dilimlerinin kurutma süresi 585 dakikadır. Kombine yapılan tüm kurutma deneylerinde kurutma süresi, kabin kurutucuda kurutulan örneklere göre kısaldığını saptanmıştır.



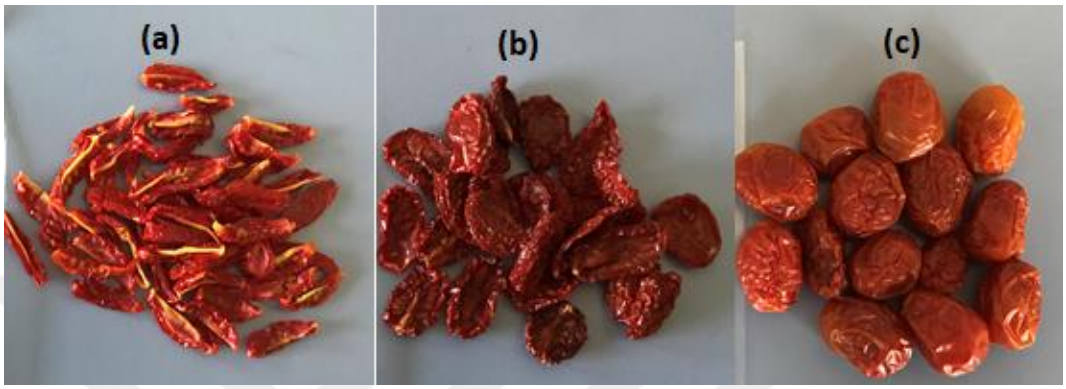
Şekil 5.24 Kombine kurutmada nem içeriğinin kurutma süresi ile değişimi

Onwude vd. [3] tarafından yapılan çalışmaya benzer olarak tatlı patatesi kurutmak için kızılötesi ve sıcak havalı kurutucuyu kombine olarak kullanmıştır. Bununla beraber literatürde pek çok meyve ve sebze için kombine kurutma yöntemleri denenmiştir. Cui vd. [114] elma ve havuç kurutmak için mikrodalga-vakum ve dondurarak kurutucuyu, Maskan [115] kiviyi kurutmak için sıcak hava ve mikrodalga kurutucuyu, Swasdisevi vd. [116] muzu kurutmak için kızılötesi ve vakum kurutucuyu kombine olarak kullanmıştır. Heredia vd. [67] yaptığı çalışmada, kiraz domatesleri ozmotik dehidrasyon ve mikrodalga kurutma sistemlerinde kombine olarak kurutmuştur. Ozmotik dehidrasyonda tuz, şeker ve kalsiyum laktat ile formüle edilmiş çeşitli ozmotik çözeltiler kullanılmıştır. Sonuç olarak kombine kurutmanın kurutulmuş domatesin raf ömrünü uzattığını bildirmiştir. Abano vd. [117], domates dilimlerinin kombine olarak mikrodalga ve vakum kurutucuda kurutulmasının kurutma kinetiği ve kalitesine etkisini araştırmıştır. Sonuçlar, mikrodalga-vakumlu kurutma koşullarındaki artışın kuruma

hızını arttırdığını ve kuruma süresinin 84 dakikadan 14 dakikaya düştüğünü göstermiştir.

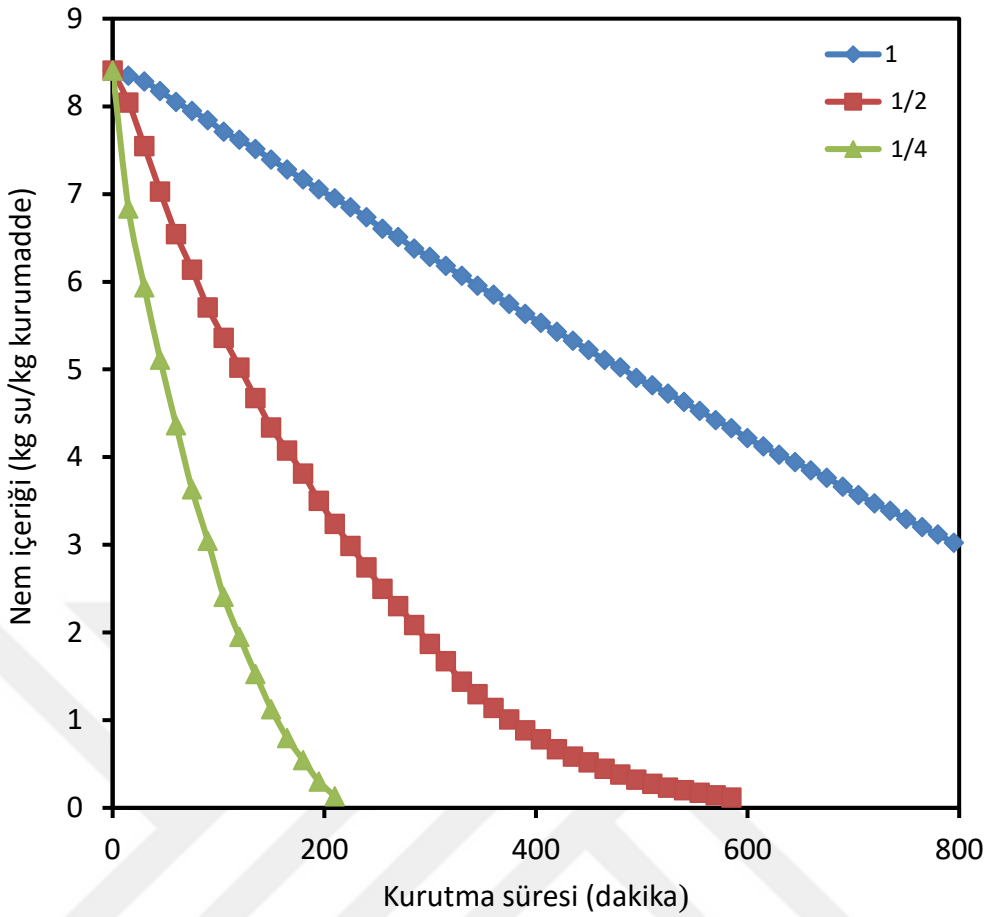
5.4 Geometrik Şekile Göre Kurutma

Bütün, yarım ve çeyrek olarak 65°C'de kabin kurutucuda kurutulan kiraz domates örneklerinin Şekil 5.25'de kurutmadan sonraki görüntüleri verilmiştir.



Şekil 5.25 65°C'de kabin kurutucuda kurutma sonrası (a) çeyrek (1/4), (b) yarım (1/2), (c) bütün (1/1) kiraz domatesler

Bütün olarak kurutulan domatesler 800 dakikanın sonunda istenilen son nem oranı olan %10'a ulaşamamıştır. Çeyrek (1/4) ve yarım (1/2) şeklinde kurutulan kiraz domates dilimlerinin kurutma süresi sırasıyla 210 ve 585 dakikadır. Geometrik şeklin yüzey alanını arttıracak şekilde kesilmesi bağlı suyun daha kolay buharlaşmasına yardımcı olduğundan çeyrek olarak kesilen domatesin yarım olarak kesilen domatese oranla kurutma süresini 2,78 kat kısaltmıştır. Sadin vd. [112], domates dilimlerini kızılötesi kurutucuda sıcaklık ve dilim kalınlığının kurutma kinetiğine etkisini araştırmıştır. Sıcaklık yükseldikçe ve ayrıca daha ince dilimler halinde kurutulan kiraz domateslerde kurutma süresinin kısaldığını gözlemlemiştir.



Şekil 5.26 Geometrik şekli farklı olan kiraz domates örneklerinin nem içeriğinin kurutma süresi ile değişimi

Khazaei vd. [69] yaptıkları çalışmada, domatesi kurutmadan önce 3, 5, 7, 9, ve 11 mm olarak üzere 5 farklı boyutta dilimlemiştir. 60, 80 ve 120°C'de yapılan kurutma sonucunda her sıcaklık için kurutma süresi en düşük 3 mm boyutundaki domates dilimde gözlemlenmiştir. Ayrıca dilim kalınlığının farklılığı kurutulmuş ürünün tüm fiziksel ve kimyasal yapısını etkilediğini bildirmiştir. Rajkumar vd. [118], domates dilimlerinin vakum destekli solar kurutucu ve güneşte kurutma yöntemlerinde kurutma kinetiği araştırmışlardır. 4, 6 ve 8 mm kalınlığında domates dilimlerinin %94 başlangıç nem içeriğinden yaklaşık %11,5 nihai nem içeriğine kurutulması için geçen süre vakum destekli solar kurutucu için sırasıya 360, 480 ve 600 dakika ve güneşte kurutmasında sırasıyla 450, 600 ve 750 dakika olduğu sonucu elde edilmiştir. Her iki kurutma tipi için de dilim kalınlığının ince olması kurutma süresini azaltmış böylece kurutmayı hızlandırıcı etkisi olmuştur.

BÖLÜM 6

SONUÇ ve ÖNERİLER

Kiraz domateslerin sıcak havalı kabin kurutucu, kızılötesi kurutucu ve her iki kurutucuda kombine olarak kurutulması sonucunda elde edilen verilerin sonuçları aşağıda verilmiştir. Sıcak havalı kabin kurutucuda kurutulan domates dilimleri için; hava sıcaklığının ve ön işlemin kurutma süresine etkisi, kurutma hızı ile kurutma süresinin değişimi, kurutma eğrilerinin modellenmesi, difüzyon katsayılarının ve aktivasyon enerjisinin hesaplanması, renk analizleri ve rehidrasyon oranının belirlenmesi sonuçları incelenmiştir. Kızılötesi kurutucuda kurutulan domates dilimleri için; kızılötesi kurutma gücünün kurutma süresine etkisi, difüzyon katsayılarının ve aktivasyon enerjisinin hesaplanması, renk analizleri ve rehidrasyon oranının belirlenmesi için çalışılmıştır.

I. Kiraz domateslerin sıcak havalı kabin kurutucuda kurutulması

a) Hava sıcaklığının kurutma süresine etkisi incelendiğinde;

Domates dilimleri sıcak havalı kabin kurutucuda kurutulurken 45, 55, 65 ve 75°C olmak üzere dört farklı sıcaklık kullanılmıştır. Kurutma sıcaklığının yükselmesi kurutma süresini kısaltmıştır. Kurutma sıcaklığının 45°C'den 75°C'ye çıkmasıyla kurutma süresinde 3,55 kat azalma meydana gelmiştir. Domates dilimlerinin kurutması, azalan hız periyodunda gerçekleşmiştir ve kurutma süresi boyunca sabit debi periyodu gözlemlenmemiştir.

b) Ön işlemin kurutma süresine etkisi incelendiğinde;

Domates kurutma işlemi $NaHSO_3$ ve K_2CO_3 ile ön işlem yapılarak ve kontrol olarak gerçekleştirilmiştir. Ön işlem uygulanması her sıcaklık değeri için kurutma süresini kısaltıcı etki göstermiştir. Örnek olarak 65°C kurutma sıcaklığı incelendiğinde; $NaHSO_3$ ve K_2CO_3 ile ön işlem uygulanan domateslerin kurutma süresi, kontrol olarak kurutulan domateslerin kurutma süresine oranla sırasıyla 1,70 ve 1,26 kat daha kısa olarak tespit edilmiştir.

Hem sıcaklık hem de ön işlem sonuçları göz önüne alındığında; sıcak havalı kabin kurutucuda kiraz domates kurutma prosesinde hızlı bir kurutma süresi elde etmek için seçilmesi gereken sıcaklık değeri 75°C ve ön işlem olarak $NaHSO_3$ uygulaması olduğu tavsiye edilebilir.

c) Kurutma kinetiği incelendiğinde;

Deney sonuçlarından elde edilen verilerden yararlanarak lineer olmayan regresyon analiz yöntemi yardımıyla nem içeriği ile kurutma süresinin değişimi eğrilerinin Lewis, Henderson ve Pabis, Logaritmik, Page, Midilli vd., Wang ve Singh, Aghbashlo vd. ve Parabolic olmak üzere sekiz farklı matematiksel modellenmesi yapılmıştır. 45, 55, 65 ve 75°C sıcaklık değeri için Midilli vd. ve Logaritmik denklemlerinin R^2 değerlerinin diğer denklemlere göre daha yüksek olduğu, χ^2 ve RMSE değerlerinin ise daha düşük olduğu tespit edilmiştir. Buna göre Midilli vd. ve Logaritmik denklemlerinin kiraz domates kurutma kinetiğini diğerlerinden daha iyi açıkladığı saptanmıştır.

d) Efektif difüzyon katsayısı ve aktivasyon enerjisi incelendiğinde;

45, 55, 65 ve 75°C sıcaklık değerlerinde kontrol olarak kurutulan domates dilimlerinin efektif difüzyon katsayısı $7{,}034\times10^{-10}$ ile $2{,}462\times10^{-9}$ m^2/s, K_2CO_3 ile ön işlem görerek kurutulan domates dilimlerinin $8{,}089\times10^{-10}$ ile $2{,}497\times10^{-9}$ m^2/s ve $NaHSO_3$ ile ön işlem görerek kurutulan domates dilimlerinin ise $9{,}145\times10^{-10}$ ile $3{,}271\times10^{-9}$ m^2/s arasında değişmektedir. Bu sonuçlara göre, ön işlem uygulanması efektif difüzyon katsayısını değiştirdiği görülmektedir. En yüksek efektif difüzyon katsayısı, $NaHSO_3$ ile ön işlem gören domates dilimlerindedir. Ayrıca kurutma sıcaklığıda efektif difüzyon katsayısını etkileyen bir diğer parametre olduğu görülmektedir. Sıcaklığın 45°C'den 75°C'ye çıkarılması her deneysel çalışmada efektif difüzyon katsayısını arttırmıştır. Kontrol,

K_2CO_3 ve $NaHSO_3$ ile ön işlem göre domates dilimlerinin aktivasyon enerji değerleri sırasıyla 36,42 ve 33,40 ve 38,18 kJ/mol olarak bulunmuştur.

e) Renk analizleri incelendiğinde;

Ön işlemlerin ve kurutma sıcaklığının renk üzerindeki etkisini belirlemek amacıyla taze ve kurutulmuş domates dilimleri renk analizine tabii tutulmuştur. Bu analiz sonucunda kurutma sıcaklığı arttıkça L değeri artmakta, bunun aksine a ve b değerleri azalmaktadır. Kurutma sıcaklığındaki artış C değerini düşürmüş ve ΔE değerinde artış sağlamıştır. Ön işlemin etkisinde ise L ve ΔE değerleri arasında kayda değer bir fark olmamıştır. Buna karşı, C, a ve b değerleri ön işlem görmüş örneklerde kontrole göre daha yüksek olduğu sonucunda varılmıştır.

f) Rehidrasyon oranları incelendiğinde;

Kurutulmuş domates dilimleri 23°C su sıcaklığında 6 saat boyunca rehidrasyon işlemine tabii tutulmuştur. Deney sonunda rehidrasyon oranı hesaplanmıştır. Bu sonuçlara göre kurutma sıcaklığı ve ön işlem uygulaması rehidrasyon oranını etkilediği ortaya konmuştur. Kurutma sıcaklığının yükselmesi rehidrasyon oranını düşürmüş, ön işlem uygulaması ise yükseltmiştir. $NaHSO_3$ ile muamele edilen ve 45°C'de kurutulan domates dilimleri en yüksek rehidrasyon oranına sahiptir.

II. Kiraz domateslerin kızılötesi kurutucuda kurutulması

a) Kızılötesi kurutma gücünün kurutma süresine etkisi incelendiğinde;

Domates dilimleri kızılötesi kurutucuda 62, 74, 88 ve 104 W gücünde kurutulmuştur ve bu güçler için kurutma süresi sırasıyla 225, 210, 180 ve 150 dakika olarak tespit edilmiştir. Kurutma gücünün 62 W'dan 104 W'a yükselmesiyle kurutma süresi %33,33 kısalmıştır.

b) Efektif difüzyon katsayısı ve aktivasyon enerjisi incelendiğinde;

62, 74, 88 ve 104 W gücünde kurutulan domates dilimlerinin efektif difüzyon katsayısı değerleri sırasıyla $2{,}93\times10^{-9}$ m^2/s, $3{,}64\times10^{-9}$ m^2/s, $3{,}99\times10^{-9}$ m^2/s ve $5{,}1\times10^{-9}$ m^2/s olarak hesaplanmıştır. Sonuçlardan görüldüğü üzere kızılötesi gücün artması efektif difüzyon katsayısı değerini yükseltmiştir. Farklı kızılötesi güçlerinde kurutulan kiraz domatesler için aktivasyon enerjisi değerleri 1,328 kW/kg olarak hesaplanmıştır.

c) Rehidrasyon oranları incelendiğinde;

Rehidrasyon oranı en yüksek 62 W kurutma gücünde kurutulan domates dilimlerinde iken en düşük 104 W kurutma gücünde olduğu görülmektedir.

d) Renk analizi incelendiğinde;

Farklı kurutma güçlerinin kurutma sonrası renk değerlerine etkisi incelendiğinde kızılötesi güç arttıkça L (parlaklık), a (kırmızılık), b (sarılık) ve Chroma (C) değerinde düşüş bunların aksine toplam renk değişimi (ΔE) değerinde artış olduğu tespit edilmiştir.

III. Kiraz domateslerin kombine kurutulması

Kiraz domatesler ilk olarak kızılötesi kurutucuda 62 W gücünde sırasıyla 30, 60, 90 ve 120 dakika kurutulduktan sonra 65^{o}C'de sıcak havalı kabin kurutucuda kurutulmuştur. 30, 60, 90 ve 120 dakika 62 W kızılötesi gücünde kurutulduktan sonra 65°C'de kabin kurutucuda kurutulan kiraz domateslerin kuruma süreleri sırasıyla 345, 330, 315 ve 300 dakika olarak tespit edilmiştir. Sonuçlardan görüldüğü üzere, sıcak havalı kabin kurutucudan önce uygulanan kızılötesi kurutmanın süresi uzadıkça toplam kurutma süresi kısalmıştır. Sadece sıcak havalı kabin kurutucuda 65°C'de kurutulan domates dilimlerinin kurutma süresi 585 dakikadır. Kombine olarak kurutmanın gerçekleşmesi kurutma süresini kısaltmıştır.

IV. Kiraz domateslerin geometrik şekline göre kurutulması

Kiraz domatesler bütün (1/1), yarım (1/2) ve çeyrek (1/4) olarak 65°C'de sıcak havalı kabin kurutucuda kurutulmuştur ve kurutma 800 dakika sonunda kesilmiştir. Bu süre zarfında bütün olarak kurutulan domates dilimleri %10 son neme ulaşamamıştır. Çeyrek (1/4) ve yarım (1/2) şeklinde kurutulan kiraz domateslerin kurutma süresi sırasıyla 210 ve 585 dakika olarak tespit edilmiştir. Bu sonuçlara bakıldığında geometrik şeklin yüzey alanını arttıracak şekilde ayarlanması kurutma hızını arttırmış ve bunun sonucu olarak kurutma süresini kısaltmıştır.

KAYNAKLAR

[1] Doymaz, İ., (2006). "Thin-layer Drying Behaviour of Mint Leaves", Journal of Food Engineering, 74: 370–375.

[2] İzli, N. ve Işık, E., (2015). "Color and Microstructure Properties of Tomatoes Dried by Microwave, Convective, and Microwave-Convective Methods", International Journal of Food Properties, 18 (2): 241-249.

[3] Onwude, D., I., Hashim, N., Abdana, K., Janius, R. ve Chend, G., (2019). "The Effectiveness of Combined Infrared and Hot-air drying Strategies for Sweet Potato", Journal of Food Engineering, 241: 75-87.

[4] Sönmez, K. ve Ellialtıoğlu, Ş. Ş., (2014). "Domates, Karotenoidler ve Bunları Etkileyen Faktörler Üzerine Bir İnceleme", Derim, 31 (2): 107-130.

[5] Çolak Güneş, N., (2009). Gıda Kurutma Sistemlerinin Ekserji Analizi, Doktora Tezi, Ege Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, İzmir.

[6] Belghith, A., Azzouz, S. ve ElCafsi, A., (2016). "Desorption Isotherms and Mathematical Modeling of Thin Layer Drying Kinetics of Tomato", Heat and Mass Transfer, 52: 407–419.

[7] Mcminn, W., A., M., ve Magee, T., R., A., (1999). "Principles, Methods and Applications of the Convective Drying of Foodstuffs", Trans IChemE, 77: 175–193.

[8] Sarbanoğlu, H., (1988). "Yazılım Krizi ve SSADM", Harita Dergisi, 109: 70–93.

[9] Hürdoğan, E., Kaşka, Ö., Yılmaz, T. ve Büyükalaca, O., (2013). Düşük Sıcaklıkta Gıda Kurutmak İçin Güneş Enerjisi Destekli Desisif Bir Kurutma Sisteminin Uygulanabilirliğinin Araştırılması. 11. Ulusal Tesisat Mühendisliği Kongresi, Soğutma Teknolojileri Sempozyumu, İzmir.

[10] Tosun, N., Bayındır, H. ve Aydın, H., (2009). Diyarbakır İlinde Çok Fonksiyonlu Güneş Enerjili Kurutma Sistemi Oluşturulması Üzerine Bir Araştırma. V. Yenilenebilir Enerji Kaynakları Sempozyumu, Diyarbakır.

[11] Food and Agriculture Organization of United Nations, http://www.fao.org/docrep/010/ai407e/ai407e18.htm, 19 Aralık 2018.

[12] Maskan, A. Kaya, S. ve Maskan, M., (2002). "Hot Air and Sun Drying of Grape Leather (Pestil)", Journal of Food Engineering, 54 (1): 81–88.

[13] Ngamwonglumlert, L. ve Devahastin, S., (2018). “Microstructure and Its Relationship with Quality and Storage Stability of Dried Foods”, Woodhead Publishing Series in Food Science, Technology and Nutrition, 139–159.

[14] Cemeroğlu, B., Karadeniz, F. ve Özkan, M., (2003). “Meyve ve Sebze İşleme Teknolojisi, Bölüm: Kurutma Teknolojisi”, Gıda Teknolojisi Derneği Yayınları, 28: 541–675.

[15] Sharma, G., P., Verma, R., C. ve Pathare, P., B., (2005). “Thin-layer Infrared Radiation Drying of Onion Slices”, Journal of Food Engineering, 67: 361–366.

[16] Aktaş, M. İlbaş, M., Yalçın, A. ve Şahin, M., (2013). “Kızılötesi Işınımlı Bir Kurutucuda Kuruma Davranışlarının Deneysel İncelenmesi”, Journal of the Faculty of Engineering and Architecture of Gazi University, 28 (4): 767–775.

[17] Tuncel Yılmaz, N. Tuncel ve N. B., (2016). “Kızılötesi Teknolojisi ve Gıda İşlemedeki Kullanımı”, Akademik Gıda, 14 (2): 196–203.

[18] NASA, https://imagine.gsfc.nasa.gov/science/toolbox/emspectrum1.html, 25 Aralık 2018.

[19] Kocabıyık, H. ve Demirtürk, B. S., (2008). “Nane Yapraklarının Infrared Radyasyonla Kurutulması”, Tekirdağ Ziraat Fakültesi Dergisi, 5 (3): 239–246.

[20] Piotr, D. N. ve Lewicki, P. (2004). “Infrared Drying of Apple Slices”, Innovative Food Science & Emerging Technologies, 5 (3): 353–360.

[21] Baysal, T., İçier, F., Ersus, S. ve Yıldız, H., (2003). “Effects of Microwave and Infrared Drying On The Quality of Carrot and Garlic”, European Food Research and Technology, 218: 68–73.

[22] Toğrul, H., (2006). “Suitable Drying Model for Infrared Drying of Carrot”, Journal of Food Engineering, 77 (3): 610–619.

[23] Wang, J. ve Sheng, K., (2006). “Far-infrared and Microwave Drying of Peach”, LWT - Food Science and Technology, 39 (3): 247–255.

[24] Doymaz, İ. (2012). “Infrared Drying of Sweet Potato (*Lpomoea batatas* L.) Slices”, Journal of Food Science Technology, 49 (6): 760–766.

[25] Doymaz, İ. (2014). “Mathematical Modeling of Drying of Tomato Slices Using Infrared Radiation”, Journal of Food Processing and Preservation, 38: 389–396.

[26] Hebbar, U. H., Vishwanathan, K. H. ve Ramesh M. N. (2004). “Development of Combined Infrared and Hot Air Dryer”, Journal of Food Engineering, 65 (4): 557–563.

[27] Sagar, V. R. ve Suresh Kumar, P. (2010). “Recent Advances In Drying and Dehydration of Fruits and Vegetables: a Review”, Journal of Food Science Technology, 47 (1): 16–26.

[28] Sadıkoğlu, H. ve Özdemir, M. (2003). “Dondurarak Kurutma Teknolojisi ve Evreleri”, Gıda, 28 (6): 643–649.

[29] Yadav, A. K. ve Singh S. V., (2014). “Osmotic Dehydration of Fruits and Vegetables: a Review”, Journal of Food Science and Technology, 51 (9): 1654 –1673.

[30] Chou S. K. ve Chua, K. J. (2001). “New Hybrid Drying Technologies for Heat Sensitive Foodstuffs”, Trends in Food Science & Technology, 12: 359–369.

[31] Chua, K. J. ve Chou S. K., (2015). Recent Advances in Hybrid Drying Technologies, Emerging Technologies for Food Processing, 2. Baskı, Academic Press, Ireland.

[32] Guiné, R. P. F., (2018). “The Drying of Foods and Its Effect on the Physical-Chemical, Sensorial and Nutritional Properties”, International Journal of Food Engineering, 4 (2): 93–100.

[33] Doğanay, T., (1984). Modern Farmasötik Teknoloji, 39, Ankara Üniversitesi Eczacılık Fakültesi Yayınları, Ankara.

[34] Food Elphi, https://www.foodelphi.com/kurutma-teknolojisi/, 3 Ocak 2019.

[35] Saldamlı, İ. ve Saldamlı, E., (1990). Gıda Endüstrisi Makinaları, Önder Matbaa, Ankara.

[36] Unido, (2004). “Preservation of Fruits and Vegetables by Drying”, III Uniswork, Unido Uluslararası Gıda Güvenliği ve Saklama Yöntemleri Çalışma Programı Raporu, Gebze-Kocaeli.

[37] Ankara Üniversitesi Gıda Sorpsiyon Özellikleri Ders Notları, https://acikders.ankara.edu.tr/pluginfile.php/15138/mod_resource/content/0/DERS-13.pdf, 3 Ocak 2019.

[38] Cemeroglu, B., (2004). Meyve ve Sebze İşleme Teknolojisi, 2. Cilt, 2. Baskı, Başkent Klişe Matbaacılık, Ankara.

[39] Bağdatlıoğlu, N. ve Hışıl Y., (1993). “Enzimatik Olmayan Esmerleşme Reaksiyonları Sırasında Oluşan Lezzet Bileşikleri”, Gıda, 18 (2): 111–116.

[40] Şen, F. (2013). “Meyve ve Sebzelerin Kurutulmasında Ön İşlemler”, 11. Ulusal Tesisat Mühendisliği Kongresi, İzmir.

[41] Erçoşkun, H., Işıksal S. ve Kırılan M. (2004). “Fermente Et Ürünlerinde Lipit Reaksiyonları”, Gıda Mühendisliği Dergisi, 38–46.

[42] Bingöl, G. (2010). “Gıda İşlemede Kurutma Teknolojilerinin Temel İlkeleri”, Doktora Tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi, İstanbul.

[43] Brennan, J. G. ve Grandison, A. S., (2011). Food Processing Handbook, 2. Baskı, New York: Wiley.

[44] Guiné, R. P. F. ve Barroca, M. J., (2012). “Effect of Drying Treatments on Texture and Color of Vegetables (Pumpkin and Green Pepper)”, Food and Bioproducts Processing, 90 (1): 58–63.

[45] Doymaz, İ., Tuğrul, N. ve Pala, M., (2006). “Drying Characteristics of Dill and Parsley Leaves”, Journal of Food Engineering, 77(3): 559–565.

[46] Singh, N. J. ve Pandey, R. K., (2012). “Convective Air Drying Characteristics of Sweet Potato Cube”, Food and Bioproducts Processing, 90(2): 317–322.

[47] Corrêa, P. C., Horta de Oliveira, G. H., Baptestini, F. M., Diniz, M. D. M. S. ve Almeida da Paixão, A., (2012). “Tomato Infrared Drying: Modeling and Some Coefficients of the Dehydration Process”, Chilean Journal of Agricultural Research, 72(2): 262-–276.

[48] TC. MİLLİ EĞİTİM BAKANLIĞI GIDA TEKNOLOJİSİ, SEBZELERİ KURUTMA, http://www.megep.meb.gov.tr/mte_program_modul/moduller_pdf/Sebzeleri%20Kurutma.pdf, 3 Ocak 2019.

[49] University of Georgia Cooperative Extension Service, https://nchfp.uga.edu/publications/uga/uga_dry_fruit.pdf, 3 Ocak 2019.

[50] Doymaz, İ., (2007). “Influence of Pretreatment Solution on the Drying of Sour Kiraz”, Journal of Food Engineering, 78: 591–596.

[51] Eksis Kurutma Sistemleri, http://www.dryingsystems.net/tomato_drying.html, 21 Ocak 2019.

[52] Loha, C., Das, R., Choudhury, B. ve Chatterjee, P. K., (2012). “Evaluation of Air Drying Characteristics of Sliced Ginger (*Zingiber officinale*) in a Forced Convective Cabinet Dryer and Thermal Conductivity Measurement”, Journal of Food Processing & Technology, 3 (6): 1–5.

[53] Erbay, B. ve Küçüköner, E., (2008). “Gıda Endüstrisinde Kullanılan Farklı Kurutma Sistemleri”, Türkiye 10. Gıda Kongresi, Erzurum, 1045–1048.

[54] Haubjerg, A., F., Simonsen, B., N, Jørgensen, B. N. ve Veje, C. T., (2012). “Ensuring Technical Product Quality in Energy Efficient Hot Air Drying of Extruded Fish Feed: Definition Of An Industrial Research Project”, 18th International Drying Symposium, Xiamen, China.

[55] Kumar, Y. ve Belorkar, S. A., (2015). “Fluidized Bed Drying of Fruits and Vegetables: An Overview”, International Journal of Engineering Studies and Technical Approach, 1 (9): 1–8.

[56] Edelmak Makine, http://edelmakmakine.com/tr/content/29-tek-valsli-kurutucular-buttner-sistemi, 3 Ocak 2019.

[57] Correia, A. F. K., Loro, A. C., Zanatta, S., Spoto, M. H. F ve Vieira, T. M. F. S., (2015). “Effect of Temperature, Time, and Material Thickness on the Dehydration Process of Tomato”, International Journal of Food Science.

[58] Demiray, E., (2009). Kurutma İşleminde Domatesin Likopen, β-karoten, Askorbik Asit ve Renk Değişim Kinetiğinin Belirlenmesi, Yüksek Lisans Tezi, Pamukkale Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Denizli.

[59] Gölükçü, M., Toker, R. ve Tokgöz, H., (2015). “Domatesin Beslenme Özellikleri ve Gıda Sanayisinde Değerlendirilmesi”, Türkiye Tohumcular Birliği Dergisi, 17: 46–51.

[60] Kocabiyik, H., Yilmaz, N., Tuncel, B., Sumer, S. ve Buyukcan, M. B., (2014). "The Effects of Middle Infrared Radiation Intensity on the Quality of Dried Tomato Products", International Journal of Food Science and Technology, 49:703–710.

[61] Frusciante, L., Carli, P., Ercolano, M. R., Pernice, R., Di Matteo, A., Fogliano, V. ve Pellegrini, N., (2007). "Antioxidant Nutritional Quality of Tomato", Molecular Nutritional Food Research, 51: 609–617.

[62] Lewicki, P. P., Le, H. V. ve Pomaranska-Lazuka, W., (2002). "Effect of Pre-treatment on Convective Drying of Tomatoes", Journal of Food Engineering, 54: 141–146.

[63] Sacilik, K., Keskin, R. ve Elicin Konuralp, A., (2006). "Mathematical Modeling of Solar Tunnel Drying of Thin Layer Organiz Kiraz Tomato", Journal of Food Engineering, 73: 231–238.

[64] Akanbi, C. T., Adeyemi, R. S. ve Ojo, A., (2006). "Drying Characteristics and Sorption Isotherm of Tomato Slice", Journal of Food Engineering, 73: 157–163.

[65] Chang, C., Lin, H., Chang, C. ve Liu, L., (2006). "Drying Characteristics and Sorption Isotherm of Tomato Slice", Journal of Food Engineering, 77, 478–485.

[66] Doymaz, İ., (2007). "Air-Drying Characteristics of Kiraz Tomato", Journal of Food Engineering, 78: 1291–1297.

[67] Heredia, A., Barrea, C. ve Andres, A. (2007). "Drying of Kiraz Tomato by a Combination of Different Dehydration Techniques. Comparison of Kinetics and Other Related Properties", Journal of Food Engineering, 80, 111–118.

[68] Muratore, G., Rizzo, V., Licciardello, F. ve Maccarone, E., (2008). "Partial Dehydration of Kiraz Tomato at Different Temperature, and Nutritional Quality of the Products", Food Chemistry, 111: 887–891.

[69] Khazaei, J., Chegin, G. R. ve Bakhshiani, M., (2008). " A Novel Alternative Method for Modeling the Effects of Air Temperature and Slice Thickness on Quality and Drying Kinetics of Tomato Slices: Superposition Technique", Drying Technology, 26: 759–775.

[70] Gürlek, G., Özbalta, N. ve Güngör, A., (2009). "Domatesin Tünel Tipi Güneşli Kurutucudaki Kurutma Karakteristikleri ve Matematiksel Modellemesi", Isı Bilimi ve Tekniği Dergisi, 29 (1): 15–23.

[71] Marfil, P. H. M., Santos, E. M. ve Telis, V. R. N., (2008). " Ascorbid Acid Degradation Kinetics in Tomatoes at Different Drying Conditions", Food Science and Technology, 41: 1642–1647.

[72] Gaware, T. J., Sutar, N. ve Thorat, B. N., (2010). "Drying of Tomato Using Different Methods: Comparison of Dehydration and Rehydration Kinetics", Drying Technology, 28: 651–658.

[73] Hastürk Şahin, F., Ülger, P., Aktaş, T. ve Orak, H., (2013). "Dondurarak Kurutma Yönteminin ve Farklı Önişlemlerin Domatesin (*Lycopersicon esculentum*) Bazı Kalite Kriterleri Üzerine Etkileri", 28. Ulusal Tarımsal Mekanizasyon Kongresi, Konya.

[74] Aktaş, M., İlbaş, M., Yalçın, A. ve Şahin, M., (2013). "Kızılötesi Işınımlı Bir Kurutucuda Kuruma Davranışlarının Deneysel İncelenmesi", Gazi Üniversitesi Mühendislik Mimarlık Fakültesi Dergisi, 28 (4): 767–775.

[75] Demiray, E., Tulek, Y. ve Yilmaz, Y., (2013). "Degradation Kinetics of Lycopene, β-carotene and Ascorbic Acid In Tomatoes During Hot Air Drying ", Food Science and Technology, 50: 172–176.

[76] Doymaz, İ. ve Özdemir, Ö., (2013). "Effect of Air Temperature, Slice Thickness and Pretreatment on Drying and Rehydration of Tomato", International Journal of Food Science and Technology, 49: 558–564.

[77] Maqsood, S., Omar, I. ve Eldin, A. K., (2015). "Quality Attributes, Moisture Sorption Isotherm, Phenolic Content and Antioxidative Activities of Tomato (*Lycopersicon esculentum L.*) As Influenced By Method of Drying", Journal of Food Science and Technology, 52 (11): 7059–7069.

[78] Horuz, E., Jaafar, H. J. ve Maskan, M., (2016). "Ultrasonication as Pretreatment for Drying of Tomato Slices in a Hot Air Microwave Hybrid Oven", Drying Technology, 35(7): 849–859.

[79] Kutlu, N. ve İsci, A., (2016). "Kurutma Yöntemlerinin Kiraz Domatesin Kurutma Karakteristikleri Üzerine Etkisi ve Matematiksel Modellemesi", Gıda, 41 (4): 197–204.

[80] Nabnean, S., Janjai, S., Thepa, S., Sudaprasert, K., Songprakorp, R. ve Bala, B. K., (2016). "Experimental Performance of a New Design of Solar Dryer for Drying Osmotically Dehydrated Kiraz Tomatoes", Renewable Energy 94: 147–156.

[81] Polatcı, H. ve Tarhan, S., (2009). "Farklı Kurutma Yöntemlerinin Reyhan (*Ocimum Basilicum*) Bitkisinin Kuruma Süresine ve Kalitesine Etkisi", GOÜ. Ziraat Fakültesi Dergisi, 26 (1): 61–70.

[82] Demiray, E. ve Tülek, Y., (2016). "Güneşte Kurutulmuş Bamyaların Rehidrasyon Kinetiği", Akademik Gıda, 14 (4): 368–374.

[83] Erbay, B., Kıvrak, E., Orhan, H. ve Küçüköner, E., (2009). "Dondurarak Kurutulmuş Havuç Dilimlerinin Renk, Rehidrasyon Özellikleri ve Bazı Duyusal Özellikleri Üzerine Farklı Antioksidan Çözeltilerin Etkisi", Süleyman Demirel Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi, 13 (3): 229–236.

[84] Doymaz, İ., (2006). "Thin-layer Drying Behaviour of Mint Leaves", Journal of Food Engineering, 74: 370–375.

[85] Doymaz, İ., (2007). "Influence of Pretreatment Solution on the Drying of Sour Kiraz", Journal of Food Engineering, 78: 591–596.

[86] Celma, A. R., Cuadros, F. ve Lopez-Rodriguez, F., (2009). "Characterisation of Industrial Tomato By-Products from Infrared Drying Process", Food and Bioproducts Processing, 87: 282–291.

[87] Henderson, S. M. ve Pabis, S., (1961). “Grain Drying Theory. II. Temperature Effects on Drying Coefficients”, Journal of Agricultural Engineering Research, 6: 169–174.

[88] Togrul, I. T. ve Pehlivan, D., (2002). “Mathematical Modelling of Solar Drying of Apricots in Thin Layers”, Journal of Food Engineering, 55: 209–216.

[89] Sarimeseli, A., (2011). “Microwave Drying Characteristics of Coriander Leaves”, Energy Conversion and Management, 52: 1449-1453.

[90] Midilli, A., Kucuk, H. ve Yapar, Z., (2002). “A New Model for Single-Layer Drying”, Drying Technology, 20(7): 1503–1513.

[91] Wang, C. Y. ve Singh, R. P., (1978). “Use of Variable Equilibrium Moisture Content in Modelling Rice Drying”, Transactions of American Society of Agricultural Engineers, 11: 668–672.

[92] Aghbashlo, M., Kianmehr, M. H., Khani, S. ve Ghasemi, M. (2009). “Mathematical Modelling of Thin-layer Drying of Carrot”, International Agrophysics, 23 (4): 313–317.

[93] Verma, L. R., Bucklin, R. A., Endan, J. B. ve Wratten, F. T., (1985). “Drying Effects of Drying Air Parameters on Rice Drying Models”, Transactions of the ASAE, 85: 296–301.

[94] Akpinar, E. K., (2008). “Mathematical Modeling and Experimental Investigation on Sun and Solar Drying of White Mulberry“, Ministry Science Technology, 22: 1544–1553.

[95] Sacilik, K. ve Elicin, E.K, (2006). “The Thin Layer Drying Characteristics of Organic Apple Slices”, Journal of Food Engineering, 73: 281–289.

[96] Akpınar, E. K., Biçer, Y. ve Yıldız, C., (2003). “Thin Layer Drying of Red Pepper”, Journal of Food Engineering, 59: 99–104.

[97] Doymaz, I., Kipcak, A., S. ve Piskin, S., (2015). “Characteristics of Thin-layer Infrared Drying of Green Bean”, Czech Journal of Food Science, 33: 83–90.

[98] Ismail, O. ve Akyol, E., (2016). “Open-air Sun Drying: The Effect of Pre-treatment on Drying Kinetic of Kiraz Tomato”, Sigma Journal of Engineering & Natural Sciences, 2: 141–151.

[99] Taheri-Garavand, A., Rafiee, S. ve Keyhani, A., (2011). “Effective Moisture Diffusivity and Activation Energy of Tomato in Thin Layer Dryer during Hot Air Drying”, International Transaction Journal of Engineering, Management, & Applied Sciences & Technologies, 2 (2): 239–248.

[100] Doymaz, İ. ve Kipcak, A., S., (2018). “Effect of Pre-treatment and Air Temperature on Drying Time of Kiraz Tomato”, Journal of Thermal Engineering, 4 (1): 1648–1655.

[101] Giovanelli, G., Zanoni, B., Lavelli, V. ve Nani, R., (2002). “Water Sorption, Drying and Antioxidant Properties of Dried Tomato Products”, Journal of Food Engineering, 52: 135–141.

[102] Khazaei, J., Chegin, G. R. ve Bakhshiani, M., (2008). "A Novel Alternative Method For Modeling The Effects of Air Temperature and Slice Thickness on Quality and Drying Kinetics of Tomato Slices: Superposition Technique", Drying Technology, 26: 759–775.

[103] Cheng, L., Fang, S. ve Ruan, M., (2015). "Influence of Blanching Pretreatment on the Dring Characteristics of Kiraz Tomato and Mathematical Modeling", International Journal of Food Engineering, 11 (2): 265–274.

[104] Zogzas, N. P., Maroulis, Z. B. ve Marinos-Kouris, D., (1996). "Moisture Diffusivity Data Compilation in Food Stuffs", Drying Technology 14 (10): 2225–2253.

[105] Gamlı O. F., (2011). "Effective Moisture Diffusivity and Drying Characteristics of Tomato Slices During Convectional Drying", Food, 36 (4): 201–208.

[106] Kocabiyik, H., Yilmaz, N., Tuncel, N. B., Sumer, S. K. ve Buyukcan, M. B., (2015). "Drying, Energy, and Some Physical and Nutritional Quality Properties of Tomatoes Dried with Short-Infrared Radiation", Food and Bioprocess Technology, 8 (3): 516–525.

[107] Ashebir, D., Jezik, K., Weingartemann H. ve Gretzmacher, R., (2009). "Change in Color and Other Fruit Quality Characteristics of Tomato Cultivars after Hot-Air Drying at Low Final-Moisture Content", International Journal of Food Sciences and Nutrition, 60 (7): 308–315.

[108] Kocabiyik, H., Yilmaz, N., Tuncel, N. B., Sumer, S. K. ve Buyukcan, M. B., (2014). "The Effects of Middle Infrared Radiation Intensity on the Quality of Dried Tomato Products", International Journal of Food Science and Technology, 49: 703–710.

[109] Shi, J., Pan, Z., McHugh, T. H., Wood, D, Hirschberg, E. ve Olson, D., (2008). "Drying and quality Characteristics of Fresh and Sugar-Infused Blueberries Dried with Infrared Radiation Heating", Food Science and Technology 41: 1962–1972.

[110] Nowak, D. ve Lewicki, (2008). "Infrared Drying of Apple Slices", Innovative Food Science & Emerging Technologies, 5 (3): 353–360.

[111] Togrul, H., (2006). "Suitable Drying Model for Infrared Drying of Carrot", Journal of Food Engineering, 77: 610–619.

[112] Sadin, R., Chegini, G. ve Sadin, H. (2014). "The Effect of Temperature and Slice Thickness on Drying Kinetics Tomato in the Infrared Dryer", Heat and Mass Transfer, 50: 501–507.

[113] İzli, N. ve Isik, E., (2015). "Color and Microstructure Properties of Tomatoes Dried by Microwave, Convective, and Microwave-Convective Methods", International Journal of Food Properties, 18 (2): 241–249.

[114] Cui, Z., Li, C., Song, C. ve Song, Y. (2010). "Combined Microwave-Vacuum and Freeze Drying of Carrot and Apple Chips", An International Journal, 26 (12): 1517–1523.

[115] Maskan, M., (2001). “Drying, Shrinkage and Rehydration Characteristics of Kiwifruits During Hot Air and Microwave Drying”, Journal of Food Engineering, 48 (2): 177–182.

[116] Swasdisevia, T., Devahastin, S., Sa-Adchoma, P. ve Soponronnarita, S. (2009). “Mathematical Modeling of Combined Far-Infrared and Vacuum Drying Banana Slice”, Journal of Food Engineering, 92 (1): 100–106.

[117] Abano, E., E., Ma, H. ve Qu, W. (2012). “Influence of Combined Microwave-Vacuum Drying on Drying Kinetics and Quality of Dried Tomato Slices”, Journal of Food Quality, 35: 159–168.

[118] Rajkumar, P., Kulanthaisami, S., Raghavan, G. S. V., Gariépy, Y. ve Orsat, V., (2007). “Drying Kinetics of Tomato Slices in Vacuum Assisted Solar and Open Sun Drying Methods”, Drying Technology, 25: 1349–1357.

ÖZGEÇMİŞ

KİŞİSEL BİLGİLER

Adı Soyadı : Işıl Burçak YÜCE

Doğum Tarihi ve Yeri : 29.01.1993, İstanbul

Yabancı Dili : İngilizce

E-posta : isilburcak@gmail.com

ÖĞRENİM DURUMU

Derece	Alan	Okul/Üniversite	Mezuniyet Yılı
Lisans	Kimya Mühendisliği	Yıldız Teknik Üniversitesi	2015
Lise	Fen Bilimleri	Özel Eyüboğlu Fen Lisesi	2011

İŞ TECRÜBESİ

Yıl	Firma/Kurum	Görevi
2015-2015	ŞİŞECAM CAM ELYAF	Üretim Stajeri
2013-2013	BASF TÜRK KİMYA	Laboratuvar Stajeri

YAYINLAR

Bildiri

1. Yüce, I. B. ve Doymaz, İ. (2018). “Influence of Air Temperature and Pretreatments on the Drying Characteristics of Kiraz Tomato”, 4th Conference on Advances in Mechanical Engineering (ICAME), December 19-21, 2018, Yildiz Technical University, Istanbul, Turkey.