T.C.

YILDIZ TEKNİK ÜNİVERSİTESİ

FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

MODERN KURUTMA TEKNİKLERİ KULLANILARAK KAN PORTAKALININ KURUTULMASININ MODELLENMESİ

Damla YILMAZ

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Gıda Mühendisliği Anabilim Dalı

Gıda Mühendisliği Programı

Danışman

Dr. Öğr. Üyesi Zeynep Hazal TEKİN ÇAKMAK

Eş Danışman

Prof. Dr. Salih KARASU

Şubat, 2025

T.C.

YILDIZ TEKNİK ÜNİVERSİTESİ

FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

MODERN KURUTMA TEKNİKLERİ KULLANILARAK KAN PORTAKALININ KURUTULMASININ MODELLENMESİ

Damla YILMAZ tarafından hazırlanan tez çalışması 13.02.2025 tarihinde aşağıdaki jüri tarafından Yıldız Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Gıda Mühendisliği Anabilim Dalı, Gıda Mühendisliği Programı **YÜKSEK LİSANS TEZİ** olarak kabul edilmiştir.

Dr. Öğr. Üyesi Zeynep Hazal TEKİN ÇAKMAK
Yıldız Teknik Üniversitesi
Danışman

Prof. Dr. Salih KARASU
Yıldız Teknik Üniversitesi
Eş Danışman

Jüri Üyeleri

Dr. Öğr. Üyesi Zeynep Hazal TEKİN ÇAKMAK,
Danışman Yıldız Teknik Üniversitesi _____

Dr. Öğr. Üyesi Fatih BOZKURT, Üye
Yıldız Teknik Üniversitesi _____

Dr. Öğr. Üyesi Alican AKÇİÇEK, Üye
Kocaeli Üniversitesi _____

Danışmanım Dr. Öğr. Üyesi Zeynep Hazal TEKİN ÇAKMAK sorumluluğunda tarafınca hazırlanan "Modern Kurutma Teknikleri Kullanılarak Kan Portakalının Kurutulmasının Modellenmesi" başlıklı çalışmada veri toplama ve veri kullanımında gerekli yasal izinleri aldığımı, diğer kaynaklardan aldığım bilgileri ana metin ve referanslarda eksiksiz gösterdiğimi, araştırma verilerine ve sonuçlarına ilişkin çarpıtma ve/veya sahtecilik yapmadığımı, çalışmam süresince bilimsel araştırma ve etik ilkelerine uygun davrandığımı beyan ederim. Beyanımın aksinin ispatı halinde her türlü yasal sonucu kabul ederim.

Damla YILMAZ

İmza

Aileme

ve

sevdiklerime

TEŞEKKÜR

Lisans ve yüksek lisans hayatım boyunca bana yol gösteren, her zaman akademiye teşvik eden, yardım ve desteğini esirgemeyen, çok değerli bilgi ve tecrübesi ile bu çalışmayı tamamlamamı sağlayan tez danışmanım Dr. Öğr. Üyesi Zeynep Hazal TEKİN ÇAKMAK'a ve eş danışmanım saygıdeğer hocam Prof. Dr. Salih KARASU' ya sonsuz saygı ve teşekkürlerimi sunarım.

Hayatım boyunca maddi, manevi fedakârlıklar yapan, aldığım tüm kararlarda yanımda olan ve beni destekleyen sevgili anneme, babama ve ağabeyime içtenlikle teşekkürlerimi sunarım.

Damla YILMAZ

İÇİNDEKİLER

SİMGE LİSTESİ viii

KISALTMA LİSTESİ x

ŞEKİL LİSTESİ xii

TABLO LİSTESİ xiii

ÖZET xiv

ABSTRACT xvi

1 GİRİŞ 1

1.1 Literatür Özeti 1

1.1.1 Kan Portakalı 1

1.2 Kurutma 6

1.2.1 Kurutma Eğrilerinin Özellikleri 7

1.3 Kurutma Metotları 9

1.3.1 Sıcak Hava ile Kurutma 10

1.3.2 Vakum Kurutma 10

1.3.3 Ultrases Ön İşlemli Vakum Kurutma 11

1.3.4 Dondurarak Kurutma 13

1.4 Enerji 14

1.5 Fenolik Bileşikler 15

1.6 Tezin Amacı 20

1.7 Hipotez 20

2 MATERYAL VE YÖNTEM **22**

2.1 Materyaller 22
2.2 Yöntem 22
2.2.1 Kan Portakal Dilimlerinin Kurutulma Prosedürü 22
2.2.2 Matematiksel Modelleme ve İstatistiksel Değerlendirme 23
2.2.3 Kurutma Eğrisinin Matematiksel Modellemesi ve Etkin Nem Difüzivitesi (D_{eff}) 25
2.3 Analiz Yöntemleri 26
2.3.1 Ekstraksiyon 26
2.3.2 Toplam Fenolik Miktarının (TFM) Belirlenmesi 26
2.3.3 Antioksidan Kapasitesinin Belirlenmesi 27
2.3.4 Fenolik Bileşikler 27
2.3.5 C Vitamini 27
2.3.6 Renk Değerleri 28
2.3.7 İstatistik analiz 28
3 BULGULAR VE TARTIŞMA 29
3.1 Kurutma Kinetiği 29
3.2 Modelleme 31
3.3 Toplam Enerji Tüketimi 45
3.4 Kurutma Hızı 45
3.5 Etkin Nem Difüzivitesi 47
3.6 Taze ve Kurutulmuş Kan Portakallarının Biyoaktif Özellikleri 48
3.6.1 Toplam Fenolik İçerik ve Antioksidan Kapasite 48
3.6.2 C Vitamini 49
3.7 Fenolik Bileşikler 52
3.8 Renk 55
4 SONUÇ 58

KAYNAKÇA **59**

TEZDEN ÜRETİLMİŞ YAYINLAR **70**

SİMGE LİSTESİ

Ea	Aktivasyon Enerjisi
M_0	Başlangıç Nem İçeriği
L*	Beyazlık / Koyuluk
dk	Dakika
rpm	Dakikadaki Devir Sayısı
Δ	Delta
MR_{expi}	Deneysel Olarak Belirlenen Nem Oranı
M_e	Denge Nem İçeriği
D_{eff}	Etkin Nem Difüzivitesi
g	Gram
pH	Hidrojenin Potansiyeli
a*	Kırmızılık / Yeşillik
$\chi 2$	Ki Kare
kg	Kilogram
kHz	Kilohertz
kJ	Kilojoule
kPa	Kilopascal
kWh	Kilowatt saat
k	Kurutma Hız Sabiti
a	Kuruma Katsayısı
b	Kuruma Katsayısı
c	Kuruma Katsayısı
n	Kuruma Katsayısı
t	Kurutma Süresi
L	Litre
m	Metre
m^2	Metrekare
µL	Mikrolitre

μm	Mikrometre
mbar	Milibar
mg	Miligram
mL	Mililitre
nm	Nanometre
y	Nem Oranı
r	Pearson Katsayısı
Π	Pi Sayısı
R^2	Regresyon Katsayısı
h(sa)	Saat
s	Saniye
°C	Santigrat Derece
cm	Santimetre
cm^2	Santimetrekare
b*	Sarılık / Mavilik
a_w	Su Aktivitesi
M_t	T Zamanda Nem İçeriği
MR_{prei}	Tahmin Edilen Nem Oranı
N	Toplam Gözlem Sayısı
ΔE	Toplam Renk Değişimi
W	Watt
%	Yüzde

KISALTMA LİSTESİ

AA	Antioksidan Kapasitesi
ABTS	Radikal Katyon Süpürme Kapasitesi
ANC	Antosiyanin
CD	Konvektif Kurutma
$CuCl_2$	Bakır(II) Klorür
CUPRAC	Bakır(2) İndirgeyici Antioksidan Kapasite
DK (FD)	Dondurarak Kurutma
DM	Kuru Madde
DNA	Deoksiribo Nükleik Asit
DPPH	2,2-difenil-1-pikrilhidrazil
DR	Kuruma Hızı
GAE	Gallik Asit Eşdeğeri
HPLC	Yüksek Performanslı Sıvı Kromatografisi
HPU	Yüksek Güçlü Ses
IR	Kızılötesi (Infrared)
KOH	Potasyum Hidroksit
LDL	Düşük Yoğunluklu Lipoprotein
MR	Maillard Reaksiyonu
MR	Nem Oranı
Na_2CO_3	Sodyum Karbonat
NaCl	Sodyum Klorür
NH_4Ac	Amonyum Asetat
PAL	Fenilalanin Amonyak-Liyaz
RMSE	Kök Ortalama Kare Hatası
SB	Ağız Yataklı Kurutma
SD	Püskürtmeli Kurutma
SHK (HAD)	Sıcak Hava Kurutma
TA	Titre Edilebilir Asit

TE	Trolox Eşdeğeri
TPC	Toplam Fenolik İçeriği
US	Ultrasonikasyon
USVK (UPVD)	Ultrases Ön İşlemli Vakum Kurutma
UV	Ultraviyole
VK	Vakum Kurutma

ŞEKİL LİSTESİ

Şekil 1.1 Ürün nem içeriğinin kurutma süresiyle değişimi **8**
Şekil 1.2 Kuruma hızının ürün nem içeriğiyle değişimi **8**
Şekil 3.1 Taze ve farklı yöntemleriyle kurutulmuş kan portakallarının görseli **30**
Şekil 3.2 Farklı kurutma yöntemlerine ait nem oranının zamana bağlı değişimi **32**
Şekil 3.3 Kuruma hızı, kg su/kg kuru madde **46**

TABLO LİSTESİ

Tablo 2.1 Kan portakallarının farklı yöntemlerle kurutulmasında elde edilen verilerin değerlendirilmesi için kullanılan ince tabaka kurutma kinetik modelleri **24**

Tablo 3.1 HAD, UPVD ve VD yöntemleri ile 50, 60 ve 70 °C'de kurutulan kan portakalı meyvelerinin kurutma süreleri (saat) **31**

Tablo 3.2 HAD yöntemi ile 50, 60 ve 70 °C'de kurutulan kan portakalı meyvelerinin farklı kurutma modellerinden elde edilen parametreler ve istatistiksel veriler **33**

Tablo 3.3 VD yöntemi ile 50, 60 ve 70 °C'de kurutulan kan portakalı meyvelerinin farklı kurutma modellerinden elde edilen parametreler ve istatistiksel veriler **37**

Tablo 3.4 UPVD yöntemi ile 50, 60 ve 70 °C'de kurutulan kan portakalı meyvelerinin farklı kurutma modellerinden elde edilen parametreler ve istatistiksel veriler **41**

Tablo 3.5 Kan portakalının kuruma süresi, kuruma hızı, etkili nem yayılımı ve toplam enerji tüketimi **47**

Tablo 3.6 Taze ve kurutulmuş kan portakalının toplam fenolik içeriği, antioksidan aktiviteleri ve C vitamini içeriği **50**

Tablo 3.7 Taze ve kurutulmuş kan portakalının fenolik bileşikleri (µg/100g kuru ağırlık) **53**

Tablo 3.8 Taze ve kurutulmuş kan portakalının renk parametreleri **57**

ÖZET

Modern Kurutma Teknikleri Kullanılarak Kan Portakalının Kurutulmasının Modellenmesi

Damla YILMAZ

Gıda Mühendisliği Anabilim Dalı

Yüksek Lisans Tezi

Danışman: Dr. Öğr. Üyesi Zeynep Hazal TEKİN ÇAKMAK

Eş Danışman: Prof. Dr. Salih KARASU

Bu araştırmada, sıcak hava kurutma (HAD), vakum kurutma (VD), ultrases ön işlemli vakum kurutma (UPVD) ve dondurarak kurutma (FD) yöntemlerinin kan portakalı dilimleri üzerindeki etkisi değerlendirilmiştir. Kurutma davranışları ve kalite özellikleri analiz edilmiştir. Bunu başarmak için, kurutma kinetiği ve modelleme, toplam fenolik içerik (TPC), antioksidan kapasite (DPPH ve ABTS yöntemleri ile ölçülmüştür), bireysel fenolik profiller ve kurutulmuş kan portakalı dilimlerinin renk parametreleri değerlendirilmiştir. HAD, VD ve UPVD kullanılarak yapılan kurutma işlemleri 50, 60 ve 70 °C'de gerçekleştirilmiştir. Kurutma süreleri sıcaklık arttıkça azalmıştır. Özellikle, HAD için kurutma süreleri 22,5 saat, 12,5 saat ve 9 saat; VD için 11,5 saat, 9,5 saat ve 8,5 saat olmuştur ve UPVD için sırasıyla 50, 60 ve 70 °C'de 10 saat, 8,5 saat ve 7,5 saat. Ultrasesin dahil edilmesi kurutma sürelerini önemli ölçüde kısalttı. Kurutma sürecini doğru bir şekilde simüle etmek için on bir ince tabaka kurutma modeli uygulandı. Kan portakalının biyoaktif içeriği tür, çeşit, olgunluk, çevre koşulları, coğrafi konum ve yetiştirme yılı gibi faktörlerden etkilenir. FD hariç, tüm kurutulmuş örnekler taze örneklere kıyasla daha düşük toplam fenolik içeriğe ve antioksidan kapasiteye

sahipti. Kurutulmuş örnekler arasında UPVD fenolik içeriği ve antioksidan kapasiteyi FD'den sonra ikinci sırada korudu. Kurutma tekniği L*, a* ve b* renk parametrelerini önemli ölçüde etkiledi ($p<0,05$). Bu çalışma, ultrases ön işlemli vakum kurutmanın kurutma süresini azaltma ve kan portakalı dilimlerindeki biyoaktif bileşiklerin tutulmasını artırma potansiyelini vurgulamaktadır.

Anahtar Kelimeler: Kan portakalı, ultrases ön işlemli vakum kurutma, antioksidan kapasitesi, fenolik profil, kurutma kinetiği.

ABSTRACT

Modeling The Drying Of Blood Orange Using Modern Drying Techniques

Damla YILMAZ

Department of Food Engineering

Master Of Science

Supervisor: Asst. Prof. Dr. Zeynep Hazal TEKİN ÇAKMAK

Co-supervisor: Prof. Dr. Salih KARASU

This research evaluates the influence of hot air drying (HAD), vacuum drying (VD), ultrasound pretreatment vacuum drying (UPVD), and freeze-drying (FD) methods on blood orange slices. Their drying behavior and quality characteristics were analyzed. To achieve this, drying kinetics and modeling, total phenolic content (TPC), antioxidant capacity (measured through DPPH and ABTS methods), individual phenolic profiles, and color parameters of dried blood orange slices were assessed. Drying processes using HAD, VD, and UPVD were conducted at 50, 60, and 70 °C. Drying times decreased as temperature increased. Specifically, the drying times for HAD were 22.5h, 12.5h, and 9h; for VD, 11.5h, 9.5h, and 8.5h; and for UPVD, 10h, 8.5h, and 7.5h, at 50, 60, and 70 °C, respectively. The incorporation of ultrasound notably shortened the drying times. Eleven thin-layer drying models were applied to accurately simulate the drying process. The bioactive content of blood oranges is influenced by factors such as species, cultivar, ripeness, environmental conditions, geographic location, and year of cultivation. Except for FD, all dried samples had lower total phenolic content and antioxidant capacity compared to fresh samples. Among the dried

samples, UPVD preserved phenolic content and antioxidant capacity second only to FD. The drying technique significantly affected the color parameters L*, a*, and b* ($p<0.05$). This study highlights the potential of ultrasound pretreatment drying to reduce drying time and enhance the retention of bioactive compounds in blood orange slices.

Keywords: Blood orange, ultrasound pretreatment vacuum drying, antioxidant capacity, phenolic profile, drying kinetics.

1
GİRİŞ

1.1 Literatür Özeti

1.1.1 Kan Portakalı

Turunçgiller ya da narenciye, portakal, mandalina, greyfurt, turunç ve limon gibi *Citrus* cinsi meyveleri de içine alan bir bitki topluluğudur. Ülkemizde daha çok Güneydoğu Anadolu Bölgesi'nin Orta Fırat Bölümü'nde, Akdeniz Bölgesinde ve Ege Bölgesinde yetiştirilen bu meyve grubu genellikle sarı ve turuncu renge sahip olup, pH değeri düşük olduğundan ekşi bir tada sahiptirler. Ayrıca C vitamini açısından da oldukça zengindirler.

Kan portakalı(*Citrus sinensis L. Osbeck*) diğer bir adıyla ahududu portakalı, ilk olarak 18. yüzyılda Güney Akdeniz' de yetiştirilmeye başlandığı tahmin edilen ve koyu kırmızı renge sahip bir portakal çeşididir (Habibi vd., 2024).

Kan portakalları; C vitamini, polifenoller, flavonoidler ve hidroksisinnamik asitler gibi biyoaktif bileşiklerin varlığından dolayı yüksek nutrasötik değerine sahiptir (Pannitteri vd., 2017). Renginin diğer narenciyelere göre ayırt edilebilir olmasının sebebi; turunçgillerde nadir olarak bulunan ancak çilek meyvelerinde yaygın olan bir polifenol pigment ailesi olan antosiyaninlerin yoğun konsantrede bulunmasıdır (Habibi vd., 2024; Destani vd., 2013). Antosiyanin (ANC), flavonoid grubunda yer alan pH derecelerine bağlı olarak meyve ve sebzede kırmızı, mor, mavi ya da siyah olarak görülebilen suda çözünebilir bir pigmenttir. Bu meyvelerin dokularının kırmızı ve mor renginin gelişmesi için düşük vakuol pH'ı gerektirir (Rapisarda vd., 2000). Tüm pigmentli çeşitlerde en popüler antosiyaninler, siyanidin 3-glukozit ve siyanidin 3-(6″-malonil)glikozittir (Destani vd., 2013; Pannitteri vd., 2017). Ayrıca alkaloidler (özellikle sinefrin, tiramin ve oktopamin) ve ferulik asit, p –kumarik asit, klorojenik asit ve kafeik asitler de dahil

olmak üzere hidroksisinnamik asitler içerirler. Bu bileşiklerin her bir grubunun özel bir biyolojik aktivitesi vardır; örneğin, flavonoidler ve hidroksisinnamik asitler güçlü antioksidan özelliğe ve antikarsinojenik aktiviteye sahip oldukları gibi serbest radikal temizleyici özelliğine de sahiptirler (Destani vd., 2013). Antosiyaninler bazı hastalıklara karşı olumlu etkiler gösterir ve çeşitli kanser türleri, anti-inflamatuar, antidiyabetik, antiviral, antiobezite, antitümör, kalp hastalığı ve düşük yoğunluklu lipoprotein (LDL) kolesterol birikimi riskini azaltır (Habibi vd., 2024). Ayrıca bu pigmentler bitkilerde abiyotik stres koşullarına ve patojen enfeksiyonlarına karşı koruma gibi önemli bir fizyolojik rol oynar (Morales vd., 2021).

İçerdiği C vitamini, lif ve antioksidanlar ile bağışıklık sistemini güçlendirmeye, sindirimi iyileştirmeye yardımcı olduğu gibi iltihap önleyici özelliğe de sahiptir. Son 15 yılda, karakteristik antosiyanin birikimiyle bağlantılı olarak antioksidan gücü nedeniyle kan portakallarına olan ilgi artmıştır.

Taze kan portakalı suyu, tadı ve besin değeri tüketici kabulünü ve memnuniyetini arttırdığı için pazardaki yeri başarılıdır (Habibi vd., 2024). Bu meyve suyunda ısı ve oksidatif hasar ölçülebilmesi için hem portakal çeşidine hem de işlem çalışma koşullarına bağlı olan askorbik asit ve antosiyanin içeriklerinin belirlenmesi yeterlidir (Destani vd., 2013).

Kan portakalının farklı olgunluk seviyelerinden elde edilen meyve sularında(fermente edilmemiş) ve meyve şaraplarında(fermente edilmiş) antosiyanin miktarı, şeker, organik asitlerin ve uçucu organik bileşiklerin profillerindeki çeşitlilik araştırıldığı bir çalışma sonucunda, kan portakalının farklı olgunluk derecesine sahip olması ile elde edilen profillerin değişiklik göstermesi öngörüleri desteklemiştir (Liu vd., 2023).

Kan portakallarının Moro (İtalya'nın Syracuse ilinde), Tarocco (İtalya’ da) ve Sanguinello (İspanya' da) ve olarak bilinen 3 türü vardır (Habibi vd., 2023). Kan portakallarının, Valensiya (İspanya) ve Sicilya'nın (İtalya) belirli bölgelerinde geniş bir gündüz/gece sıcaklık aralığı olduğu için etli kısımda yüksek antosiyanin seviyeleri geliştirdiği bildirilirken, Sao Paulo (Brezilya) veya Florida (ABD) dahil olmak üzere subtropikal veya tropikal bölgelerde kan portakallarının yetiştirilmesi, antosiyanin konsantrasyonları düşük veya ihmal edilebilir olgunlukta olması sebebiyle ticareti daha sınırlıdır. Aynı zamanda, tropikal veya subtropikal bölgelerde kan portakallarının ticari olgunluğun ötesinde ağaçta depolanması, yalnızca antosiyanin seviyelerini düşürmekle

kalmaz, çeşitli fizyolojik sorunlara da yol açar. Meyvenin ağaçlarda uzun süre tutulması, sürgün karbonhidrat miktarlarında azalışa, dolayısıyla donma hasarının oluşmasına neden olmaktadır. Bu, meyvenin güçlü bir emici olmasından kaynaklanır. Bununla birlikte, kan portakalında bulunan biyoaktif bileşiklerin yapısının bozulmasına ve tadında acılığın oluşmasına sebep olmaktadır. Tadında, renginde ve zengin bileşenlerinde neden olan bu olumsuz gelişmelerin önüne geçebilmek için, kan portakalı gibi tropikal meyvelerin üretimi için gerekli stratejiler geliştirilmelidir (Habibi vd., 2024).

Moro, koyu kan rengine, lezzet ve aroma olarak ise tatlı bir ahududu aromasına sahiptir. Tarocco, tatlılığı ve suluğu nedeniyle diğer çeşitlerine göre daha popüler olup, içeriğindeki pigmentasyon miktarı nedeniyle 'yarım kan' olarak adlandırılır. Dünyada yetiştirilen tüm portakal çeşitlerine göre en yüksek C vitamini değerine sahip olduğu bilinmektedir. Sanguinello, 'tam kanlı' olarak isimlendirilen bu tür, az sayıda çekirdeğe ve tatlı, yumuşak bir ete sahiptir (Habibi vd., 2023). Kan portakallarının hasat zamanı sadece Şubat ayının başlarında yapılır. Dolayısıyla her mevsim bu meyveyi tüketebilmek için muhafaza yöntemlerine ihtiyaç duyulmaktadır. Genellikle kurutularak depolanan bu meyve türü, kurutulmuş kan portakalı olarak da pazarda yerini almaktadır.

Kan portakalı meyvesinin oda sıcaklığında depolanması biyoaktif bileşiklerin bozulmasına, su kaybının artmasına, solunum artmasına, yaşlanma ve mantar çürümesinin oluşmasına neden olarak raf ömrünü hızla kısaltabilirken, kan portakalını soğuk hava deposunda depolamak kalitesinin korunmasına, solunum hızının ve çürümenin azalmasına yardımcı olur. Ayrıca soğuk depolama yöntemi kan portakalının rengini oluşturan antosiyanin sentezini destekler. Kan portakallarındaki antosiyanin üretimi soğuğa bağlıdır ve meyvenin düşük sıcaklıklara maruz kalması hasat sonrası antosiyanin sentezini ve birikimini artırır. Antosiyanin sentezinin fazla olması düşük sıcaklıktaki depolama sürecinde kan portakalının iç kalitesini olumlu yönde arttırmaktadır. Ayrıca, fitokimyasal bileşiklerin korunmasına ve kan portakalı meyvesinin hasat sonrası raf ömrünün uzatılmasını da sağlayabilir. Ancak, kan portakallarını 5 °C altındaki sıcaklıklarda depolamak, soğuk hasarına neden olabilir ve meyvenin organoleptik özelliklerinde istenmeyen değişikliklere yol açabilir. Üretimi yapılan tüm meyve ve sebzeler, çok düşük sıcaklıklara maruz kaldıklarında yaşanan hasara soğuk hasarı denir. Kan portakallarına depolama öncesi kimyasal uyarıcılarla yapılacak olan ön işlemler sayesinde soğuk toleransları arttırılabilir. Bu işlemlerin

uygulanması daha fazla zaman alır ve özel tesisler, ekipmanlar ve yüksek maliyet gerektirir. Kan portakalında antosiyanin birikimini artırmak için soğuk indüksiyonunun gerekliliği iyi bilinse de daha önceki tüm araştırmalar kan portakalı meyvesindeki antosiyanin artışı için sadece soğutma sıcaklıklarını ve orta sıcaklıkları karşılaştırmıştır (Habibi vd., 2024).

Yapılan bir çalışmada, depolama süresince kan portakalı meyvesinin antosiyanin seviyelerini, sağlık geliştirici bileşikleri ve antioksidan aktivitesini ve diğer fizikokimyasal özelliklerini artırmak için en uygun depolama sıcaklığını belirlemek üzere hasat sonrası sıcaklıkların (6, 8, 10 ve 12 °C) potansiyelini değerlendirmiştir. Elde edilen sonuçlar, ürün kalitesini iyileştirmiş olup, genişletilmiş pazar fırsatları yaratarak ve aynı zamanda özellikle kısıtlayıcı iklim koşulları nedeniyle kan portakalındaki antosiyanin seviyelerinin eksik veya sınırlı olduğu yetiştirme bölgelerinde tüketiciler için sağlık yararlarının arttırılmış olması narenciye endüstrisine büyük fayda sağlamıştır. 6 ve 8 °C'lik daha düşük depolama sıcaklıklarında, sertlik kaybı oranında önemli bir azalma gözlemlenmiştir. Meyve suyunun toplam çözünür katı madde miktarı, turunçgillerdeki şeker içeriğini değerlendirmede önemli bir parametredir ve genel olarak sakkaroz, glikoz ve fruktoz, toplam çözünür katı madde miktarının yaklaşık %80' ini oluşturur. Toplam çözünür katı madde miktarı sonuçlarına göre, depolama süresi boyunca daha düşük sıcaklıklarda (6 ve 8 °C) daha kararlı bir yapı gösterdiği belirlenmiş olup, turunçgillerdeki organik asitlerin glikoliz yoluyla şekere dönüştürülmesi ve çözünmeyen karbonhidrat polimerlerinin çözünür şekerlere parçalanması gibi metabolik süreçleri yavaşlatabileceği öngörülmüştür. Titre edilebilir asit (TA) seviyesi organik asitlerin konsantrasyonu tarafından belirlenir ve bu çalışmada en yüksek TA seviyelerinin 6 ve 8 °C'de gözlemlendiği ortaya koyulmuştur. Elde edilen bulgular neticesinde, soğuk depolama sırasında sıcaklığın organik asit parçalanma hızı üzerindeki etkisini vurgulamış, daha düşük sıcaklıklar asitliğin korunmasına yardımcı olabilirken, daha yüksek sıcaklıklar organik asitlerin parçalanmasını hızlandırdığı belirtilmiştir. pH ölçümlerinde ise sonuç, en yüksek pH değerleri 10 ve 12 °C'de gözlemlenirken, en düşük pH değerleri 6 ve 8 °C'de kaydedilmiştir. Daha yüksek sıcaklıklar organik asitlerin şekere dönüşümünü hızlandırdığı ve solunum hızını arttırdığı için gözlemlenen pH değerinde artışa sebep olmuştur. Toplam antosiyanin miktarı kan portakalı için önemli bir kalite parametresidir ve en yüksek içerikler tutarlı bir şekilde 10 ve 12 °C depolama sıcaklıklarında gözlemlenirken, en düşük seviyeler 6

°C'de bulunmuştur. Bu nedenle, kan portakalı meyvesinde antosiyanin birikimi ile depolama sıcaklıkları arasında bir korelasyon olduğu söylenebilir. Bu sonuç, 6 ila 12 °C aralığındaki daha yüksek depolama sıcaklıklarının fenilpropanoid yolunu aktive ederek kan portakalı meyvesindeki fenolik biyosentezi ve birikimi artırabileceği söylenebilmektedir. Renk parametre değerleri sonucunda ise, daha düşük depolama sıcaklıklarının, daha yüksek sıcaklıklarına göre renk değişiklikleri üzerinde daha az belirgin bir etkisi olduğu görülmüştür (Habibi vd., 2024).

Birçok meyve ve sebzenin su içeriği %80 civarındadır. Bu durum raf ömürlerini sınırlandırmakta olup, depolama ve taşıma koşullarına karşı hassas hale getirmektedir (An vd., 2024).

Ürün kalitesini iyileştirmek için portakalların ön işlemleri, stabilizasyon işlemleri ve paketleme malzemeleri üzerine çalışmalar yapılmıştır. Ayrıca, önemli hastalıklara karşı koruma sağlanmasında etkin olan bileşenlerin korunması ve böylece yaşam kalitesinin farmakolojik olmayan yollarla iyileştirilmesi konusunda da birçok çaba sarf edilmektedir (Destani vd., 2013).

Tarımsal ürünlerin kurutulmasının başlıca faydalarını sayacak olursak gıda kalitesini ve stabilitesini korumak, bozulmayı ve kontaminasyonu önlemek yer almaktadır. Buna ek olarak, depolama sırasında makro besinler (proteinler, şekerler, lifler, vitaminler ve mineraller) ve biyoaktif bileşenler (fenolik bileşikler, karotenoidler, izoflavonlar) gibi temel besinleri korur (An vd., 2024).

Gıda kaynaklarının kurutulması, gıda endüstrisindeki uygulamalarını genişletmek için kritik bir adımdır. Kurutma tekniği, ısıtma etkileri yoluyla yeni gıda kaynaklarının sterilizasyonuna katkıda bulunur ve mikroorganizmaların ve alerjenlerin patojenik risklerini kısmen azaltır. Meyveler, sebzeler, et ve deniz ürünleri dahil olmak üzere yaygın taze gıdalarda kurutma tekniklerini bildiren çok sayıda çalışmalar olmasına rağmen, gıda kaynaklarına uygulanan kurutma tekniklerinin kapsamlı incelemeleri hala sınırlıdır. Benzersiz özellikleri nedeniyle, yeni gıda kaynakları üzerindeki son kurutma tekniklerinin kapsamlı olarak incelenmesi gerekmektedir (Guo vd., 2024). Bu teknoloji, bu değerli ürünün hasat sezonunun çok ötesinde pazarlarda bulunabilirliğini de garanti etmektedir (Habibi vd., 2024).

1.2 Kurutma

Gıda işlemenin temel hedefleri arasında gıdaların mikrobiyolojik ve kimyasal güvenliğinin sağlanması, tüketiciler için yeterli besin içeriğinin ve biyoyararlılığının sürdürülmesi ve aynı zamanda tüketiciler tarafından duyusal özelliklerin kabul edilebilir seviyede olmasının sağlanması vb. yer almaktadır (Arslan ve Alibaş, 2024).

Meyve ve sebzeler iki ana teknik kullanılarak muhafaza edilebilir. Biri donma, diğeri ise dehidrasyondur (Srivastava vd., 2025). Gıda muhafaza yöntemlerinden en yaygın kullanılan yöntemlerden biri kurutmadır. Kurutma, gıdaların nem içeriğini yani su aktivitesini azaltarak, mikrobiyal bozulmayı geciktirmek, enzim inhibisyonu sağlamak ve bozulmaya neden olabilecek kimyasal reaksiyonların oranlarını en aza indirmek ve tarımsal ürünleri koruyarak gıda güvenliğini sağlamak için en eski ve en temel yöntemlerden biridir (Cin ve Palazoğlu, 2024; An vd., 2024; Fufa vd., 2025).

Tahıllar, meyve ve sebzeler gibi bazı gıda maddeleri genellikle yüksek nem oranına sahiptir. Örneğin, tahılların su içeriği %33 ile %45 arasında değişkenlik gösterebilirken (ıslak bazda), meyve ve sebzeler %80'e kadar nem taşıyabilmektedir (ıslak bazda). Bu yüksek nem, mikroorganizmaların, özellikle küf ve bakterilerin gelişmesi için uygun bir ortam sunar, bu da ürünlerin depolanması ya da taşınması esnasında kalite kaybına yol açar. Ayrıca, bu durum ürünlerin raf ömrünü kısaltabilir ve piyasa değerini olumsuz etkileyebilir. Bu nedenle, kurutma işlemi, gıda ürünlerinin nem seviyelerini uygun bir seviyeye getirerek depolama koşullarına uygun hale gelmelerini sağlar (An vd., 2024).

Kurutma, gıdadaki serbest suyu büyük ölçüde azalttığı için, yemeğin dokusunun, bütünlüğünün, fiziksel görünümünün ve kuru madde konsantrasyonunun sağlandığı bir prosedürdür. Kurutulmuş gıdalar, daha uzun raf ömrü, daha uygun paketleme, depolama ve nakliye maliyeti, malzeme hacmini azaltarak paketlemeyi, elleçlemeyi ve nakliyeyi, aynı zamanda müşteriler için daha fazla ürün seçeneğiyle birlikte tüm mevsimlerde bulunma olasılığı gibi çeşitli avantajlar sağlar (Bhattacharjee vd., 2024; Wiset vd., 2025).

Su aktivitesi, gıdanın içinde bulunduğu ortamdaki su buhar basıncının aynı sıcaklıktaki saf suyun buhar basıncına oranıdır. Daha uygun bir tabirle “mikroorganizmaların kullanabildiği su” yani “serbest su” denilebilmektedir. Su aktivitesi hesaplanacak ve başlangıç su oranı bilinen bir gıda örneği, sabit sıcaklıkta ve sabit nemdeki bir hücrede tutularak nem bakımından dengeye erişmesi ve sabit ağırlığa ulaşması beklenir ve denge

su içeriği hesaplanır. Kurutma prosesi sayesinde gıdanın su aktivitesini (a_w) 0,6'nın altına indirerek raf ömrü açısından daha dayanıklı olmasını sağlanabilir. Gıdalardaki suyu bu güvenli aralığa aktararak, bakteri büyümesini ve üremesini önleyerek, su kaynaklı metamorfik biyokimyasal reaksiyonları azaltarak güvenilirlik sağlanır. Bunlara ek olarak özellikle gıdaların biyoaktif bileşenleri içeriyor olması da, kurutulmuş gıda ürünlerine olan ilgiyi her geçen gün daha da arttırmaktadır (Türkmen, 2020; Jiang vd., 2025).

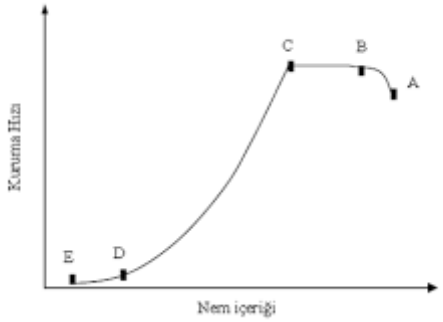
Gıda dehidrasyonu işlemi, gıdanın içinde yer alan suyun belli bir sürede uzaklaşması işlemidir. Gıda özelliklerindeki ve bileşenlerindeki kimyasal farklılıklar, gıdadaki kalitenin korunması için suyun uzaklaştırılma biçiminde bir farklılığı gerektirebilmektedir. Kurutma işleminin kritik yönü, bu işlem sırasında kalite parametrelerini olumsuz etkilemeden, bozulmaya yol açabilecek gıdalardaki aşırı su içeriğini azaltma hedefine ulaşabilmektir. Bu hedef doğrultusunda, kurutma işlemi için kullanılacak kurutma yöntemi, güç ayarları ve çalışma sıcaklık değerleri çok iyi seçilmelidir. Gıdalardaki su aktivitesi ve nem içeriği, cam geçişi ve su hareketliliği arasındaki ilişkileri anlamak ve ona göre hareket etmek etkili bir kurutma işleminin geliştirilmesi için kritik bir öneme sahiptir (Arslan ve Alibaş, 2024).

Kuru üzüm, kuru kayısı, kuru incir, kuru hurma ve kuru eriğin satışı çok yaygın olarak yapılsa da kuru elma, kuru ananas, kuru mango ya da kuru papaya gibi ürünler yerel ya da sanal marketlerde bulunabilmektedir. Kan portakalı yılın sadece belli bir döneminde hasat edildiği için taze olarak satışı pazarlarda çok uzun süre yer almaz. Ayrıca endüstriyel düzeyde kurutulmuş haline de ulaşmak oldukça zordur. Kan portakalı da dahil olmak üzere meyvelerin büyük çoğunluğu içerdikleri fenolik bileşikler sayesinde sağlık üzerinde olumlu etkileri vardır. Epidemiyolojik kanıtlara göre kurutulmuş meyve tüketimi ile diyet kalitesi arasında olumlu bir ilişki olduğu söylenebilir. Bu nedenle kan portakalı meyvesinin kurutularak muhafaza edilmesi ve tüketilmesi önem arz etmektedir (Malakar, 2024).

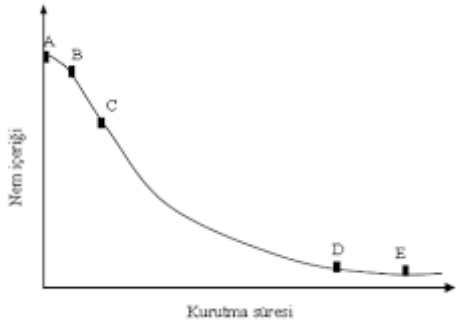
1.2.1 Kurutma Eğrilerinin Özellikleri

Kurutma, eş zamanlı ısı ve kütle transferini içerir. Ürünün yüzeyinden kurutma ortamına yani havaya su içeriğinin buharlaşması için ısıya ihtiyaç vardır. Buhar basıncındaki fark, kurutma işlemi sırasında su buharının üründen havaya doğru hareket etmesini sağlar. Havanın nemindeki azalma, sıcak hava ve basınçlı hava akışından

dolayı meydana gelir ve bu da ürün üzerindeki su buharı basıncının havadaki su buharı basıncının ötesine geçmesine neden olur ve böylece üründeki su buharlaşır (Hasibuan vd., 2025).



Şekil 1.1 Ürün nem içeriğinin kurutma süresiyle değişimi



Şekil 1.2 Kuruma hızının ürün nem içeriğiyle değişimi

A – B Bölgesi: Isınma evresi olarak adlandırılan bu bölgede kurutma işleminin başlangıcı gözlemlenir. Bu bölgede kurutulacak ürün ile ortam sıcaklığı dengeye gelir, kuruma hızı giderek artış gösterir ve evrenin sonunda kuruma hızı en yüksek değerine ulaşıyor gibi görünür. Ancak bu anlık bir durumdur ve gıda kurutma işlemlerinde bu bölge genellikle ihmal edilmektedir (Köse, 2018).

B – C Bölgesi: BC eğrisi sabit hızla kuruma evresi olarak adlandırılmaktadır. Yüzey, başlangıçta neme doygundur ve %100 bağıl nem içerir. Gıda maddesi içerisinden difüzyon ve kapiler güçler yardımıyla yüzeye aktarılan su miktarı yüzeyden kuruma ile uzaklaştırılan su miktarından fazladır. Başka bir deyişle yüzeyden buharlaşma ile olan kuruma hızı, difüzyon hızından daha yavaştır. Burada kurutma hızı, sıcak hava ile yüzey arasındaki ısı transferine bağlıdır. Kurutma işlemi sırasındaki kütle transferi ile ısı transferi belli bir denge oluşturur. Bu nedenle kuruma yüzey sıcaklığı sabit kalır. Kurumada itici güç gıda yüzeyindeki su buharı basıncı ile asıl hava akımı arasındaki su

buharı basınç farkıdır. Yüzeyde yer yer kurumaların başlaması C noktasındadır ve kritik nokta olarak adlandırılır. C noktası aynı zamanda sabit debi periyodu sonuna ve azalan debi periyodu başlangıcına eşittir denilebilir (Köse, 2018).

C – D Bölgesi: Bu bölge 1. azalan hızda kuruma periyodu olarak adlandırılmaktadır. Gıdanın buhar basıncı, bu bölgede sabit hızda kuruma periyodundakine yakındır. Yüzeyin sıcaklığı, yaş termometre sıcaklığından daha yüksektir. Yüzey kurumaya başlar ve kuruma hızı azalır. Bu periyodun sonunda yüzey tamamıyla kuruluğa ulaştığından, buharlaşma maddenin iç kısımlarında olur (Köse, 2018; Türkmen, 2020).

D – E Bölgesi: İkinci azalan hızda kuruma periyodu olarak adlandırılmaktadır. Su, kılcallarda tutulmakta ve difüzyon ile iletilmesi çok zor ve yavaş olmaktadır. Suyun kısmi buhar basıncı azalmaktadır (Köse, 2018; Türkmen, 2020).

1.3 Kurutma Metotları

Güneşte kurutma meyve ve sebzelerin kurutulmasında doğal yolla kurutma olarak aldandırılır. Sıcak hava ile kurutma, dondurarak kurutma (liyafilizasyon), ısı pompası kurutma, radyo frekansı sıcak hava kurutma, vakum kurutma, akışkan yatak kurutma, vakumlu dondurarak kurutma, ozmotik kurutma, ultrason destekli vakum kurutma, ultrason ön işlemli vakum kurutma, infrared kurutma, darbeli vakum kurutma, mikrodalga kurutma, sprey kurutma, gibi doğal olmayan yöntemler kullanılmaktadır. Bu yöntemlerin seçimi, nihai üründe istenen kalite özelliklerine ulaşabilmek için oldukça hayati bir öneme sahiptir (Fufa vd., 2025; Ai vd., 2024; Zhang vd., 2025). Bu tez çalışmasında kan portakalı kurutma yöntemlerinden sıcak hava kurutma (HAD), vakum kurutma (VD), ultrases ön işlemli vakum kurutma (UPVD) ve dondurarak kurutma (FD) uygulandı.

Çeşitli kurutma yöntemleri arasında güneşte kurutma, geleneksel ve en yaygın kullanılan yöntemdir. Güneş kurutucular kuru gıdaların kalitesini koruyabilir; vitaminler korunur ve kurutulmuş gıdalar daha sonra basit bir yeniden nemlendirme ile geri kazanılabilir. Kırsal kesimde yaşayan insanlar tarımsal ürünlerini kurutmak için genelde doğrudan güneş ışığına güvenirler. Bu yöntemin kullanımı kolaydır ve maliyeti düşüktür (Srivastava vd., 2025). Bununla birlikte çevreyi kirletemeyen yenilenebilir enerji kullanılması da avantajları arasındadır (Getahun ve Ebissa, 2024). Ancak, kurutma süresinin uzun olması, kir ve kirlilik gibi kirleticilerin olması ve düzensiz

sıcaklık artışı sonucu oluşan mikro yapı ve biyoaktif bileşenler, ürünü olumsuz etkileyebilir (Ai vd., 2024). Bu sebeple nihai üründeki kaliteyi maksimum düzeyde tutabilmek için farklı kurutma yöntemlerine ihtiyaç duyulmaktadır.

1.3.1 Sıcak Hava ile Kurutma

Sıcak hava ile kurutma yöntemi, meyve ve sebzelerin kurutulması ve depolanmasında yaygın olarak kullanılan basit, maliyeti düşük ve etkili bir kurutma yöntemidir. Sıcak hava, kurutma sırasında Maillard reaksiyonu (MR), karamelizasyon, lipit oksidasyonu ve termal bozunma gibi farklı kimyasal reaksiyonlar meydana gelmesine neden olur. "Maillard Reaksiyonu" gıdalarda bulunan serbest amino asitlerin, proteinlerin veya peptitlerin serbest amino grupları ile indirgen şekerler veya lipit oksidasyon ürünleri arasında gerçekleşen ve enzimatik olmayan esmerleşme reaksiyonlarıdır (Yıldız vd., 2010). Bu reaksiyonlarda oluşan ürünlerin lezzetinde, fitokimyasal bileşiminde ve renginde istenmeyen değişikliklere yol açar (Huang vd., 2024).

1.3.2 Vakum Kurutma

Gıdaların yüksek sıcaklık koşullarında yapılarının bozulması sebebiyle daha düşük sıcaklıklarda hızlı bir şekilde kurutulması için vakum kurutucular geliştirilmiştir (Arslan ve Alibaş, 2024).

Vakumlu kurutma (VD), düşük atmosfer basıncında suyun kaynama noktasının düşmesiyle daha hızlı kurutma işleminin gerçekleştiği bir kurutma yöntemidir. Prensibinde mukavemetli bir kabin içerisinde vakum pompası ile atmosfer basıncının azaltılması ve içeride bulunan ısıtıcı, fan ve döner tepsi sistemi ile üründen nemin uzaklaştırılmasının sağlanmasıdır (Zhang vd., 2025). Gıdadan buharlaştırılan su, soğuk bir kondansatör tarafından yoğunlaştırılır ve vakum hücresinden çıkarılır. Vakum kurutma ayrıca vakum ortamında uygulanan sıcaklığın 100 °C'nin altında olması nedeniyle yüksek sıcaklıkların neden olduğu aroma değişimini ve üründe oluşabilecek diğer hasarları da önler (Arslan ve Alibaş, 2024).

Vakum kurutma kabinleri meyvelerin yanı sıra bazı sebzeleri, otları ve baharatları kurutmak için de kullanılır ve bu teknik ile hem sıvı hem de katı maddeler kurutulabilmektedir (Arslan ve Alibaş, 2024).

Vakum ortamının eklenmesi, özellikle sürecin orta ve geç aşamalarında, malzemeden çıkarılması zor olan nemin uzaklaştırılması için yararlıdır. Kurutma işlemi sırasında ürünlerden bağlı suyu uzaklaştırmak, üründen uzaklaştırılan toplam nemin yalnızca

küçük bir oranını oluşturmasına rağmen, büyük miktarda zaman ve enerji kaybına yol açar. Ayrıca, yüksek vakum seviyelerinde, vakumlu kurutma ortamında ısı iletimi azalır ve bu durum ürün üzerindeki ısıtma etkisini etkiler. Vakumlu kurutma ortamı, düşük nem içeriğine sahip malzemeler ve kurutmanın sonraki aşamalarında nem giderme için oldukça uygun olmasına karşın, uygulama alanları ve noktaları sınırlıdır. Buna ek olarak, kurutmanın orta ve son aşamalarında, özellikle düşük ısıtma sıcaklıklarında, nemi uzaklaştırmak için gereken enerji oldukça yüksektir. Bu sorunlar, kurutma oranında, ısıtma yöntemlerinde, enerji verimliliğinde ve vakumlu kurutmanın daha geniş uygulamasında iyileştirme için büyük fırsatlar olduğunu vurgulamakta olup, en uygun neme sahip ürünlerde kullanılması gerektiği düşünülmektedir (Zhang vd., 2025).

1.3.3 Ultrases Ön İşlemli Vakum Kurutma

Ön kurutma tekniklerinin kullanılması kurutulmuş ürünlerin kalitesini artırabileceği öngörülmüştür. Ön işlemle kurutma yöntemi, vitaminler gibi ısıya duyarlı bileşenleri koruyan, enzim aktivitesini inaktive eden ve genel kurutma süresini kısaltan önemli bir işlemdir. Bu süreç, taze gıda özelliklerinin kalitesinde bir kayba neden olmazken aynı zamanda enerji tasarrufuna da katkıda bulunur (Fufa vd., 2025).

Aktif yenilebilir kaplama ile ilgili yapılan bir çalışmada, gıda ürünlerinin kurutma performansını ve kalite korunmasını iyileştirmek için sürdürülebilir bir ön işlem yaklaşımı olabileceği düşünülmüş olup, bu konular üzerinde çeşitli araştırmalar yapılmıştır. Bu kritik inceleme, kurutma verimliliğini artırmak ve antioksidanların, biyoaktif bileşiklerin ve vitaminlerin stabilitesini korumak için diğer yeni ön işlemlerle (ultrason, ohmik ısıtma ve ozmotik dehidratasyon) birlikte uygulanmış ve olumlu sonuçlar alınmıştır (Malakar, 2024).

Ultrases ve mikrodalga gibi ön işlemlerin kullanılması, gıdanın içindeki hücre içi boşlukların oluşumunu etkileyebileceğini, probiyotikler için koruyucu bir ortam sağlayabileceğini ve kurutma işlemi sırasında stresin olumsuz etkilerini azaltabileceği ön görülmektedir (Santos vd., 2024).

Yapılan bir çalışmada, sıcak hava kullanılarak yapılan geleneksel ceviz kurutma yönteminde düşük kurutma verimliliği olduğu için ön işlem kullanılarak kurutulması test edilmiş olup ön işlem olarak ardışık kızılötesi (IR) ön kurutma ve ardından sıcak hava kurutma yöntemi kullanılmıştır (Taskin vd., 2024).

Ultrasonikasyon olarak tabir edilen bu teknik, "Yeşil" kimyada belirli amaçlar için çeşitli frekanslardaki ses dalgalarını kullanan en yaygın termal olmayan bir yöntemdir. Ultrases, insanların duyabileceğinden daha yüksek frekanslara sahip (20 kHz ila 20 MHz aralığı) ses dalgalarının yarattığı enerji olarak tanımlanır. 20 kHz ile 100 kHz frekans aralığına sahip yüksek güçlü ultrases (HPU), gıdaların mekanik, kimyasal ve biyolojik özelliklerini değiştirmek için kavitasyon olarak adlandırılan basınç dalgalarının uygulanmasını içerir (Pandiselvam vd., 2023).

Son yıllarda, alternatif yeşil teknolojilerden biri olan ultrases yöntemi, gıda teknolojisinde yaygın olarak kullanılmaktadır. Ekstraksiyon, dondurma, pestisitlerin giderilmesi, temizleme, emülsifikasyon, gaz giderme, homojenizasyon, çözme, ekstraksiyon, koruma, kristalizasyon, filtrasyon ve kurutma dahil olmak üzere çeşitli görevlerde kullanılır. Ultrases, bu hedeflere ulaşmak için esas olarak geleneksel yöntemlerde kullanılanlardan temelde farklı mekanik ve kimyasal etki yaratabilmek için akustik dalgalar kullanır. Bu teknolojinin kullanılmasının temel amacı, Yu vd., (2024) için malzemenin mikro yapısını ve fizikokimyasal özelliklerini değiştirerek kuruma hızını iyileştirmek, aynı zamanda enerji tasarrufu sağlamak ve gıda ürününün kalitesini, güvenliğini ve raf ömrünü artırmaktır (Pandiselvam vd., 2023).

Kurutmadan önce yapılan ön işlem, çok sayıda tekniğin belirlendiği ve kapsamlı bir şekilde araştırılmış bir konudur. Bugüne kadar meyve ve sebzeler için çeşitli kimyasal ve fiziksel ön işlem teknikleri kullanılmıştır. Kimyasal ön işlemler kurutma sürecini hızlandırabilir, ancak aynı zamanda çözünebilen besinleri de yok eder ve gıda güvenliğini ve insan sağlığını tehlikeye atan toksik kalıntılara sebep olur (Assad vd., 2025).

Ancak, termal olmayan teknolojiler (darbeli elektrik alanları ve ultrason gibi) bu sorunların üstesinden gelmek için daha iyi bir seçenek olabilir. Son yıllarda, kurutma süresini önemli ölçüde azaltma potansiyeline sahip olan gıda ürünleri için ultrason ön işleminin kullanımında bir artış olmuştur.

Çetin vd. (2023) yaptığı bir çalışmada, farklı termal ve termal olmayan teknikler kullanılarak ultrases ön işlemle ve ultrases işlem olmadan kurutulmuş rüzgarla düşen elma örneklerinin görüntü dokularındaki farklılıkları karşılaştırmayı amaçlamış olup görüntü dokularındaki farklılıklar değerlendirilmiştir.

Yapılan bir başka çalışmada, mor lahananın kurutulması için konvektif kurutma (CD), dondurarak kurutma (FD), püskürtmeli kurutma (SD) veya ağızlı yataklı kurutma işlemlerinden (SB) önce ön işlem olarak ultrases uygulaması yapılmıştır. Bu ön işlemin uygulanması ve uygun kurutma tekniklerinin seçimi sonucu elde edilen mor lahana tozunun özellikleri olumlu yönde önemli ölçüde etkilenmiştir (Santos vd., 2024).

Ön işlemle ilgili benzer bir uygulamada Niveditha vd. (2023) nar kabuklarının kurutulması ile ilgili yapılmış çalışmada, 10 dakika ultrases ön işleme ve 70 °C'de kurutmaya tabi tutulan ürünün, toplam fenolik içerik ve antioksidanların bozulmasını başarıyla azalttığı görülmüştür.

1.3.4 Dondurarak Kurutma

Dondurarak kurutma işlemi (FD), gıdanın yapısını ve besin niteliklerini koruma konusunda mükemmel kabiliyete sahip olması nedeniyle yüksek kaliteli kurutulmuş ürünler elde etmek için çok iyi bir teknoloji olarak kabul edilebilir. Doğru FD eğrisi, FD işlem verimliliğini artırmak ve enerji tüketimini azaltmak için doğru FD eğrisi kurulmalı, her aşama etkili bir şekilde kontrol edilmelidir (Egas-Astudillo vd., 2020).

Bu yöntem, hem düşük işleme sıcaklığı hem de işlem sırasında oksijenin neredeyse yokluğu sebebiyle, diğer birçok kurutma yönteminden daha yüksek bir ürün kalitesini (renk, şekil, aroma ve besin değeri) koruma yeteneğine sahiptir, bu da bozunma reaksiyonlarını en aza indirir. Diğer belirgin faktörler arasında ise, daha önceden dondurulmuş gıdanın sergilediği yapısal sertlik ve kurutma sırasında katı matrisin çökmesini ve büzülmesini önleyen dondurulmuş suyun sınırlı hareketliliği yer almaktadır (Egas-Astudillo vd., 2020).

Genel olarak, dondurma süresi az (hızlı dondurma işlemi) olması küçük buz kristalleri üretimine sebep olur. Tersine, dondurma süresi fazla ise (yavaş dondurma işlemi) büyük buz kristalleri üretir. Sonuç olarak, dondurma hızı kurutulmuş ürünün son özellikleri için kritik bir öneme sahiptir, çünkü buzun süblimleşmesinden sonra gerçekleşen gözenek boyutunu, dehidrasyon sürecini ve yeniden oluşturma sırasında daha iyi kütle akışını doğrudan etkilemektedir (Ceballos vd., 2012).

Aynı zamanda bu teknik, gevrek gibi gözenekli bir yapıya sahip ürünler elde etmek için dondurarak kurutmanın avantajlarından yararlanma fırsatı yaratır. Bu açıdan bakıldığında, meyve püresinden elde edilen dondurularak kurutulmuş bir kek, kızartma işlemine tabi tutmak gibi adımlardan kaçınılarak, sağlıklı bir atıştırmalık ürün olarak

tüketiciye sunulabilir. Dondurularak kurutmanın olumsuz tarafı ise, düşük basınç kullanımı ve uygulanan işlemin uzun sürmesidir; bu da tekniği yüksek maliyetli hale getirir (Egas-Astudillo vd., 2020).

Yapılan bir çalışmada, dondurarak kurutma işlemi greyfurt atıştırmalık türü bir ürün elde etmek için kullanıldığında, dondurarak kurutma sırasında rafları sadece 40 °C'ye ısıtmak işlem süresini önemli ölçüde kısalttığını (%57,5), ürünün rengini ve C vitamini içeriğini etkilemediği ve daha büyük ortalama gözenek boyutuna sahip örnekleri destekler (Egas-Astudillo vd., 2020).

Agudelo vd. (2017) yaptığı bir çalışmada, taze greyfurtun güçlü acı tadından ve mevsimsel olarak kısa süreli üretiminden dolayı tüketimi düşüktür ve dondurarak kurutma ve püskürtmeli kurutma işlemleri, toz greyfurt elde etmek için uygulanmış ve bunların antioksidan kapasitesi ve ürünün askorbik asit, α-tokoferol ve fenolik bileşik seviyeleri üzerindeki etkileri araştırılmış ve tartışılmıştır. Mevcut çalışmada elde edilen sonuçlar ise, dondurarak kurutma yoluyla greyfurt tozu elde etmek için arabik zamk ve bambu lifi eklemenin, meyvenin işlevsel bileşenlerini, yani antioksidan vitaminleri ve fenolik bileşikleri koruyarak iyi bir alternatif olduğunu göstermiş olup, püskürtmeli kurutma durumunda, meyvenin işlevsel kalitesini etkileyen biyoaktif bileşiklerin kaybına sebep olduğu belirtilmiştir.

1.4 Enerji

Bu gelişmelere rağmen, nem içeriğini güvenli seviyelere düşürmek için enerji analizi günümüzde hala çok büyük önem taşır. İşlem koşulları, örneğin ısıtma yoğunluğu, rüzgar hızı ve sıcaklık gibi faktörler, hem kurutulacak ürünlerin kalitesini hem de gereken enerji tüketim miktarını önemli ölçüde etkileyebilir. Kurutma maliyetleri artmaya devam ettikçe, özellikle tahıl, meyve ve sebzelerin kurutulmasında, hasat sonrası verimli işleme ihtiyacı daha da önemli hale gelmiştir. Enerji talebi, su buharlaşmasının verimliliğiyle pozitif yönde bağlantılıdır ve genellikle daha fazla enerji girdisi gerektirir (An vd., 2024).

Kurutma, küresel tarımda ürün işlemede ve yeni ürün eldesinde vazgeçilmez bir adımdır ve kurutma teknolojilerinin verimliliği ve enerji performansı, hem ürün kalitesini hem de ekonomik uygulanabilirliğini doğrudan etkiler. Hibrit kurutma teknolojileri,

ekonomik ve çevresel sürdürülebilirliği artırırken aynı zamanda kurutma sürelerini kısaltarak etkili avantajlar sunar.

Kombine kurutma yöntemlerinin enerji verimliliği açısından yapılan bir araştırmada; sıcak hava, ısı pompası, konveksiyon, vakum kurutma, güneş enerjisi, kızılötesi ışınlar, mikrodalga ve dondurarak kurutma gibi çeşitli kurutma yöntemlerinin bağımsız olarak kullanımı ile birlikte, güneş-ısı pompası, kızılötesi-sıcak hava, mikrodalga-sıcak hava, mikrodalga-vakum ve mikrodalga-kızılötesi gibi birleşik kurutma teknolojilerinin sistematik olarak değerlendirmesi yapılmış olup araştırmanın sonucunda ise, birleşik kurutma yöntemlerinin sadece enerji verimliliğini artırmakla kalmayıp, aynı zamanda tek başına kullanılan kurutma yöntemlerine göre ürün kalitesini de olumlu yönde iyileştirdiği tespit edilmiştir (An vd., 2024; Zhu vd., 2021).

Yapılan bir havuç kurutma çalışmasında, dondurarak kurutma yönteminin konveksiyon veya mikrodalga kurutma ile birleştirilmesi ile elde edilen sonuçlarda, kurutma süresinin 20 saat kadar kısaldığı ve daha yüksek kuru madde içeriği ile daha düşük su aktivitesi elde edildiği gözlemlenmiştir (An vd., 2024; Ciurzyńska vd., 2022).

1.5 Fenolik Bileşikler

Fenolik bileşikler, bitkilerde bulunan, genellikle fenol halka ve bir ya da birden fazla hidroksil grup aromatik halka içeren, kimyasal yapıları ile karakterize edilen geniş bir biyokimyasal bileşik ailesidir.

Bitkilerde fenilalaninden ikincil metabolitler şeklinde doğal olarak oluşur. Bu bileşikler, bitkilerdeki savunma mekanizmalarında, renk oluşumunda, koku ve tat özellikleri gibi duyusal fonksiyonlarda, bitkilerin renklendirilmesinde ve çeşitli virüslere, parazitlere, yırtıcılara, aynı zamanda ultraviyole (UV) ışınlarına karşı savunmalarında da önemli bir rol oynamaktadır. Bitkiler alemindeki her bitki organında bulunurlar ve sonuç olarak insan beslenmesi için oldukça gerekli bir bileşiktir (Edo vd., 2024).

Aromatik halkaya bağlı olan hidroksil grubu sayısı bir ise bu maddeye fenol, iki veya daha çok sayıda bulunuyor ise polifenol olarak isimlendirilmektedir.

Fenolik bileşikler genelde bitkilerin yaprak, çiçek, meyve gibi canlı dokularında glikozitler halinde, odunsu dokularında aglikonlar şeklinde, çekirdeklerinde ise her iki formda da bulunabilmektedirler.

Glikozit, bitkilerde bulunan ve glikoz moleküllerinden oluşan bileşiklere verilen genel addır. Bir glikozun anomerik karbonunun hidroksil grubu ile bir başka monosakkaritin veya aglikonun hidroksili ile bağ yaparak birleşmesi de denilmektedir. Aglikon ise, bir glikozit üzerindeki glikozil grubunun bir hidrojen atomuyla değiştirilmesinden sonra kalan kimyasal bileşik olarak adlandırılır.

Tüm meyve ve sebzelerde, üretimin ve hasatın yapılacağı mevsim, türü, çevresel ve iklimsel koşullar, toprağın yapısı, coğrafi konum ve olgunlaşma seviyesi gibi çeşitli faktörler, fenolik bileşiklerin konsantrasyonunu etkileyebilmektedir. Doğal olarak üretilen meyve türlerinin yetiştiği bölgenin rakımı arttıkça, fenolik asit ve flavonoid içeriğinin de yükseldiği gözlemlenmiştir. Farklı meyveler üzerinde yapılan araştırmalarda ise, fenolik bileşiklerin en düşük seviyelerde olduğu meyvelerin sırasıyla karadut, çilek, erik, elma ve kayısı olduğu tespit edilmiştir. Bu durum, fenolik bileşiklerin meyvelerin renkleriyle olan ilişkisini ortaya koymaktadır. Özellikle mor renkteki meyveler, daha yüksek fenolik madde içeriğine sahip olmaktadır (Acar ve Gokmen, 2000).

Bitkisel gıdalar (meyveler, sebzeler, tahıllar vb.) ve içecekler fenoller açısından zengindir ve bu fenoller gıdanın genel organoleptik niteliklerinden de kısmen sorumludur. Örneğin, fenolik bileşikler tükürük glikoproteiniyle etkileşime girerek meyve ve meyve sularında büzücü ve acı bir tat üretmektedir (Edo vd., 2024).

Bitkilerdeki fenolik bileşikler; fenolik asitler (veya fenolkarbonik asitler) ve flavonoidler ile küçük moleküllü ve çoğunlukla uçucu olan bileşiklerdir. Bunlardan renk, tat gibi özellikleri etkileyenler fenolik asitler ve flavonoidlerdir.

Fenolik asitler genellikle hidroksibenzoik asitler(Salisilik asit, Vanilik asit, p-kumarik asit) ve hidroksisinamik asitler(kafeik asit, ferulik asit, sinamik asit) olmak üzere iki ana gruba ayrılır. Her iki grup da biyolojik olarak aktiftir ve vücutta birçok faydalı etkiye sahiptir (Spanos ve Wrolstad, 1992).

Flavonoidler, flavan türevlerindendir ve C_6-C_3-C_6 difenil propan yapısındadır. Flavonoidler olarak tanımlanan bu pigmentlerin varlığı eski çağlardan beri bilinmekte fakat kimyasal yapıları 19. yüzyılın sonuna kadar tanımlanamamıştır. 20. yüzyılın başlarında ise, flavonoidler ve ilgili maddeler birden fazla bitkide kimyasal olarak karakterize edilmiş ve laboratuvarda sentezlenmiştir (Perez-Vizcaino ve Fraga, 2018).

Narenciye flavonoidleri; antioksidan, anti-inflamatuar, kan lipid düşürücü ve kolesterol düşürücü olarak önemli farmakolojik etkilere sahiptir (Panche vd., 2016).

Flavonoidler arasında Antosiyaninler, flavanoller, flavonlar, flavanonlar, flavonoller ve izoflavonlar bulunur (He vd., 2025).

Antosiyaninler: Bitkilerde bulunan ve birçok meyvede, sebzede ve çiçekte renk verme özelliğine sahip pigmenttir. Flavonoid ailesinin önemli bir üyesi olan antosiyaninler, suda çözünebilen ve genellikle kırmızı, mavi ve mor tonlarında olan bileşiklerdir. Yaygın olarak antosiyanin içeren besinler; üzümler, yaban mersini, kırmızı lahana, mor havuç, vişne ve kırmızı elma sayılabilir. Bu bileşiklerin fazla miktarda bulunduğu bitkiler, genellikle koyu renkli ve mor tonlarında olur. Antosiyaninler, tezimizin konusu olan kan portakalında da bol miktarda bulunmaktadır. Kan portakalı, antosiyanin içeriği yüksek olan bir narenciye çeşididir ve bu portakal çeşidine asıl adını veren madde antosiyanindir. Bu bileşiklerin bitkilerdeki temel görevi, fotosentezde görev alan diğer bileşiklerin korunması, polinatörleri cezbetme ve zararlı UV ışınlarına karşı koruma sağlamaktır. Antosiyaninlerin kimyasal yapısı, aglikon (genellikle flavinyum iyonu) ve bir ya da daha fazla şeker molekülünden oluşan glikozit bir yapıya dayanır. Aglikon kısmı, antosiyaninlerin renklerini belirleyen ve bu bileşiklerin biyolojik aktivitelerine etki eden temel yapısıdır. Antosiyaninlerin kimyasal yapısında genellikle 2-phenylchromenyum yapısı ve hidrojen bağları yer almaktadır. Fenolik bileşikler, bitkilerin antioksidan özelliklerine ve sağlık üzerindeki olumlu etkilerine katkıda bulunur. Antosiyaninler, renk verme özelliklerinin yanı sıra, besleyici değerleri açısından da oldukça büyük öneme sahiptir. Antosiyaninler, yüksek antioksidan kapasiteye sahip olduğu için, bunların tüketilmesi insan sağlığı üzerinde doğrudan olumlu etkiler yaratır. Ayrıca, zengin vitamin (özellikle C vitamini) ve mineraller içermeleri insan sağlığı açısından da önemli biyolojik aktiviteler sergiler ve besin değeri bakımından önem taşır (Afacan ve Sönmezdağ, 2020; Bonner ve Varner, 2012).

Antosiyanin sentezi sitozolde gerçekleşir ve daha sonra oksidasyonu önlemek ve pigment görevi görmek için vakuole taşınır. Bu sentez, fenilalanin amonyak-liyaz (PAL), sinamat 4-hidroksilaz (C_4H), p-kumaroil-CoA (4-hidroksisinnamoil-CoA), kalkon sentaz, kalkon izomeraz, dihidroflavonol 4-redüktaz (DFR), antosiyanidin sentaz (ANS) ve UDP-glikoz flavonoid glukozil transferaz (UFGT) dahil olmak üzere birden fazla enzimin aktivasyonunu içerir. . Bu enzimlerin aktiviteleri, ifadelerini veya stabilitelerini artırabilen soğuk depolama sıcaklıklarla düzenlenebilir. Kan

portakallarındaki antosiyanin birikimini etkileyen bir diğer mekanizma ise, antosiyaninlerin biyosentezini aktive eden bir transkripsiyon faktörünü kodlayan ve Ruby adı verilen bir genin bulunmasıdır. Gen promotör bölgesindeki retrotranspozon soğuk stresi tarafından aktive edilir ve bu da Ruby ifadesinin ve antosiyanin biyosentezinin artmasına neden olur. Bu mekanizmalar, kan portakallarının meyve suyu keseciklerinde antosiyanin birikiminin artmasıyla sonuçlanır ve hasattan sonra onlara karakteristik renklerini ve sağlık yararlarını verir (Habibi vd., 2024).

Antosiyaninlerin biyoerişilebilirliği, antioksidan aktivitesi ve renk parametrelerine olan etkisi ile ilgili kırmızı turpla yapılan bir çalışmada, vakumlu dondurarak kurutma, vakumlu kurutma, sıcak hava kurutma, güneşte kurutma ve hava çarpmalı jet kurutma yöntemleri kullanılmış olup, antosiyanin profili incelenmiştir. Isı kullanılarak kullanılan kurutma yöntemleri, dokularda belirgin büzülmeler göstermiş; vakumlu dondurarak kurutma yöntemi ile taze kırmızı turpa en benzer şekil gözlemlenmiştir. Bunun sebebinin vakumlu dondurarak kurutma esnasında mikro yapısal stresin, sıcaklık gradyanının sınırlı olmasıyla birlikte daha az olduğu öngörülmektedir (Li vd., 2023). Antosiyanin miktarı zengin gıdalarda, gözle görülür renk değişimlerinin sebebi bu bileşenlerin moleküler yapısındaki değişiklikler olduğu bilinmektedir. (Cortez vd., 2017) Vakumlu dondurarak kurutma ile kurutulmuş kırmızı turpun toplam antosiyanin içeriği, diğer kurutma yöntemleri uygulanarak kurutulan kırmızı turpa göre daha yüksek olarak gözlemlenmiş olup kurutulmuş turpun renginin herhangi bir işlem görmemiş turpun rengine benzemesinin nedeni olarak düşünülmüştür (Li vd., 2023).

Kateşinler olarak bilinen flavanoller, bitkilerde doğal olarak bulunan, antioksidan özelliklere sahip renksiz bileşiklerdir (Türkmen, 2020). Flavanoller, çay (özellikle yeşil çay), kakao ve çikolata, meyveler (muz, elma, yaban mersini, şeftali ve armut) sebzeler ve şarapta yoğun şekilde bulunmaktadır (Belitz vd., 2009). Flavonoidleri biyosentezi için flavan-3,4-diol flavan-3-ol'e dönüştürülmekte olup, bu reaksiyon için indirgeyici ajan bulunduğunda katyonla reaksiyona girerek proantosiyanidin olarak isimlendirilen daha kompleks yapılar oluşturulmaktadır. Proantosiyanidinler meyvelerin buruk tadını oluşturmakta görevlidirler (Türkmen, 2020). Meyvenin sağlık üzerindeki olumlu etkisi içeriğindeki prosiyanidinler ile alakalı olduğu düşünülmektedir. Son çalışmalarda proantosiyanidinlerin kanseri önlemede kemopreventif ve antiinflamatuvar ajan görevi gördüklerini ve kardiyovasküler ölüm riskini azalttığını göstermektedir (De la Iglesia vd., 2010).

Flavonlar, flavonoidlerin önemli alt gruplarından olan; yapraklarda, çiçeklerde ve meyvelerde glikozitler olarak bulunan bir bileşiktir. Flavonların başlıca kaynakları kereviz, maydanoz, kırmızı biber, papatya, nane ve ginkgo bilobadır. Turunçgillerin (narenciyelerin) kabukları, polimetoksillenmiş flavonlar, tageretin, nobiletin ve sinensetin açısından zengindirler (Panche vd., 2016).

Flavanonlar, portakal, limon ve üzüm gibi neredeyse tüm turunçgillerde bulunan bir diğer önemli sınıftır. Hesperitin, naringenin ve eriodictyol, flavanon örneklerindendir. Ayrıca, serbest radikal temizleyici özellikleri nedeniyle bir dizi sağlık yararı ile ilişkilendirilirler. Aynı zamanda turunçgil meyvelerinin suyunun ve kabuğunun acı tadından sorumludur (Panche vd., 2016).

Flavonoller, flavonoidlerin keton grubu içeren alt grupları olarak tanımlanır. Flavonoller (kamferol, kuersetin, mirisetin) meyvelerde ve bitkilerin birçoğunda çiçek ve yapraklarında bulunan sarı renkli, az çözünen bileşiklerdir. Domates, elma, üzüm ve kirazgillerde yüksek miktarda flavonol bulunur (Türkmen, 2020).

İzoflavonlar bitkilerde sınırlı sayıda bulunmakta olup genistein ve daidzein türleri vardır. En fazla soya fasulyesi ve bezelyede görülmektedir (Türkmen, 2020). Bazı izoflavonların mikroplarda da mevcut olduğu bildirilmiştir olmakla birlikte bitki mikrop etkileşimleri sırasında fitoaleksinlerin gelişimi için öncül olarak önemli bir rol oynadıkları da yapılan çalışmalarda belirtilmiştir (Aoki vd., 2000).

Bu bileşiklerin her bir grubunun özel bir biyolojik aktivitesi vardır. Yapılan çalışmalarda, flavonoidler ve hidroksisinnamik asitler güçlü antioksidan özelliğe, antikarsinojenik aktiviteye ve serbest radikal temizleyici aktiviteye sahip olduğu belirtilmiştir (Kuljarachanan vd., 2009; Destani vd., 2013; Anagnostopoulou vd., 2006).

Fenolik bileşiklerin insan sağlığı üzerindeki etkileri, antioksidan, anti-inflamatuar, antimikrobiyal ve antikanserojenik aktiviteleri ile büyük öneme sahiptir. Bu bileşikler, serbest radikallerle savaşarak hücre hasarına ve birçok kronik hastalığa yol açan önemli bir biyolojik mekanizma olan oksidatif stresi azaltırlar ve DNA, protein ve lipidlerdeki oksidatif hasarı minimize ederler. Aynı zamanda bu bileşikler, antioksidan enzimlerin aktivitesini artırarak hücrelerin savunma mekanizmalarını güçlendirir. Fenolik bileşiklerin inflamasyon üzerinde de iltihaplanma yolaklarını inhibe etmek gibi önemli özellikleri vardır. Ayrıca bu bileşikler, damar duvarındaki iltihabı azaltarak, ateroskleroz gelişimini engeller ve kalp krizi ve inme gibi kardiyovasküler olayları

önler. Fenolik bileşiklerin LDL (düşük yoğunluklu lipoprotein) kolesterol seviyelerini düşürme yeteneğinin bulunması da damar sağlığının iyileşmesi için çok önemlidir. Kanser hücrelerinin büyümesini ve yayılmasını engellemekle birlikte, ayrıca kanser hücrelerinin apoptoz (programlanmış hücre ölümü) yoluyla yok olmasını teşvik edebilir. Bunun yanı sıra, kanser hücrelerinin genetik materyalini koruyarak DNA hasarını da azaltır. Son yıllarda Alzheimer ve Parkinson hastalıkları gibi dejeneratif hastalıkların tedavisinde de fenolik bileşiklerin rolü araştırılmaktadır. Bu bileşikler, beyin hücrelerini oksidatif stresten koruduğu ve nöroinflamasyonu azalttığı düşünülmektedir (Rahman vd., 2021; Zhang, 2015)

1.6 Tezin Amacı

Kan portakalı kırmızı dutsu meyve olduğu için biyoaktif bileşenler bakımından oldukça zengindir ancak hasat süresi kısadır. Bu nedenle hasat edildikten sonra muhafaza yöntemleri uygulanması hasat zamanı dışında da tüketimine olanak sağlamaktadır. En yaygın yöntemlerden biri olan sıcak hava kurutma yöntemi ile kurutulan ürünlerin biyoaktif bileşen ve renk kayıplarının fazla olmasından dolayı başka yöntemlerde tercih edilmektedir. Bu çalışmada kan portakalı meyvesi sıcak hava kurutma, vakum kurutma, dondurarak kurutma ve ultrases ön işlemli vakum kurutma işlemleri uygulanarak bu meyve için en verimli kurutma yönteminin belirlenmesi amaçlanmaktadır. Daha önceden bu yöntemler kullanılarak kan portakalı meyvesinde kurutma sonucunda kurutma sürelerindeki, biyoaktif toplam fenolik bileşenlerdeki, antioksidan kapasitesindeki, fenolik bileşenlerdeki, renk parametrelerindeki değişim üzerine bir çalışma yapılmamıştır. Bu çalışma ile literatüre katkı yapılması sağlanacaktır.

1.7 Hipotez

Kan portakalı biyoaktif bileşence zengin bir meyve olup son yıllarda kan portakalı ile yapılan çalışmalar giderek artmaktadır. Hasat zamanı kısıtlı olan bu tarz meyvelerin muhafazası için kurutma iyi bir yöntemdir. Ancak, yeni kurutma sistemlerinin geliştirilmesine ve var olanların iyileştirilmesine ihtiyaç duyulmaktadır. Sıcak hava ile kurutma çok yaygın olarak kullanılan bir kurutma çeşidi olmasına rağmen kurutma sürelerinin uzun saatler sürmesi ve biyoaktif bileşen kayıplarının yüksek olması vb. dezavantajları vardır. Bu yüzden alternatif kurutma yöntemleri ile çalışmalara ihtiyaç vardır. Vakum kurutma, vakum altında ve düşük sıcaklıklarda etkin kurutma

sağlayabildiği için tercih edilebilir. Bu yöntemin eksikliklerini gidermek amacıyla ultrases ön işlemi ile desteklenmesi gıdanın içerisindeki suyun mikrokanallar oluşturularak daha kolay çıkışını sağlamak için tercih edilebilir. Ultrases ön işlemli vakum kurutma ile daha düşük sürede daha verimli kurutma olacağı yapılan çalışmalarda görülmüştür. Diğer bir kurutma çeşidi olan dondurarak kurutma yönteminde gıda içerisindeki su süblimasyon yoluyla düşük sıcaklık ve vakum altında uzaklaştırılır. Bu kurutma yöntemi ile kurutulan ürünlerin rengi ve biyoaktif bileşenleri diğer yöntemlerle kıyasla daha iyi korunmaktadır. Bu kurutma çeşitlerinin sıcak hava ile kurutma yöntemine kıyasla kalite parametrelerinin daha iyi korunacağı düşünülmektedir. Bu çalışmanın en önemli amacı olan kan portakalı meyvelerinin daha az toplam fenolik madde ve fenolik bileşen kaybı ve daha yüksek antioksidan kapasiteyi sağlayan düşük kurutma süresine sahip ve ekonomik olan yöntemin belirlenmesi için kurutma süresi bakımından ise en verimli metodun ultrases ön işlemli vakum kurutma olacağı ve en az biyokatif bileşen kaybının dondurularak kurutma olacağı ancak dondurularak kurutmanın uzun kurutma sürelerinden ve yüksek kurulum maliyetinden dolayı ekonomik açıdan dezavantajlı olduğu düşünülmektedir.

2
MATERYAL VE YÖNTEM

2.1 Materyaller

Kan portakalı (Sanguinello cv. *Citrus sinensis* (L.) Osbeck), 2023 yılında Türkiye, Hatay, Arsuz'daki bir organik narenciye çiftliğinden temin edildi. Tedarik edildikten sonra, taze portakallar Yıldız Teknik Üniversitesi Gıda Kimyası Laboratuvarı'na taşındı ve kurutma işlemine kadar 4°C'de saklandı. Taze portakalların ilk nem içeriği, bir kızılötesi nem analizörü (Rad-wag, MA 50-R) kullanılarak %83,10±0,12 olarak ölçüldü. Kurutmadan önce, portakal örnekleri yıkandı, temizlendi ve 5 mm kalınlığında parçalara dilimlendi. Kurutulmuş dilimler, daha fazla analize kadar bütünlüklerini korumak için bir desikatörde saklandı. Çalışmada kullanılan tüm kimyasallar, HPLC dereceli metanol, etanol, asetonitril, ultra distile su, asetik asit, hekzan, NaCl, KOH, Folin-Ciocalteu fenol reaktifi, Na_2CO_3, 1,1-difenil-2-pikrilhidrazil (DPPH), $CuCl_2$, neocuproin ve NH_4Ac analitik derecedeydi. Kullanılan standartlar (gallik asit, protokateşuik asit, kateşin, 4-hidroksibenzoik asit, siringik asit, ellagik asit, m-kumarik asit, o-kumarik asit, krisin, kafeik asit, p-kumarik asit, ferulik asit, kuersetin, kaempferol, rutin, sinapik asit, klorojenik asit ve askorbik asit) da analitik derecedeydi. Bu kimyasallar ve standartlar Merck (Darmstadt, Almanya) veya Sigma-Aldrich'ten (St. Louis, ABD) satın alındı.

2.2 Yöntem

2.2.1 Kan Portakal Dilimlerinin Kurutulma Prosedürü

Kan portakalı dilimlerinin kurutulması sıcak hava kurutma (HAD), vakum kurutma (VD), ultrases ön işlemli vakum kurutma (UPVD) ve dondurarak kurutma (FD) kullanılarak gerçekleştirildi. HAD, VD ve UPVD için kurutma işlemleri 50 °C, 60 °C ve 70 °C'de gerçekleştirildi. Portakal dilimlerinin ağırlık kaybı HAD, VD ve UPVD

sırasında 30 dakikalık aralıklarla kaydedildi. Portakal dilimlerinin nem içeriği kuru madde başına 0,1 kg suya ulaşana kadar kurutmaya devam edildi.

Sıcak Hava Kurutma (HAD)

SHK işlemi, Testo 440 kanatlı prob anemometresi (Lutron, AM-4201, Tayvan) kullanılarak ölçülen 1,3 m/s sabit hava hızında gerçekleştirildi. Kurutma işlemi boyunca dilimlerin yüzeyi boyunca yatay hava akışı yönlendirildi.

Vakumlu Kurutma (VD)

VK, vakumlu kurutucu (Daihan WOV-30, Gangwondo, Güney Kore) kullanılarak gerçekleştirildi. 60 mbar nihai basınç ve 2 L/s pompa hızıyla vakumu korumak için bir vakum pompası (EVP 2XZ-2C, Zhejiang, Çin) kullanıldı.

Ultrason Ön İşlemli Vakumlu Kurutma (UPVD)

UÖVK yönteminde, kan portakalı dilimleri %100 genlikte, yaklaşık 1 W/cm² güç yoğunluğunda, 40 kHz frekansta ve 10 L kapasitede çalışan 30 dakikalık bir ultrason su banyosunda (Daihan, WUCD10H, Güney Kore) tutuldu. Daha sonra, kan portakalı dilimleri bir vakumlu kurutucuda (DaihanWOV-30, Gangwon-do, Kore Cumhuriyeti) kurutuldu.

Dondurarak Kurutma (FD)

DK, dondurarak kurutma makinesinde (Martin Christ, Beta 1–8 LSC plus) standart bir program kullanılarak gerçekleştirildi. Numuneler -80 °C'de donduruldu ve 72 saatlik bir süre boyunca işlendi.

2.2.2 Matematiksel Modelleme ve İstatistiksel Değerlendirme

Nem oranı (MR), denge nem içeriği (M_e) t zamanındaki nem içeriğine (M_t) veya başlangıç nem içeriğine (M_0) kıyasla ihmal edilebilir olduğundan, $(M_t-M_e)/(M_0-M_e)$ yerine M_t/M_0 olarak basitleştirildi. Bu bağlamda, M_t belirli bir zamandaki nem içeriğini, M_0 başlangıç nem içeriğini ve M_e denge nem içeriğini temsil eder.

Kurutma hızı (DR) eğrileri, birim zaman başına ağırlık kaybı miktarı (g nem/30 dk) olarak ifade edildi. Portakal dilimlerinin kuruma hızı (DR), Denklem 1 kullanılarak hesaplandı:

$$DR = \Delta M/\Delta t = (M_{t+\Delta t} - M)/\Delta t \quad (2.1)$$

Bu denklemde ΔM ağırlık değişimi, Δt zaman değişimi, M_t ve M_t+Δt sırasıyla t zamanındaki ve t+Δt zamanındaki ağırlıktır. Bu çalışmada, ağırlık değişimi her 30 dakikada bir kaydedildi, bu nedenle Δt 30 dakikadır ve DR 30 dakikadaki ağırlık kaybı (g/30 dakika) olarak ifade edildi.

Deneylerden elde edilen kurutma verileri, on bir farklı ince tabaka kurutma modeline uydurularak analiz edildi. Tablo 2.1.'de ayrıntılı olarak açıklanan bu modeller, doğrusal olmayan en küçük kareler regresyon analizi kullanılarak değerlendirildi. Burada y nem oranı; a, b, c ve n kuruma katsayıları ve k ise kuruma sabitidir.

Tablo 2.1 Kan portakallarının farklı yöntemlerle kurutulmasında elde edilen verilerin değerlendirilmesi için kullanılan ince tabaka kurutma kinetik modelleri

Model	Denklem	Kaynak
Demir et al.	y=a*exp(-k*x)^n+c	Kilic (2017)
Henderson and Pabis	y=a*exp(-k*x)	Henderson and Pabis (1962)
Lewis	y=exp(-k*x)	Lewis (1921)
Logarithmic	y=a*exp(-k*x)+c	Yagcioglu (1999)
Midilli and Kucuk	y=a*exp(-k*(x^n))+b*t	Midilli and Kucuk (2003)
Modified Page	y=exp(-((k*x)^n))	Toğrul and Pehlivan (2003)
Page	y=exp(-k*(x^n))	Page (1949)
Parabolic	y=a+b*x+c*x^2	Süfer et al. (2017)
Two-term exp	y=a*exp(-k*x)+(1-a)*exp(-k*a*x)	Ertekin and Yaldiz (2004)
Wang and Singh	y=1+a*x+b*x^2	Wang and Singh (1978)
Weibull	y=exp(-(x^a/b^a))	Corzo et al. (2008)

Model parametreleri ve R^2 değerleri, STATISTICA yazılım programı (StatSoft, Tulsa, ABD) kullanılarak yürütülen doğrusal olmayan regresyon analizi yoluyla belirlendi.

Her modelin kabul edilebilirliği, R^2 ve kök ortalama kare hatası (RMSE) değerlerine göre değerlendirildi. Daha yüksek bir R^2 değeri ve daha düşük bir RMSE değeri, iyi uyan bir modelin göstergesiydi. RMSE değerleri, aşağıdaki denklem kullanılarak hesaplandı (Batu ve Kadakal, 2021):

$$\mathrm{RMSE} = \left[\frac{1}{\mathrm{N}} \sum_{\mathrm{i=1}}^{\mathrm{N}} \left(\mathrm{MR}_{\mathrm{pre,i}} - \mathrm{MR}_{\mathrm{exp,i}} \right)^2 \right]^{1/2} \tag{2.2}$$

$$\mathrm{X}^2 = \frac{\sum_{i-1}^{N} \left(MR_{pre,i} - MR_{\mathrm{exp,i}} \right)^2}{\mathrm{N-m}} \tag{2.3}$$

(2.2) ve (2.3)'te, MR_{prei} tahmin edilen nem oranını temsil ederken, MR_{expi} deneysel olarak belirlenen nem oranını belirtir. N toplam gözlem sayısını ifade eder ve m modele dahil edilen sabit sayısını ifade eder.

2.2.3 Kurutma Eğrisinin Matematiksel Modellemesi ve Etkin Nem Difüzivitesi (D_{eff})

Kan portakallarının etkin nem difüzivitesi (D_{eff}), Fick'in ikinci yasası (2.4) kullanılarak hesaplandı:

$$\frac{\mathrm{M}}{\mathrm{t}} = \nabla \left[\mathrm{D}_{\mathrm{eff}} \left(\nabla \mathrm{M} \right) \right] \tag{2.4}$$

Bu denklem, küresel şekiller ve kararsız difüzyon koşulları varsayılarak aşağıdaki denklem olarak uyarlanmıştır:

$$MR = \frac{8}{\pi^2} \sum_{n=1}^{\infty} \frac{1}{(2n-1)^2} \exp\left(-(2n-1)^2 \pi^2 \frac{D_{eff}}{4L^2} t \right) \tag{2.5}$$

(2.5)'te, D_{eff} etkili nem difüzivitesini (m^2/s) temsil eder, L düzenli aralıklarla ölçülen portakal diliminin kalınlığıdır (m) ve n ince tabaka kurutma modellerinden türetilen sabittir. Uzun kurutma süreleri için, bu denklem (2.6)'te sunulan forma basitleştirilebilir.

$$ln\left(MR \right) = ln\left(\frac{8}{\pi^2} \right) - \left(\pi^2 \frac{D_{eff}}{4L^2} t \right) \tag{2.6}$$

D_{eff} değerleri, aşağıdaki denkleme göre zamana karşı ln (MR) ile ilgili deneysel kurutma verileri çizilerek düz bir çizginin eğimi (K) kullanılarak hesaplandı.

$$K = \frac{\pi^2 D_{eff}}{4L^2} \tag{2.7}$$

2.2.4 Toplam Enerji Tüketimi

Kurutma deneyleri sırasında enerji kullanımını izlemek için bir sokete dijital bir enerji ölçer (PeakTech 9035, Almanya) bağlandı. Kurutma sistemlerinin toplam enerji tüketimi, Başlar ve Ertugay (2013) tarafından açıklanan metodolojiye göre dehidratasyon işleminin tamamlanmasının ardından kaydedildi.

2.3 Analiz Yöntemleri

2.3.1 Ekstraksiyon

Taze ve kurutulmuş portakal örnekleri, 1:10 w/v oranında bir metanol-su çözeltisi (50:50, v/v) kullanılarak çıkarıldı. Portakal örneği karışımı, bir ultra-turrax homojenizatörü (Daihan, HG-15D) kullanılarak 2 dakika boyunca 10.000 rpm'de homojenleştirildi. Homojenleştirmenin ardından karışım, 25 °C'de 2 saat boyunca çalkalandı. Çalkalandıktan sonra karışım, 10 dakika boyunca 2800 g'de santrifüjlendi. Elde edilen üstteki sıvı daha sonra 0,45 μm'lik bir şırınga filtresinden (Goztepe vd., 2022) süzüldü.

2.3.2 Toplam Fenolik Miktarının (TFM) Belirlenmesi

TFM testi Singleton ve Rossi (1965) tarafından modifiye edilen yönteme göre gerçekleştirildi. 0,5 mL seyreltilmiş metanol portakal özütüne 2,5 mL Folin-Ciocalteu'nun fenol reaktifi (1:10 v/v) ve 2 mL Na_2CO_3 (7,5 g/100 g) eklendi. Karışım bir tüpte iyice karıştırıldı ve karanlık bir ortamda 30 dakika bekletildi. Daha sonra absorbans UV-Vis spektrofotometresi (Shimadzu UV-1800, Kyoto, Japonya) kullanılarak 760 nm'de ölçüldü. Toplam fenolik içerik gram kuru madde başına miligram gallik asit eşdeğeri (GAE) olarak ifade edildi (mg GAE/g DM).

2.3.3 Antioksidan Kapasitesinin Belirlenmesi

DPPH testi, Brand-Williams vd. (1995) tarafından açıklanan yönteme göre yürütüldü. 0,1 M metanolde taze bir DPPH (2,2-difenil-1-pikrilhidrazil) radikal çözeltisi hazırlandı. Seyreltilmiş numunenin 0,1 mL'sine 4,9 mL DPPH çözeltisi eklendi ve oda sıcaklığında karanlıkta 40 dakika inkübe edildi. Absorbans 515 nm'de ölçüldü ve sonuçlar numunenin litresi başına miligram Trolox eşdeğeri (TE) olarak bildirildi.

ABTS radikal katyon süpürme kapasitesi, Arnao ve ark. (1996) tarafından uygulanan yönteme göre küçük değişikliklerle değerlendirildi. İki mililitre ABTS çözeltisi, 100 µL özütle karıştırıldı ve 30 °C'de 6 dakika inkübe edildi. İnkübasyonun ardından, absorbans bir spektrofotometre (Shimadzu 150 UV-1800, Kyoto, Japonya) kullanılarak 734 nm'de okundu. Sonuçlar, 100 g kuru baz başına miligram Trolox eşdeğeri olarak ifade edildi (mg TE/100 g db).

2.3.4 Fenolik Bileşikler

Fenolik bileşikler, Turan vd. (2023) tarafından özetlenen yöntemi izleyerek bir diyot dizisi dedektörü (SPD-M20A DAD, Shimadzu, Japonya) ile donatılmış yüksek performanslı sıvı kromatografisi (HPLC) sistemi kullanılarak analiz edildi. Ekstraktlar analizden önce 0,45 µm'lik bir membran filtreden geçirildi. Ayırma, ters fazlı bir Athena C18-WP HPLC kolonu (250 mm × 4,6 mm, 5 µm partikül boyutu, CNW Technologies, Şanghay, Çin) üzerinde 40 °C'de gerçekleştirildi. Hareketli fazlar, Çözücü A'dan (0,1% asetik asit içeren damıtılmış su) ve Çözücü B'den (asetonitril) oluşuyordu. Gradyan elüsyon programı şu şekildeydi: 0 ila 2 dakika arasında %10 B, 2 ila 27 dakika arasında %10–%30 B, 27 ila 50 dakika arasında %30–%90 B ve 51 ila 60 dakika arasında %90–%100 B, 63. dakikada başlangıç koşullarına geri dönülmeden önce. Akış hızı 1 mL/dakikada tutuldu ve kromatogramlar 278, 320 ve 360 nm'de izlendi.

2.3.5 C Vitamini

Santrifüjlenmiş kan portakalı suyunun 1 mL'si 0,45 µm'lik bir filtreden (Millipore, Burlington, MA, ABD) geçirildi ve HPLC-DAD sistemine (Shimadzu, Japonya) enjekte edildi. Askorbik asit, bir Supelcogel TM C 610H kolonu (30 cm × 7,8 mm iç çap; Supelco, Inc., Bellefonte, PA, ABD) ve Supelguard kolonu (5 cm × 4,6 mm; Supelco, Inc.) üzerinde ayrıldı ve 210 nm'de ayarlanmış bir diyot dizisi dedektörü kullanılarak tespit edildi. Saf askorbik asit standartları için standart eğriler, kantifikasyon için

kullanıldı. Askorbik asitler için sonuçlar, 100 g başına mg konsantrasyonları ve Şekerler olarak ifade edildi ve üç kez belirlendi (Legua ve diğerleri, 2022).

2.3.6 Renk Değerleri

Hem taze hem de kurutulmuş kan portakalı örneklerinin renk değerleri bir kromametre (Konica Minolta CR-400, NJ, ABD) kullanılarak değerlendirildi. Renk parametreleri L* (açıklık/koyuluk), a* (kırmızılık/yeşillik) ve b* (sarılık/mavilik) olarak kaydedildi. Örneklerin toplam renk değişimi (ΔE) aşağıdaki formül kullanılarak hesaplandı:

$$\Delta E = \sqrt{(\Delta L^*)^2 + (\Delta a^*)^2 + (\Delta b^*)^2} \tag{2.8}$$

2.3.7 İstatistik analiz

İstatistiksel analiz STATISTICA yazılım programı (StatSoft, Inc., Tulsa, OK) kullanılarak gerçekleştirildi. Tüm deneyler üç kez tekrarlandı ve sonuçlar standart hatalarıyla birlikte ortalama değerler olarak ifade edildi. Test sonuçlarının ortalama değerlerini karşılaştırmak için tek yönlü ANOVA gerçekleştirildi. Farklı kurutma yöntemlerinin biyoaktif bileşikler, fenolik profildeki değişiklikler, C vitamini ve kan portakalı örneklerinin renk özellikleri üzerindeki etkisini değerlendirmek için %95 güven düzeyinde Duncan'ın çoklu karşılaştırma testi uygulandı.

3
BULGULAR VE TARTIŞMA

3.1 Kurutma Kinetiği

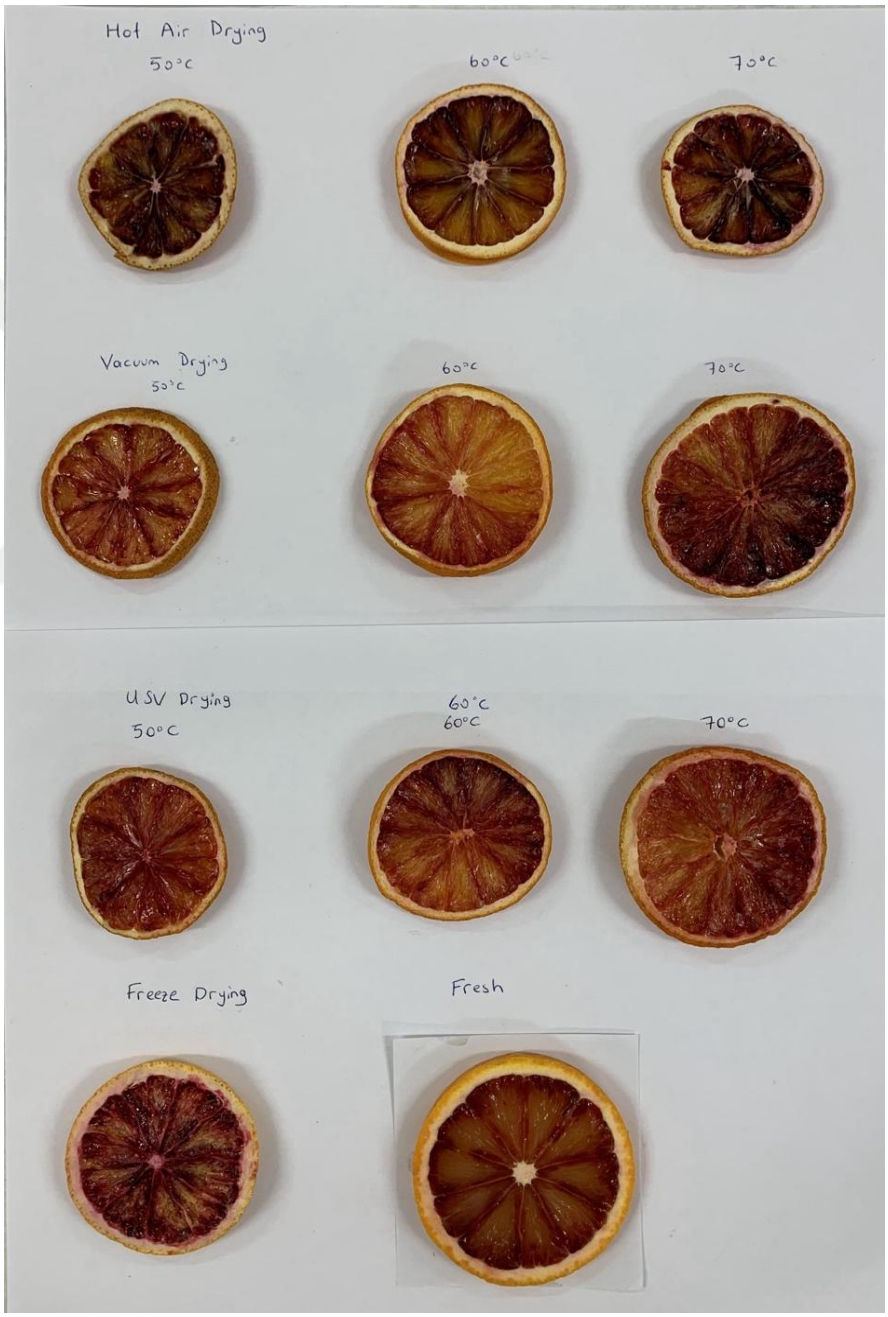
Taze kan portakalı dilimlerinin başlangıç nem içeriği 83,10 ± 0,26 olarak ölçüldü. Dilimler, ıslak bazda %10'luk son nem içeriğine ulaşacak şekilde kurutuldu. Kurutma, 50, 60 ve 70 °C'lik sıcaklıklarda HAD, VD ve UPVD yöntemleri kullanılarak ve ayrıca dondurarak kurutma yoluyla gerçekleştirildi. Kurutulan kan portakalı örneklerinin görsellerine Şekil 3.1'de yer verilmiştir. Kurutma süreleri, HAD için sırasıyla 22,5 saat, 12,5 saat ve 9 saat; VD için 11,5 saat, 9,5 saat ve 8,5 saat; UPVD için ise 50, 60 ve 70 °C'de sırasıyla 10 saat, 8,5 saat ve 7,5 saat olarak kaydedildi (Tablo 3.1). Kuruma süresinde, artan sıcaklıkla birlikte bir azalma gözlendi. Daha ileri analizler, ultrases ön işlemin kurutma sürelerini önemli ölçüde azalttığını ortaya koydu. Ultrasonun kurutma sürelerini en aza indirmedeki etkinliği, çeşitli meyvelerle ilgili diğer çalışmalarda da bildirilmiştir (Li vd., 2020; Akcicek vd., 2023; Turan vd., 2023).

Sıcak hava kurutma işleminde, dış ısı transferinin neden olduğu ürün sıcaklığındaki daha yavaş artış, iç nem hareketini engelleyerek kurutma süresini uzatır. Tersine, vakumlu kurutma sırasında, basınçtaki azalma, gıdanın içindeki suyun kaynama noktasını düşürür ve bu da yüzey buharlaşma oranını artırır.

Geleneksel yöntem olan sıcak hava kurutma yöntemi ile kurutulan mango meyvesine, vakum basıncı azaltılıp buharlaşmanın arttırılması işlemi uygulanmıştır. Sonuçlar, mango meyvesinin kurutulma süresinin yarıya indiğini, dokusunu ve hacmini iyileştirdiğini göstermiştir. Uygulanan bu yöntemin mango meyvesi için uygun özellikte olması ve kurutma süresini vakum basıncı azaltılarak iyileştirilebildiğini kanıtlamıştır (Labaky vd., 2024).

Ultrasesin vakumla birleştirilmesinin kurutma sürelerini önemli ölçüde azalttığı gösterilmiştir. Bu etki, meyve ve sebzelerin yapısı içinde mikroskobik boşluklar

oluşturan, suyun daha kolay giderilmesini sağlayan ve böylece kurutma sürecini kısaltan kavitasyona atfedilir. Diğer etki ise, nem ve mikrotüp arasındaki yapışmanın azaltılabildiği ve daha sonra nemin giderilmesinin hızlandırılabildiği ultrasonun neden olduğu mekanik etkidir (Liu vd., 2019). Ayrıca, ultrason tedavisi iç viskoziteyi azaltabilir ve ısı transfer katsayısını artırabilir (Chen vd., 2016). Ultrasonun son etkisi termal etkidir, termal etki sayesinde iç nem difüzyonu ve buharlaşması için faydalı olan biraz daha hızlı bir sıcaklık artışı sağlar (Li vd., 2020).



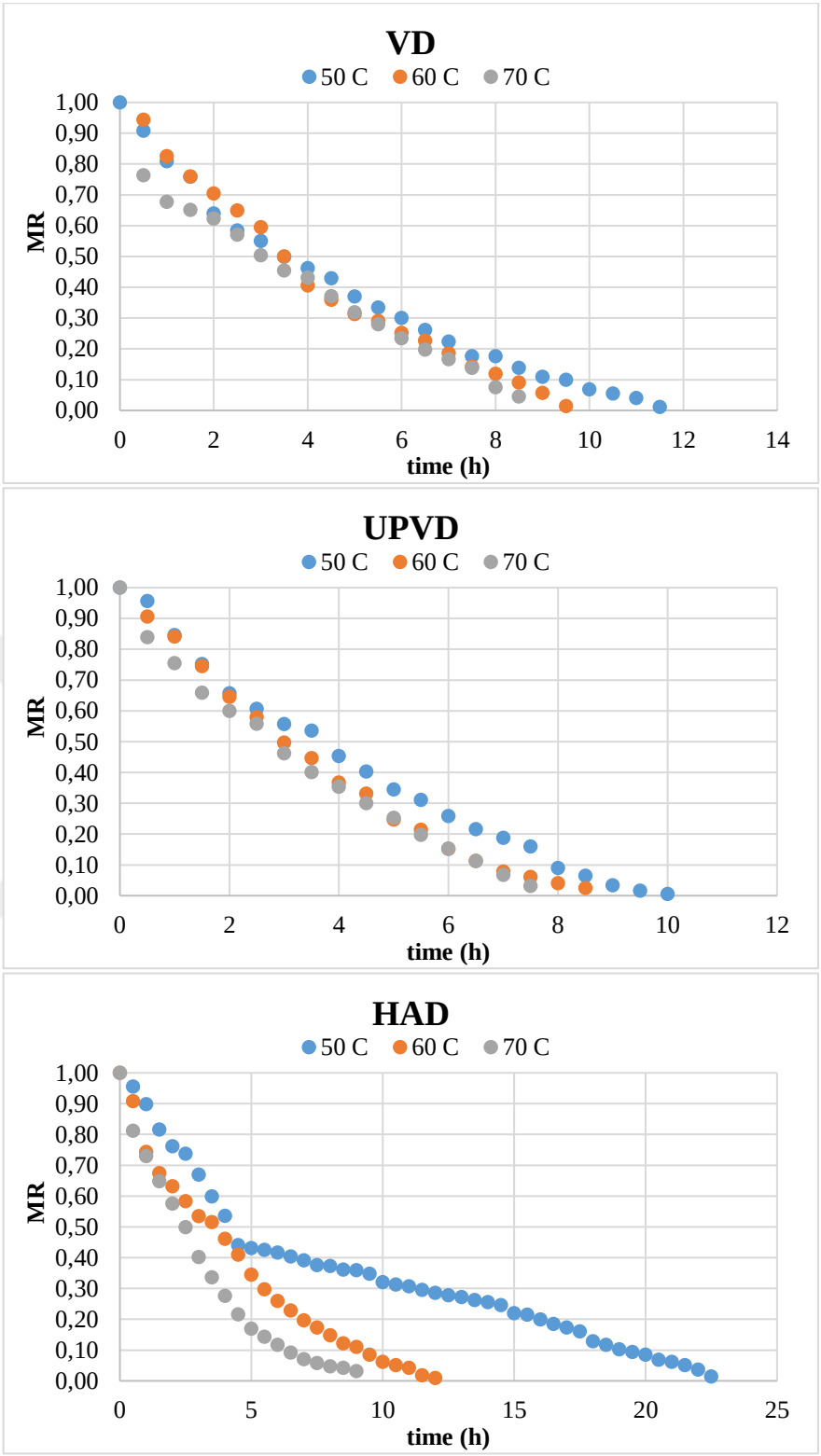
Şekil 3.1 Taze ve farklı yöntemleriyle kurutulmuş kan portakallarının görseli

Tablo 3.1 HAD, UPVD ve VD yöntemleri ile 50, 60 ve 70 °C'de kurutulan kan portakalı meyvelerinin kurutma süreleri (saat)

	50°C	**60°C**	**70°C**
HAD	**22.5**	**12.0**	**9.0**
UPVD	**10.0**	**8.5**	**7.5**
VD	**11.5**	**9.5**	**8.5**

3.2 Modelleme

Şekil 3.2, HAD, VD ve UPVD yöntemleriyle kurutulan kan portakalı dilimlerinin nem oranı (MR) ve zaman eğrileri için deneysel verileri göstermektedir. Kurutma yöntemlerinden bağımsız olarak, nem oranının (MR) kurutma süresiyle sürekli olarak azaldığı görülmektedir. Bu eğrilerde sabit bir hız periyodu yoktur, yalnızca azalan bir hız periyodu gözlemlenmektedir. MR değerleri, Tablo 2.1'de sunulan on bir modeli değerlendirmek için kullanılmıştır. 5 farklı kurutma yöntemini mango meyvesine uygulayan bir çalışmada, tüm kurutma yöntemleri için kurutma süresi arttıkça nem içeriği sürekli olarak azalır. Kurutma işlemi serbest suyun uzaklaşması esnasında hızlıydı, ancak daha sonra gıdanın içine hapsolmuş suyu uzaklaştırmak için kurutma yavaşladı. Bununla birlikte bağlı suyu uzaklaştırmak için daha çok enerji gerekti. Tüm kurutma süreci, azalan bir hız periyodu şeklinde gerçekleşti. Mikrodalga fırın ile kurutma esnasında moleküllerin titreşimi sonucu homojen ısınmaya neden olduğu için nem içeriği, diğer yöntemlere kıyasla daha kısa kurutma süresi göstermiştir (Singh vd., 2022).



Şekil 3.2 Farklı kurutma yöntemlerine ait nem oranının zamana bağlı değişimi

Tablo 3.2, 3.3 ve 3.4, kan portakalı dilimleri için tahmini model parametrelerini ve istatistiksel parametreleri sunmaktadır. İnce tabaka kurutma kinetiğini en iyi tanımlayan model, en yüksek R^2 değerlerine ve en düşük RMSE ve χ^2 değerlerine göre seçilmiştir. Tablo 3.2, 3.3 ve 3.4, sıcak hava kurutma, vakum kurutma ve ultrason ön işlemli vakum

kurutma yöntemleri ile 50, 60 ve 70 °C'de kurutulan kan portakalları için en iyi modelin sırasıyla 0,997 ile 0,998, 0,999 ile 1,000 ve 0,999 ile 1,000 arasında R^2 değerine sahip Logaritmik model olduğunu göstermektedir. Logaritmik model, Akdaş ve Başlar (2015) tarafından Mandarin için en iyi model olarak bildirilmiştir. Diğer on model, sıcak hava kurutma için 0,979 ile 0,998, vakum kurutma için 0,983 ile 1,000 ve ultrases ön işlemli vakum kurutma yöntemi için 0,982 ile 1,000 arasında modellerin yüksek belirleme sabiti (R^2) ile uyumluydu.

Mangonun kurutulması ile ilgili yapıla bir çalışmada, 7 farklı ince tabaka kurutma kinetiği modeli uygun görülmüş olup, uygulanan modellerin doğruluğunu belirlemek adına R^2 (0,947 ile 0,9989), RMSE (0,0087 ile 0,0681) ve χ^2 (0,0006 ile 0,0325) değerleri kontrol edilmiştir. Page, İki Terimli, Difüzyon ve Weibull modellerinin mango meyvesi için daha uygun olduğu belirtilmiştir (Singh vd., 2022).

Çapraz akışlı kurutucunun kullanıldığı bir çalışmada, ananas meyvesi krutulmuş olup, uygulanan modeller sonucunda R^2 değerlerinin 0,91 ile 0,99 arasında değişen değerler olduğu bilinmektedir. R^2 değerinin böyle yüksek sonuçlanması, doğru yöntem ve tahminlerin yapıldığını göstermektedir (Chokngamvong ve Suvanjumrat, 2023).

Modeller, R2'ye ek olarak düşük RMSE ve $\chi 2$ değerleri kullanılarak tanımlanmıştır. Logaritmik model için k değeri HAD kurutma için 50, 60 ve 70 °C'de sırasıyla 0,131, 0,166 ve 0,330 ve VD için 0,156, 0,156 ve 0,152 olarak belirlendi. Böylece vakum, daha düşük sıcaklıklarda artan su buharı basıncı nedeniyle suyun içeriden dışarıya hareketine yardımcı olur.

Tablo 3.2 HAD yöntemi ile 50, 60 ve 70 °C'de kurutulan kan portakalı meyvelerinin farklı kurutma modellerinden elde edilen parametreler ve istatistiksel veriler

Model	**Parametre**	**Sıcaklık**		
		50°C	**60°C**	**70°C**
Demir et al.	**a**	**0.918**	**1.111**	**1.175**
	k	**0.330**	**-0.411**	**-0.559**

Tablo 3.2 HAD yöntemi ile 50, 60 ve 70 °C'de kurutulan kan portakalı meyvelerinin farklı kurutma modellerinden elde edilen parametreler ve istatistiksel veriler (devamı)

Demir et al.	**n**	**0.396**	**-0.403**	**-0.480**
	c	**0.049**	**-0.144**	**-0.086**
	R^2	**0.983**	**0.997**	**0.998**
	RMSE	**0.0455**	**0.0212**	**0.0165**
	χ^2	**0.0023**	**0.0005**	**0.0003**
Henderson and Pabis	**a**	**0.943**	**1.006**	**1.015**
	k	**0.112**	**0.229**	**0.330**
	R^2	**0.982**	**0.993**	**0.995**
	RMSE	**0.0466**	**0.0343**	**0.0286**
	χ^2	**0.0023**	**0.0013**	**0.0009**
Lewis	**k**	**0.120**	**0.227**	**0.325**
	R^2	**0.979**	**0.993**	**0.995**
	RMSE	**0.0499**	**0.0344**	**0.0290**
	χ^2	**0.0025**	**0.0012**	**0.0009**
Logarithmic	**a**	**0.918**	**1.111**	**1.075**
	k	**0.131**	**0.166**	**0.330**
	c	**0.049**	**0.144**	**0.186**

Tablo 3.2 HAD yöntemi ile 50, 60 ve 70 °C'de kurutulan kan portakalı meyvelerinin farklı kurutma modellerinden elde edilen parametreler ve istatistiksel veriler (devamı)

Logarithmic	**R^2**	**0.983**	**0.997**	**0.998**
	RMSE	**0.0455**	**0.0212**	**0.0192**
	χ^2	**0.0022**	**0.0005**	**0.0004**
Midilli et al.	**a**	**0.959**	**1.035**	**1.314**
	k	**0.177**	**0.191**	**0.238**
	n	**0.809**	**0.842**	**1.203**
	b	**-0.00004**	**0.00003**	**0.708**
	t	**-0.00004**	**0.00003**	**0.446**
	R^2	**0.986**	**0.998**	**0.998**
	RMSE	**0.0406**	**0.0299**	**0.0183**
	χ^2	**0.0018**	**0.0011**	**0.0005**
Modified Page	**k**	**0.123**	**0.224**	**0.319**
	n	**0.845**	**1.083**	**1.127**
	R^2	**0.986**	**0.994**	**0.997**
	RMSE	**0.0411**	**0.0319**	**0.0222**
	χ^2	**0.0018**	**0.0011**	**0.0004**
Page	**k**	**0.170**	**0.198**	**0.276**

Tablo 3.2 HAD yöntemi ile 50, 60 ve 70 °C'de kurutulan kan portakalı meyvelerinin farklı kurutma modellerinden elde edilen parametreler ve istatistiksel veriler (devamı)

Page	**n**	**0.845**	**1.083**	**1.127**
	R^2	**0.986**	**0.994**	**0.997**
	RMSE	**0.0411**	**0.0319**	**0.0222**
	χ^2	**0.0018**	**0.0011**	**0.0006**
Parabolic	**a**	**0.877**	**0.937**	**0.957**
	c	**0.002**	**0.006**	**0.014**
	b	**-0.072**	**-0.148**	**-0.224**
	R^2	**0.970**	**0.996**	**0.998**
	RMSE	**0.0598**	**0.0251**	**0.0163**
	χ^2	**0.0038**	**0.0004**	**0.0001**
Two Term Exp	**a**	**0.219**	**1.544**	**1.625**
	k	**0.276**	**0.413**	**0.435**
	R^2	**0.988**	**0.994**	**0.997**
	RMSE	**0.2646**	**0.1535**	**0.0905**
	χ^2	**0.0016**	**0.0010**	**0.0005**
Wang & Singh	**a**	**-0.094**	**-0.169**	**-0.242**
	b	**0.002**	**0.007**	**0.015**

Tablo 3.2 HAD yöntemi ile 50, 60 ve 70 °C'de kurutulan kan portakalı meyvelerinin farklı kurutma modellerinden elde edilen parametreler ve istatistiksel veriler (devamı)

Wang & Singh	**R^2**	**0.955**	**0.993**	**0.997**
	RMSE	**0.0735**	**0.0339**	**0.0227**
	χ^2	**0.0057**	**0.0012**	**0.0006**
Weibull	**a**	**0.845**	**1.083**	**1.127**
	b	**8.114**	**4.456**	**3.138**
	R^2	**0.986**	**0.994**	**0.997**
	RMSE	**0.0411**	**0.0319**	**0.0222**
	χ^2	**0.0018**	**0.0011**	**0.0006**

Tablo 3.3 VD yöntemi ile 50, 60 ve 70 °C'de kurutulan kan portakalı meyvelerinin farklı kurutma modellerinden elde edilen parametreler ve istatistiksel veriler

Model	**Parametre**	**Sıcaklık**		
		50°C	**60°C**	**70°C**
Demir et al.	**a**	**1.149**	**1.391**	**1.352**
	k	**-0.419**	**-0.436**	**-0.389**
	n	**-0.372**	**-0.358**	**-0.392**
	c	**-0.164**	**-0.371**	**-0.390**
	R^2	**0.999**	**0.999**	**0.998**

Tablo 3.3 VD yöntemi ile 50, 60 ve 70 °C'de kurutulan kan portakalı meyvelerinin farklı kurutma modellerinden elde edilen parametreler ve istatistiksel veriler (devamı)

Demir et al.	**RMSE**	**0.0165**	**0.0152**	**0.0161**
	χ^2	**0.0003**	**0.0003**	**0.0003**
Henderson and Pabis	**a**	**1.027**	**1.078**	**1.013**
	k	**0.221**	**0.286**	**0.286**
	R^2	**0.994**	**0.987**	**0.998**
	RMSE	**0.0470**	**0.0489**	**0.0399**
	χ^2	**0.0025**	**0.0027**	**0.0018**
Lewis	**k**	**0.215**	**0.265**	**0.282**
	R^2	**0.993**	**0.983**	**0.990**
	RMSE	**0.0532**	**0.0565**	**0.0402**
	χ^2	**0.0030**	**0.0034**	**0.0017**
Logarithmic	**a**	**1.149**	**1.391**	**1.352**
	k	**0.156**	**0.156**	**0.152**
	c	**-0.164**	**-0.371**	**-0.390**
	R^2	**0.999**	**0.999**	**0.998**
	RMSE	**0.0165**	**0.0152**	**0.0161**
	χ^2	**0.0003**	**0.0003**	**0.0003**

Tablo 3.3 VD yöntemi ile 50, 60 ve 70 °C'de kurutulan kan portakalı meyvelerinin farklı kurutma modellerinden elde edilen parametreler ve istatistiksel veriler (devamı)

Midilli et al.	**a**	**0.966**	**0.969**	**4.663**
	k	**0.149**	**0.135**	**0.054**
	n	**1.194**	**1.449**	**0.723**
	b	**0.0000004**	**-0.000015**	**2.890**
	t	**0.0000004**	**-0.000015**	**-1.268**
	R^2	**0.996**	**0.998**	**1.000**
	RMSE	**0.0314**	**0.0192**	**0.0313**
	χ^2	**0.0013**	**0.0005**	**0.0014**
Modified Page	**k**	**0.211**	**0.259**	**0.279**
	n	**1.131**	**1.374**	**1.140**
	R^2	**0.996**	**0.998**	**0.993**
	RMSE	**0.0320**	**0.0213**	**0.0343**
	χ^2	**0.0011**	**0.0005**	**0.0013**
Page	**k**	**0.172**	**0.186**	**0.233**
	n	**1.131**	**1.374**	**1.140**
	R^2	**0.996**	**0.998**	**0.993**
	RMSE	**0.0320**	**0.0213**	**0.0343**

Tablo 3.3 VD yöntemi ile 50, 60 ve 70 °C'de kurutulan kan portakalı meyvelerinin farklı kurutma modellerinden elde edilen parametreler ve istatistiksel veriler (devamı)

Page	**χ^2**	**0.0011**	**0.0005**	**0.0013**
Parabolic	**a**	**0.957**	**1.012**	**0.951**
	c	**0.006**	**0.010**	**0.009**
	b	**-0.146**	**-0.198**	**-0.186**
	R^2	**0.998**	**0.999**	**0.998**
	RMSE	**0.0184**	**0.0106**	**0.0187**
	χ^2	**0.0004**	**0.0001**	**0.0004**
Two Term Exp	**a**	**1.621**	**1.890**	**1.636**
	k	**0.273**	**0.394**	**0.364**
	R^2	**0.996**	**0.997**	**0.993**
	RMSE	**0.0341**	**0.0257**	**0.0332**
	χ^2	**0.0013**	**0.0007**	**0.0013**
Wang & Singh	**a**	**-0.160**	**-0.193**	**-0.212**
	b	**0.007**	**0.009**	**0.011**
	R^2	**0.996**	**0.999**	**0.996**
	RMSE	**0.0185**	**0.0115**	**0.0264**
	χ^2	**0.0004**	**0.0001**	**0.0008**

Tablo 3.3 VD yöntemi ile 50, 60 ve 70 °C'de kurutulan kan portakalı meyvelerinin farklı kurutma modellerinden elde edilen parametreler ve istatistiksel veriler (devamı)

Weibull	**a**	**1.131**	**1.374**	**1.140**
	b	**4.732**	**4.865**	**3.585**
	R^2	**0.996**	**0.998**	**0.993**
	RMSE	**0.0320**	**0.0213**	**0.0343**
	χ^2	**0.0011**	**0.0005**	**0.0013**

Tablo 3.4 UPVD yöntemi ile 50, 60 ve 70 °C'de kurutulan kan portakalı meyvelerinin farklı kurutma modellerinden elde edilen parametreler ve istatistiksel veriler

Model	**Parametre**	**Sıcaklık**		
		50°C	**60°C**	**70°C**
Demir et al.	**a**	**1.149**	**1.391**	**2.004**
	k	**-0.419**	**-0.436**	**-0.301**
	n	**-0.372**	**-0.358**	**-0.304**
	c	**-0.164**	**-0.371**	**-0.989**
	R^2	**0.999**	**0.999**	**0.999**
	RMSE	**0.0137**	**0.0195**	**0.0114**
	χ^2	**0.0002**	**0.0005**	**0.0002**

Tablo 3.4 UPVD yöntemi ile 50, 60 ve 70 °C'de kurutulan kan portakalı meyvelerinin farklı kurutma modellerinden elde edilen parametreler ve istatistiksel veriler (devamı)

Henderson and Pabis	**a**	**1.027**	**1.078**	**1.087**
	k	**0.221**	**0.286**	**0.272**
	R^2	**0.994**	**0.987**	**0.982**
	RMSE	**0.0314**	**0.0356**	**0.0576**
	χ^2	**0.0011**	**0.0014**	**0.0038**
Lewis	**k**	**0.215**	**0.265**	**0.248**
	R^2	**0.993**	**0.983**	**0.976**
	RMSE	**0.0327**	**0.0448**	**0.0666**
	χ^2	**0.0011**	**0.0021**	**0.0047**
Logarithmic	**a**	**1.149**	**1.391**	**2.004**
	k	**0.156**	**0.156**	**0.091**
	c	**-0.164**	**-0.371**	**-0.989**
	R^2	**0.999**	**0.999**	**0.999**
	RMSE	**0.0137**	**0.0195**	**0.0114**
	χ^2	**0.0002**	**0.0005**	**0.0002**
Midilli et al.	**a**	**0.966**	**0.969**	**0.968**
	k	**0.149**	**0.135**	**0.108**

Tablo 3.4 UPVD yöntemi ile 50, 60 ve 70 °C'de kurutulan kan portakalı meyvelerinin farklı kurutma modellerinden elde edilen parametreler ve istatistiksel veriler (devamı)

Midilli et al.	**n**	**1.194**	**1.450**	**1.559**
	b	**0.0000004**	**-0.00001**	**0.00006**
	t	**0.0000004**	**-0.00001**	**0.00006**
	R^2	**0.996**	**0.998**	**0.997**
	RMSE	**0.0243**	**0.0176**	**0.0233**
	χ^2	**0.0007**	**0.0004**	**0.0008**
Modified Page	**k**	**0.211**	**0.259**	**0.247**
	n	**1.131**	**1.374**	**1.464**
	R^2	**0.996**	**0.998**	**0.997**
	RMSE	**0.0256**	**0.0207**	**0.0255**
	χ^2	**0.0007**	**0.0005**	**0.0007**
Page	**k**	**0.172**	**0.156**	**0.129**
	n	**1.131**	**1.374**	**1.464**
	R^2	**0.996**	**0.998**	**0.997**
	RMSE	**0.0256**	**0.0207**	**0.0255**
	χ^2	**0.0007**	**0.0005**	**0.0007**
Parabolic	**a**	**0.957**	**1.012**	**1.014**

Tablo 3.4 UPVD yöntemi ile 50, 60 ve 70 °C'de kurutulan kan portakalı meyvelerinin farklı kurutma modellerinden elde edilen parametreler ve istatistiksel veriler (devamı)

Parabolic	**c**	**0.006**	**0.010**	**-0.178**
	b	**-0.146**	**-0.198**	**0.006**
	R^2	**0.998**	**0.999**	**0.999**
	RMSE	**0.0191**	**0.0241**	**0.0104**
	χ^2	**0.0004**	**0.0007**	**0.0001**
Two Term Exp	**a**	**1.621**	**1.889**	**1.943**
	k	**0.273**	**0.394**	**0.386**
	R^2	**0.996**	**0.997**	**0.995**
	RMSE	**0.0250**	**0.0217**	**0.0320**
	χ^2	**0.0007**	**0.0005**	**0.0012**
Wang & Singh	**a**	**-0.160**	**-0.193**	**-0.171**
	b	**0.007**	**0.009**	**0.005**
	R^2	**0.996**	**0.999**	**0.999**
	RMSE	**0.0246**	**0.0245**	**0.0117**
	χ^2	**0.0007**	**0.0007**	**0.0002**
Weibull	**a**	**1.131**	**1.374**	**1.464**
	b	**4.733**	**3.865**	**4.042**

Tablo 3.4 UPVD yöntemi ile 50, 60 ve 70 °C'de kurutulan kan portakalı meyvelerinin farklı kurutma modellerinden elde edilen parametreler ve istatistiksel veriler (devamı)

Weibull	**R^2**	**0.996**	**0.998**	**0.997**
	RMSE	**0.0256**	**0.0207**	**0.0255**
	χ^2	**0.0007**	**0.0005**	**0.0007**

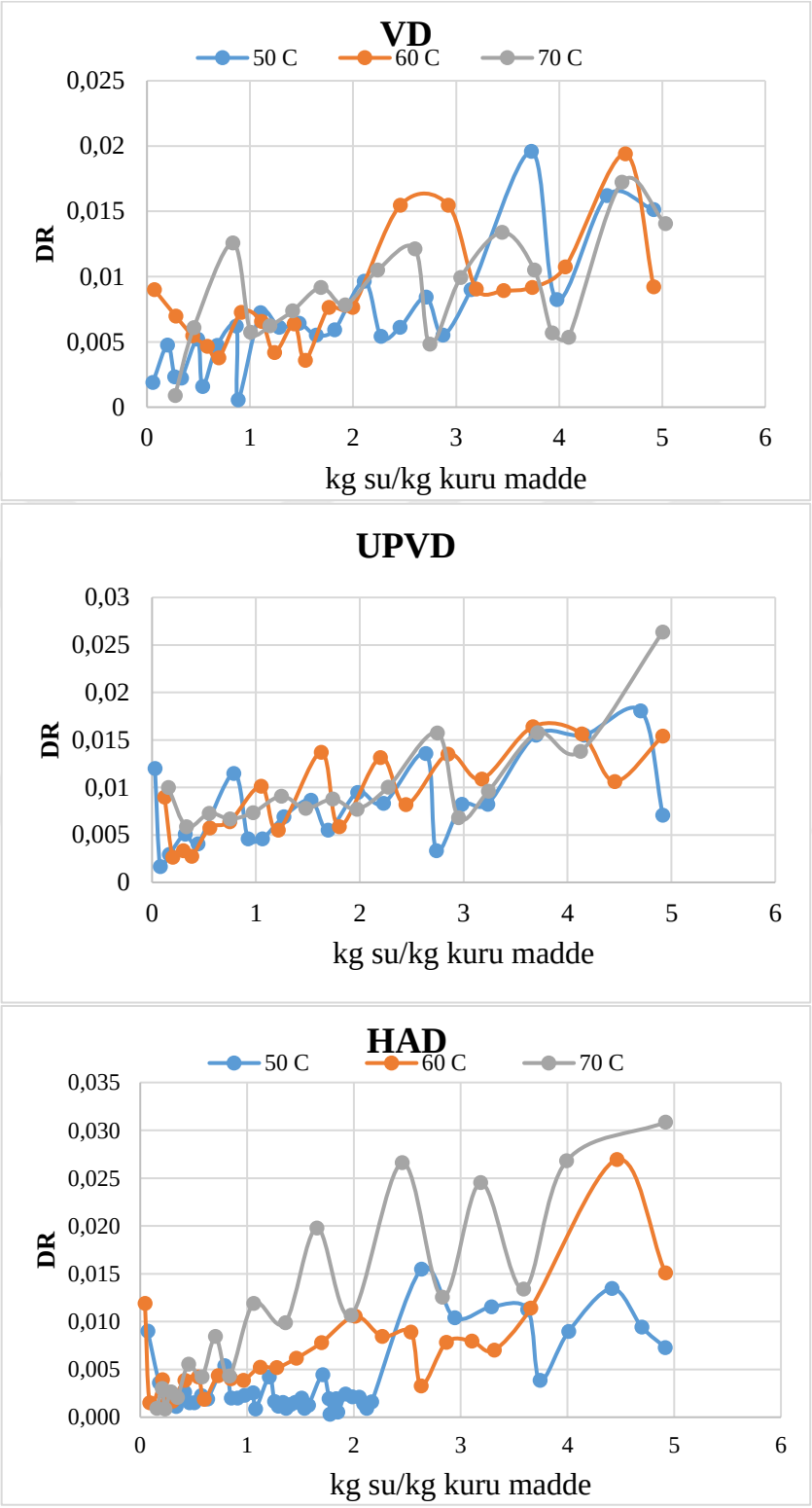
3.3 Toplam Enerji Tüketimi

Enerji tüketimi kurutma yöntemlerine göre değişir ve kurutma sistemlerinde kurutma sıcaklığı sıcaklık arttıkça azalır. Bu çalışmada, toplam enerji tüketimi sıcak hava kurutmada 0.163 kWh ila 0.266 kWh, vakumlu kurutmada 0.196 kWh ila 0.286 kWh, UPVD kurutmada 0.298 kWh ila 0.372 kWh arasında değişmiştir. UPVD kurutma kullanılarak kurutulan numunelerin toplam enerji tüketimi diğer kurutma yöntemlerine kıyasla daha yüksekti; ancak, UPVD kurutma kullanılarak kurutma süreleri daha kısaydı, bu nedenle UPVD kurutma daha ekonomik olarak kabul edilebilirdi. Geleneksel yöntem ile kurutulan mango meyvesi için birim hacim başına enerji tüketimi miktarı 0,05 ila 0,34 kWh/L arasında değişmekte iken, vakumlu dondurarak kurutma yönteminde 4,0 ila 20,0 kWh/L arasında değişmektedir. Kurutma yöntemleri kıyaslandığında, vakumlu dondurarak kurutma yönteminin sıcak hava kurutma yöntemine göre daha düşük enerji tüketimi olduğu görülmektedir (Lin vd., 2023).

3.4 Kurutma Hızı

Çoğu gıdanın farklı sabit kurutma koşulları altında kurutulması, genellikle azalan hız periyodunda farklı şekillerde eğriler verecektir (Bonner ve Varner, 2012; Zahoor vd., 2023). Gıdaların hücre yapısı hasar görürse, sabit kurutma hızı periyodunda da eğriler verebilirler (An vd., 2024). Kurutma hızı ultrasonik işlemle iyileştirilebilir çünkü ultrason, basınç dalgalarının mekanik etkileriyle birlikte zayıflama ve adsorpsiyon sayesinde ısıtmanın pozitif etkilerini sağlar (Zhu vd., 2021). Bu grafiklerde görüldüğü gibi, UPVD kurutma kullanılarak elde edilen kurutma hızı değerleri, ultrasonik pozitif etkiler nedeniyle düşen hız periyodunda genellikle diğer kurutma kullanılarak elde edilenlerden daha yüksekti (Şekil 3.3). Ayrıca, kurutma hızı değerleri tüm kurutma

yöntemlerinde sıcaklık arttıkça artmıştır. Bu, denge nem içeriğine ulaşmak için malzemenin kurutulması için daha kısa bir süre gerektiği anlamına gelir.



Şekil 3.3 Kuruma hızı, kg su/kg kuru madde

3.5 Etkin Nem Difüzivitesi

Bu çalışmada, tüm kurutma işlemlerinde D_{eff} artan sıcaklıkla birlikte artmıştır. Kurutulmuş numunelerin D_{eff} değerleri HAD kurutma, VD kurutma ve UPVD kurutma için sırasıyla $2.82*10^{-5}$'ten, $9.08*10^{-6}$ m^2*s^{-1}'e, $2.96*10^{-5}$'ten $2.60*10^{-5}$ m^2*s^{-1}'e ve $2.99*10^{-5}$'ten $2.20*10^{-5}$ m^2*s^{-1}'e değişmiştir. Tablo 3.5'te tüm dört kurutma yöntemi ve tüm sıcaklıklar için D_{eff} değerleri ve toplam enerji tüketimi değerleri gösterilmektedir. UPVD ile kurutulmuş numunelerin D_{eff} değerleri diğer yöntemlerle kurutulmuş numunelerin D_{eff} değerlerinden daha yüksektir. Tablo 3.5'te sunulan verilerden, kan portakalı numunelerinin nem içeriğinin su moleküllerinin hızlı buharlaşmasıyla D_{eff} 'in sıcaklık arttıkça arttığı açıktır. Doymaz (2006) sırasıyla nane yaprakları ve kanalizasyon çamurları için etkili nem yayılma katsayısının artan sıcaklıkla arttığını bulmuşlardır. Ea değerleri yayılma katsayısının sıcaklığa karşı korelasyonunu göstermektedir. Ea değerleri arttığında, kan portakalların görünen yayılma katsayısının sıcaklığa karşı korelasyonu artar. Ea ile difüzyonu kolaylaştırmak için gereken enerji arasında doğrudan bir korelasyon vardır. Daha az Ea gerektiğinde, difüzyonu kolaylaştırmak için daha az enerji gerekir. Gupta vd. (2002), önceden işlenmiş kırmızı biberleri bir tepsi kurutucusu kullanarak 55, 60, 65 ve 70 °C'de kuruttular ve ağartma ve Arap zamkı (akasya zamkı) çözeltisi ile önceden işlenmiş numuneler için Ea değerlerinin sırasıyla 41,95 ve 41,06 kJ mol^{-1} olduğunu belirlediler. Kaleemullah ve Kailappan (2006) ince tabaka kurutucusu kullanılarak 50, 55, 60 ve 65 °C'de kurutulan numunelerin Ea ve D_{eff} değerlerinin sırasıyla 37,76 ve 3,78–7,10 9 10^{-9} m^2 s^{-1} olduğunu bildirdiler. Literatür taramasında, nem yayılma sabitinin 25-80 °C'de 5,86 9 10^{-11} ile 1,16 9 10^{-8} m^2 s^{-1} arasında değiştiği ve Ea'nın 12,7 ile 110,0 kJ mol^{-1} arasında değiştiği bulundu.

Tablo 3.5 Kan portakalının kuruma süresi, kuruma hızı, etkili nem yayılımı ve toplam enerji tüketimi

Kurutma Yöntemi	**Sıcaklık (°C)**	**Kurutma Süresi (h)**	**DR*** **(h^{-1})**	**D_{eff}** ** **(m^2/s)**	**Toplam Enerji Tüketimi (kW·h)**
HAD	**50**	**22.5**	**0,044**	**$9.08*10^{-6}$**	**0.163**

Tablo 3.5 Kan portakalının kuruma süresi, kuruma hızı, etkili nem yayılımı ve toplam enerji tüketimi (devamı)

HAD	**60**	**12.0**	**0,083**	**$2.32*10^{-5}$**	**0.209**
	70	**9.0**	**0,108**	**$2.82*10^{-5}$**	**0.266**
VD	**50**	**11.5**	**0,082**	**$2.60*10^{-5}$**	**0.196**
	60	**9.5**	**0,115**	**$2.96*10^{-5}$**	**0.235**
	70	**8.5**	**0,130**	**$2.96*10^{-5}$**	**0.286**
UPVD	**50**	**10.0**	**0,104**	**$2.20*10^{-5}$**	**0.298**
	60	**8.5**	**0,118**	**$2.90*10^{-5}$**	**0.333**
	70	**7.5**	**0,135**	**$2.99*10^{-5}$**	**0.372**

3.6 Taze ve Kurutulmuş Kan Portakallarının Biyoaktif Özellikleri

3.6.1 Toplam Fenolik İçerik ve Antioksidan Kapasite

Taze kan portakalı dilimlerinin ve 50, 60 ve 70 °C'de HAD, VD ve UPVD ile kurutulmuş ve dondurarak kurutulmuş kan portakalı dilimlerinin DPPH ve ABTS yöntemleriyle belirlenen TPC değerleri ve antioksidan kapasite değerleri Tablo 3.6' da gösterilmiştir. Taze kan portakalı diliminin TPC değeri 154,25 mg GAE/100g'dır. Kurutulmuş kan portakalı dilimleri arasında en yüksek TPC değeri FD kurutulmuş kan portakalı dilimlerine aittir (131,27 mg GAE/100g). 50 °C'de UPVD ile kurutulmuş örneklerin (128,77 mg GAE/100g DM) TPC sonucu FD kurutulmuş örneklere yakındır. Tekin-Cakmak vd. (2021) ve Goztepe vd. (2022), aynı kurutma yöntemleriyle kurutulmuş bazı kırmızı meyvelerin FD kurutulmuş örneklerde en yüksek TPC değerlerine sahip olduğunu bildirmiştir. TPC' nin korunması, FD işleminin karakteristik özelliği olan düşük sıcaklık ve vakum koşullarına atfedilir. Benzer şekilde, Tunus patlıcanları üzerinde yapılan araştırmalar, farklı kurutma tekniklerinin kurutma

özelliklerini ve biyoaktif bileşiklerini nasıl etkilediğini incelemiştir. Chouaibi vd. (2021), hem dondurarak kurutmanın hem de ultrason destekli kurutmanın ürün bozulmasını en aza indirdiğini göstererek benzer çalışmalardan elde edilen bulguları desteklemektedir. Kurutma sırasında hücrelerden salınan bileşenlerin çıkarılmasını kolaylaştıran kavitasyon oluşumu, UPVD tekniği ile kurutulan örneklerinin yüksek TPC değeriyle ilişkilidir. Fenolik bileşenlerin bozunması ve numunelerin antioksidan aktivitesinin azalması, termal işlemler ve oksidatif işlemler tarafından ortaya çıkarılmış olabilir (Taskin vd., 2024). UPVD yöntemi ile kurutulan meyvelerin antioksidan kapasitesi, TPC sonuçlarında olduğu gibi HAD ile kurutulan numunelerden daha yüksektir. Bu sonuçlar, UPVD yönteminin HAD yöntemine alternatif bir yöntem olabileceğini göstermektedir.

50, 55 ve 60 °C' lerde ön işlem olarak çözeltiye daldırılan ananas örneklerinin kurutulması ile ilgili yapılan çalışmada, taze ananas örneğindeki β-karoten miktarı %87,65 (1,84 μg/100 g) olarak ölçülmüştür. Uygulanan ön işlemin daha derişik olması, daha fazla β-karoten tutulumuna neden oldu. Ön işlem için kullanılan çözeltilerinin gıdanın hücre yüzeyinde oluşturduğu oksijen bariyeri sayesinde oksidasyonun geciktirebildiği tahmin edilmektedir. Kan portakalı meyvesinde bulunan antosiyanin gibi, ananas meyvesinde bulunan karotenoid, yüksek sıcaklık ile çift bağların geçişini uyarır ve renkte bozulmalar meydana gelebilir (Zzaman vd., 2021).

3.6.2 C Vitamini

Güçlü antioksidan özellikleriyle tanınan vitaminler, mineraller ve fenolikler gibi farklı kimyasal bileşenlerin konsantrasyonları, turunçgillerin kalitesini etkiler (Zou vd., 2016). Taze meyve suyunda, vitaminler arasında askorbik asit olarak ölçülen yüksek seviyelerde C vitamini bulunur (Cebadera-Miranda vd., 2019). C vitamini kan portakalı açısından zengindir; aslında Moro ve Tarocco, diğer birçok kan portakalı çeşidinden daha yüksek bir C vitamini konsantrasyonuna sahiptir ve meyve suyunda 0,50 ila 0,80 g/kg bulunur (Rapisarda vd., 1999). Hem taze hem de kurutulmuş kan portakalı dilimlerinin C vitamini içeriği de Tablo 3.6'da gösterilmiştir. Taze kan portakalı dilimlerinin C vitamini seviyesi 55,32 mg/100 g iken, kurutulmuş kan portakalı dilimlerinin C vitamini içeriği 29,79 ila 49,01 mg/100 g'dır ve bu diğer çalışmalarda bulunanlara oldukça benzerdir (Ordóñez-Díaz vd., 2020; Legua vd., 2022).

Mango meyvesinin kurutulmasında 3 farklı yöntem olarak sıcak hava kurutma, uzak kızılötesi kurutma ve vakum işlemi ile birlikte dondurarak kurutma yöntemleri, kan portakalına uyguladığımız gibi 50, 60, 70 °C' de uygulanmış olup, 7 mm kalınlığında dilimlenmiş olan mango örneklerinin 50°C' de askorbik asit miktarları, sıcak hava kurutmada 57.48 ± 2.30, uzak kızılötesi kurutmada 69.03 ± 3.47 ve vakumlu dondurarak kurutma yönteminde 86.54 ± 13.60(mg/100 g) şeklinde ölçülmüştür. Askorbik asit miktarının ortamın oksijenine ve sıcaklığına göre değiştiği kabul edilmiştir (Lin vd., 2023).

Tablo 3.6 Taze ve kurutulmuş kan portakalının toplam fenolik içeriği, antioksidan aktiviteleri ve C vitamini içeriği

		50°C	**60°C**	**70°C**
	TPC (mg GAE/100g)			
Fresh	**154.25±4.65**			
FD	**131.27±0.41**			
HAD		**107.08±0.27**	**87.99±0.41**	**44.00±1.90**
VD		**122.24±1.08**	**112.36±1.49**	**59.70±0.0.27**
UPVD		**128.77±0.95**	**108.16±1.08**	**65.25±2.03**
		50°C	**60°C**	**70°C**
	DPPH (mg TE/100g)			
Fresh	**7380.01±16.44**			
FD	**7339.09±8.84**			
HAD		**5083.67±36.81**	**4705.49±6.69**	**2249.00±46.85**

Tablo 3.6 Taze ve kurutulmuş kan portakalının toplam fenolik içeriği, antioksidan aktiviteleri ve C vitamini içeriği (devamı)

VD		**5990.63±20.08**	**5123.83±36.81**	**4434.40±50.20**
UPVD		**6907.63±46.85**	**5950.476.69**	**4926.3753.55**
		50°C	**60°C**	**70°C**
	ABTS (mg TE/100g)			
Fresh	**242.67±7.03**			
FD	**225.46±0.35**			
HAD		**162.93±6.67**	**139.74±3.16**	**118.31±2.81**
VD		**185.76±0.70**	**153.80±1.76**	**129.56±1.41**
UPVD		**218.08±4.22**	**192.79±7.03**	**169.60±2.11**
	Vitamin C (mg/100g)			
Fresh	**55.32±0.45**			
FD	**49.01±0.21**			
HAD		**36.19±0.14**	**33.60±0.35**	**29.79±0.18**
VD		**44.81±0.30**	**41.40±0.25**	**37.55±0.29**
UPVD		**46.10±0.08**	**44.82±0.44**	**41.63±0.20**

Taikor meyvesinin kurutulmasında, toplam fenolik ve flavonoid içerikleri hesaplandığında ön işlem uygulanmış 70 °C'de kurutulan numune en çok kayıp (3.94±0.06 mg/100 g) gösterirken, 50 °C'de kurutulan ve ön işlem görmüş numunede en

az kayıp(12.03±0.05 mg/100 g) görülmüştür. Toplam flavonoid içeriğindeki bu azalma miktarları sıcaklık değerlerin farklılığıyla değişmektedir. Daha yüksek sıcaklık uygulanan meyvelerde, yüksek ısının etkisiyle flavonoidlerin parçalanmasına sebep oluyor olabilir. Sıcaklığın artmasıyla birlikte hücre duvarının parçalanması, oksidatif enzimlerin salgılanmasına neden olmakta, dolayısıyla meyvenin antioksidan aktivitesini azaltmaktadır (Hossain vd., 2024).

3.7 Fenolik Bileşikler

Tablo 3.7, farklı kurutma yöntemlerinin bireysel fenolik bileşikler üzerindeki etkisini göstermiştir. Ferulik asit (2442.164 µg/100g kuru ağırlık) ve kateşin (1796.558 µg/100g kuru ağırlık), taze numunelerde en yaygın fenolik maddeler olarak belirlenmiştir. Kateşin seviyeleri, polifenol oksidaz enzimi, asit ve ısı ile oksidasyona duyarlı oldukları için tüm kurutulmuş örneklerde daha düşüktü (Tablo 3.7). Test edilen standartlar arasında kurutulmuş örneklerde ana fenolik bileşik olarak gallik asit belirlendi, bunu protokatekuik asit, rutin, kateşin ve klorojenik asit izledi, ancak bu örnekten örneğe farklılık gösterdi. Kurutma tekniklerinin fenolik bileşiklerin dağılımı üzerindeki etkisinin önemli olduğu bulundu ($p < 0,05$). HAD yöntemi, belirlenen tüm fenolik bileşiklerin miktarında bir azalmaya neden oldu. HAD gallik asit miktarında bir azalmaya neden olurken, diğer tüm kurutma yöntemleri ciddi bir artışa neden oldu.

Tropik bir meyve olan mango meyvesi ile yapılan bir kurutma işleminde, sıcak hava kurutma işlemine uygulanan vakum işlemi ile fenolik içerik ve antioksidan kapasitesi ile ilgili yapılan analizlerde 9 kat ve 11 kat iyileşme tespit edilmiştir (Labaky vd., 2024).

Tablo 3.7 Taze ve kurutulmuş kan portakalının fenolik bileşikleri (µg/100g kuru ağırlık)

	FRESH	FD	HAD			VD			UPVD		
			50°C	60°C	70°C	50°C	60°C	70°C	50°C	60°C	70°C
4-Hydroxybenzoic acid	698.384	679.661	617.872	530.046	415.985	665.501	548.873	449.317	687.720	563.045	464.280
Gallic acid	694.133	663.086	586.187	506.159	386.882	608.642	563.000	420.385	630.301	585.626	458.424
Protocatechuic acid	90.007	76.274	50.086	34.536	29.728	60.823	52.608	51.665	81.743	87.068	59.782
Caffeic acid	773.416	741.618	645.529	566.257	412.475	665.606	537.631	402.346	696.803	545.505	405.051
Chlorogenic acid	874.063	828.764	807.190	629.639	469.726	824.394	719.540	570.502	887.985	733.310	588.280
Ferulic acid	2442.164	2307.669	1723.559	1586.942	1223.456	1927.890	1884.938	1645.212	2142.062	1922.387	1633.186

Tablo 3.7 Taze ve kurutulmuş kan portakalının fenolik bileşikleri (µg/100g kuru ağırlık) (devamı)

o-coumaric acid	**315.635**	**300.019**	**236.401**	**200.192**	**114.675**	**276.441**	**227.648**	**130.081**	**272.344**	**231.669**	**143.211**
p-coumaric acid	**902.509**	**910.730**	**835.561**	**726.757**	**622.768**	**853.823**	**773.700**	**651.752**	**876.964**	**757.289**	**683.279**
Sinapic acid	**569.698**	**547.795**	**439.647**	**387.185**	**265.075**	**459.391**	**354.217**	**295.903**	**498.377**	**339.098**	**259.853**
Ellagic acid	**1137.644**	**1075.601**	**814.108**	**756.400**	**529.044**	**911.640**	**844.927**	**708.886**	**980.226**	**860.551**	**731.712**
Syringic acid	**419.783**	**313.852**	**151.958**	**127.316**	**73.126**	**135.800**	**122.398**	**118.860**	**137.515**	**112.840**	**111.849**
Chrysin	**698.898**	**684.894**	**604.188**	**400.100**	**241.552**	**630.269**	**568.110**	**451.798**	**670.510**	**550.835**	**452.889**
Catechin	**1796.558**	**1407.770**	**1046.529**	**885.411**	**874.530**	**1264.428**	**1088.181**	**892.293**	**1279.250**	**1284.575**	**856.867**
Myricetin	**278.920**	**249.728**	**222.309**	**236.662**	**240.596**	**251.575**	**209.775**	**228.150**	**240.286**	**245.611**	**253.958**
Quercetin	**265.783**	**219.296**	**182.930**	**146.665**	**127.057**	**152.290**	**125.304**	**108.828**	**178.698**	**134.023**	**106.376**
Rutin	**380.074**	**374.675**	**194.474**	**179.055**	**129.941**	**255.517**	**186.065**	**106.053**	**244.775**	**150.100**	**139.097**

3.8 Renk

Kurutulmuş ürünlerin tüketici kabulünü etkileyen en önemli yönü ürün rengidir. Tablo 3.8'da taze ve kurutulmuş kan portakalı dilimlerinin renk özellikleri gösterilmektedir. Taze kan portakalı dilimlerinin L*, a* ve b* değerleri sırasıyla 54.07, 18.35 ve 16.11 iken, kurutulmuş kan portakalı dilimlerinin L* değerleri 40.44'ten 52.70'e, a* değerleri 9.90'dan 19.38'e, b* değerleri ise 5.11'den 15.38'e değişmektedir. Dondurarak kurutma ile kurutulan kan portakalı dilimlerinin L*, a* ve b* değerleri kurutulmuş kan portakalı dilimleri arasında en yüksek olup taze kan portakalı dilimlerinin L*, a* ve b* değerlerine daha yakındır. Dondurarak kurutma yöntemi ile kurutulan kan portakalı dilimlerinin L*, a* ve b* değerlerini 50 °C'de UPVD yöntemi ile kurutulanlar izlemektedir. Bazı araştırmacılara göre (Kayacan vd., 2022; Tekin vd., 2018; Turan vd., 2023), kurutma sırasında oluşan renk değişimleri UPVD yöntemi ile önlenebilmektedir. Turan vd. (2023), sıcak hava ile kurutulan örneklerle karşılaştırıldığında UPVD ile kurutulan goji meyveleri için daha yüksek L*, a* ve b* değerleri bildirmiştir. Kurutulmuş örneklerdeki L* değerindeki azalma, öncelikle kurutma işlemleri sırasında kaçınılmaz olan Maillard reaksiyonları ve enzimatik olmayan esmerleşmeden kaynaklanmaktadır (Bejar vd., 2011). Dahası, kurutma, şekerler ve çözünür pigmentler gibi Maillard reaksiyonu için önemli substratları tüketerek kurutulmuş örneklerin a* değerinin azalmasına yol açabilir (Xiao vd., 2009).

Sıcak hava kurutma yöntemi ile kurutulmuş olan mango küplerine, vakuma basınçsızlaştırma adı verilen bir işlem daha uygulanmış olup, renk değerleri analiz edildiğinde sıcak hava kurutma yöntemi ile elde edilen mango küplerinin renginin vakuma basınçsızlaştırma işlemi ilave edilen mango küplerin rengine kıyasla daha turuncu bir renk elde edilmiştir. Bunun sebebinin vakum etkisiyle gıdanın içindeki suyun daha kısa sürede uzaklaşması ve sınırlı oksijenin varlığı olduğu düşünülmektedir (Labaky vd., 2024). Taikor meyvesinin kurutulması için seçilen yöntemin ultrason ve daldırma ön işlemlerinin kombine olarak kullanıldığı bir çalışmada, taze taikor meyvesi en yüksek L* değerine (43,72 ± 0,03) sahipken, 70 °C'de kurutulmuş ve glikozla muamele edilmiş meyve örneklerinde en düşük değer (33,79 ± 0,12) görülmüştür. Yüksek sıcaklıklarda hızlanan Maillard (esmerleşme) reaksiyonları, yüksek sıcaklık uygulandığında L* değerlerinin azalmasının başlıca sebebi olduğu düşünülmektedir.

Bu olay, kan portakalı çalışmasında da görüldüğü gibi yüksek sıcaklıklara maruz kalmanın sonucu oluşabilmektedir (Hossain vd., 2024).

Tablo 3.8 Taze ve kurutulmuş kan portakalının renk parametreleri

	FRESH	FD	HAD			VD			UPVD		
			50 °C	60 °C	70 °C	50°C	60°C	70°C	50°C	60°C	70°C
L*	54.07±0.61	52.70±0.16	44.48±0.25	43.20±0.10	40.44±0.07	49.75±0.13	47.57±0.31	42.51±0.09	46.73±0.16	43.42±0.26	42.14±0.09
a*	18.35±0.14	19.38±0.41	14.80±0.10	12.46±0.19	9.90±0.18	17.64±0.04	16.34±0.02	14.97±0.09	19.35±0.23	18.72±0.08	17.57±0.31
b*	16.11±0.02	15.38±0.26	12.17±0.15	9.98±0.54	5.11±0.12	14.34±0.28	12.26±0.15	6.74±0.20	14.14±0.15	12.71±0.18	7.51±0.12

4
SONUÇ

Meyve ve sebzelerin sadece yılın belirli dönemlerinde hasat edilmesi, onlara her mevsim ulaşabilmeyi zorlaştırmaktadır. Ürünlerin dört mevsim kullanılabilmesi için çeşitli muhafaza teknikleri uygulanmaktadır. Bu çalışmada, sıcak hava kurutmaya alternatif metodlar araştırılmıştır. Taranmış olan literatürlerden elde edilen sonuçların birbirinden farklı olması, örnek numunelerin, mevsim, iklim, çevre koşulları, ortam şartları, depolama koşulları gibi faktörlerden etkilenerek farklı sonuçlar ortaya çıkardığı düşünülmektedir. Her sonuç aşağıda değerlendirilmiştir. Kurutma süresinin kısa olması zamandan ve maliyetten tasarruf sağlamaktadır.

Bu çalışma, farklı kurutma yöntemlerinin kan portakallarındaki kurutma süresi, biyoaktif bileşikler ve fiziksel ve renk değişimi üzerindeki etkilerini göstermiştir. UPVD, VD, HAD' den daha az kurutma süresi ve daha fazla biyoaktif bileşen ve C vitamini tutulumu göstermiştir. Ek olarak, UPVD, VD ve HAD' den daha az renk değişimi ve büzülme oluşumuna neden olmuştur. En yüksek biyoaktif bileşik tutulumu FD ile kurutulan örneklerden elde edilirken, FD’ ye en yakın sonuçlar UPVD ile kurutulan örneklerde görülmüştür. Bu çalışma, UPVD' nin düşük kurutma süresi, örneklerde daha az renk ve fiziksel değişime sebep olması ve daha yüksek biyoaktif bileşik tutulumu nedeniyle kan portakalı meyvesinin kurutulmasında diğer yöntemlere göre başarıyla kullanılabileceğini göstermektedir.

KAYNAKÇA

Acar, J., & Gokmen, V. (2000). Meyve ve sebze teknolojisi (Meyve ve sebze suyu üretim teknolojisi). Hacettepe Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Yayinları, Ankara, 225s.

Afacan, F. Ö., & Sönmezdağ, A. S. (2020). ANTOSİYANİNLERİN BESLENMEDEKİ ÖNEMİ VE SAĞLIK ÜZERİNE ETKİLERİ. Karya Journal of Health Science, 1(1), 19-24.

Agudelo, C., Barros, L., Santos-Buelga, C., Martínez-Navarrete, N., & Ferreira, I. C. (2017). Phytochemical content and antioxidant activity of grapefruit (Star Ruby): A comparison between fresh freeze-dried fruits and different powder formulations. LWT, 80, 106-112.

Ai, Z., Xiao, Z., Liu, M., Zhou, L., Yang, L., Huang, Y., ... & Rao, H. (2024). Evaluation of innovative drying technologies in Gardenia jasminoides Ellis drying considering product quality and drying efficiency. Food Chemistry: X, 24, 102052.

Akcicek, A., Avci, E., Tekin-Cakmak, Z. H., Kasapoglu, M. Z., Sagdic, O., & Karasu, S. (2023). Influence of different drying techniques on the drying kinetics, total bioactive compounds, anthocyanin profile, color, and microstructural properties of blueberry fruit. ACS omega, 8(44), 41603-41611.

Akdaş, S., & Başlar, M. (2015). Dehydration and degradation kinetics of bioactive compounds for mandarin slices under vacuum and oven drying conditions. Journal of Food Processing and Preservation, 39(6), 1098-1107.

An, J., Wicaksana, F., Liu, P., & Woo, M. W. (2024). Optimizing Infrared Wavelengths in Food Drying: A Comprehensive Review of Standalone and Combined Techniques. Food Control, 110991.

An, J., Xie, H., Yan, J., Wei, H., Wu, Y., & Liao, X. (2024). A review of applications of energy analysis: Grain, fruit and vegetable drying technology. Energy Reports, 12, 5482-5506.

Anagnostopoulou, M. A., Kefalas, P., Papageorgiou, V. P., Assimopoulou, A. N., & Boskou, D. (2006). Radical scavenging activity of various extracts and fractions of sweet orange peel (Citrus sinensis). Food chemistry, 94(1), 19-25.

Aoki, T., Akashi, T., & Ayabe, S. I. (2000). Flavonoids of leguminous plants: structure, biological activity, and biosynthesis. Journal of Plant Research, 113(4), 475.

Arslan, A., & Alibaş, İ. (2024). Assessing the effects of different drying methods and minimal processing on the sustainability of the organic food quality. Innovative Food Science & Emerging Technologies, 103681.

Assad, T., Naseem, Z., Wani, S. M., Sultana, A., Bashir, I., Amin, T., ... & Nayik, G. A. (2025). Impact of ultrasound assisted pretreatment and drying methods on quality characteristics of underutilized vegetable purslane. Ultrasonics Sonochemistry, 112, 107194.

Başlar, M., & Ertugay, M. F. (2013). The effect of ultrasound and photosonication treatment on polyphenoloxidase (PPO) activity, total phenolic component and colour of apple juice. International journal of food science & technology, 48(4), 886-892.

Batu, H. S., & Kadakal, Ç. (2021). Drying characteristics and degradation kinetics in some parameters of goji berry (Lycium Barbarum L.) fruit during hot air drying. Italian Journal of Food Science.

Bejar, A. K., Kechaou, N., & Mihoubi, N. B. (2011). Effect of microwave treatment on physical and functional properties of orange (Citrus sinensis) peel and leaves.

Belitz, H. D., Grosch, W., & Schieberle, P. (2009). 18 Fruits and Fruit Products.

Bhattacharjee, S., Mohanty, P., Sahu, J. K., & Sahu, J. N. (2024). A critical review on drying of food materials: recent progress and key challenges. International Communications in Heat and Mass Transfer, 158, 107863.

Bonner, J., & Varner, J. E. (Eds.). (2012). Plant biochemistry. Elsevier.

Cebadera-Miranda, L., Domínguez, L., Dias, M. I., Barros, L., Ferreira, I. C., Igual, M., ... & Cámara, M. (2019). Sanguinello and Tarocco (Citrus sinensis [L.] Osbeck): Bioactive compounds and colour appearance of blood oranges. Food Chemistry, 270, 395-402.

Ceballos, A. M., Giraldo, G. I., & Orrego, C. E. (2012). Effect of freezing rate on quality parameters of freeze dried soursop fruit pulp. Journal of food engineering, 111(2), 360-365.

Chen, Z. G., Guo, X. Y., & Wu, T. (2016). A novel dehydration technique for carrot slices implementing ultrasound and vacuum drying methods. Ultrasonics sonochemistry, 30, 28-34.

Chokngamvong, S., & Suvanjumrat, C. (2023). Study of drying kinetics and activation energy for drying a pineapple piece in the crossflow dehydrator. Case Studies in Thermal Engineering, 49, 103351.

Chouaibi, M., Snoussi, A., Attouchi, S., & Ferrari, G. (2021). Influence of drying processes on bioactive compounds profiles, hydroxymethylfurfural, color parameters, and antioxidant activities of Tunisian eggplant (Solanum melongena L.). Journal of Food Processing and Preservation, 45(6), e15460.

Cin, M., & Palazoğlu, T. K. (2024). Microwave-vacuum drying behavior of rosehips: Experimental investigation and mathematical modeling. Food and Humanity, 3, 100459.

Ciurzyńska, A., Janowicz, M., Karwacka, M., Galus, S., Kowalska, J., & Gańko, K. (2022). The effect of hybrid drying methods on the quality of dried carrot. Applied Sciences, 12(20), 10588.

Cortez, R., Luna-Vital, D. A., Margulis, D., & Gonzalez de Mejia, E. (2017). Natural pigments: stabilization methods of anthocyanins for food applications. Comprehensive Reviews in Food Science and Food Safety, 16(1), 180-198.

Corzo, O., Bracho, N., Pereira, A., & Vásquez, A. (2008). Weibull distribution for modeling air drying of coroba slices. LWT-Food Science and Technology, 41(10), 2023-2028.

Çetin, N., Ropelewska, E., & Sabanci, K. (2023). The innovative approach to the assessment of differences in image textures between windfall apple samples dried using non-thermal and thermal techniques without and with ultrasound pretreatment. Expert Systems with Applications, 232, 120917.

De la Iglesia, R., Milagro, F. I., Campión, J., Boqué, N., & Martínez, J. A. (2010). Healthy properties of proanthocyanidins. Biofactors, 36(3), 159-168.

Destani, F., Cassano, A., Fazio, A., Vincken, J. P., & Gabriele, B. (2013). Recovery and concentration of phenolic compounds in blood orange juice by membrane operations. Journal of Food Engineering, 117(3), 263-271.

Doymaz, I. (2006). Thin-layer drying behaviour of mint leaves. Journal of Food Engineering, 74(3), 370-375.

Edo, G. I., Nwachukwu, S. C., Ali, A. B., Yousif, E., Jikah, A. N., Zainulabdeen, K., ... & Essaghah, A. E. A. (2024). A review on the composition, extraction and applications of phenolic compounds. Ecological Frontiers.

Egas-Astudillo, L. A., Martínez-Navarrete, N., & Camacho, M. M. (2020). Impact of biopolymers added to a grapefruit puree and freeze-drying shelf temperature on process time reduction and product quality. Food and Bioproducts Processing, 120, 143-150.

Ertekin, C., & Yaldiz, O. S. M. A. N. (2004). Drying of eggplant and selection of a suitable thin layer drying model. Journal of food engineering, 63(3), 349-359.

Fufa, D. D., Bekele, T., Tamene, A., & Bultosa, G. (2025). Drying kinetic models, thermodynamics, physicochemical qualities, and bioactive compounds of avocado (Persea americana Mill. Hass variety) seeds dried using various drying methods. Heliyon, 11(1).

Getahun, E., & Ebissa, D. T. (2024). Investigation of optimal drying conditions of red chili peppers in a hot air cabinet dryer. Case Studies in Thermal Engineering, 59, 104586.

Goztepe, B., Kayacan, S., Bozkurt, F., Tomas, M., Sagdic, O., & Karasu, S. (2022). Drying kinetics, total bioactive compounds, antioxidant activity, phenolic profile, lycopene and β-carotene content and color quality of Rosehip dehydrated by different methods. LWT, 153, 112476.

Guo, Q., Zhang, M., Mujumdar, A. S., & Yu, D. (2024). Drying technologies of novel food resources for future foods: Progress, challenges and application prospects. Food Bioscience, 104490.

Gupta, P., Ahmed, J., Shivhare, US, & Raghavan, GSV (2002). Kırmızı biberin kurutma özellikleri. Kurutma teknolojisi , 20 (10), 1975-1987.

Habibi, F., García-Pastor, M. E., Puente-Moreno, J., Garrido-Auñón, F., Serrano, M., & Valero, D. (2023). Anthocyanin in blood oranges: A review on postharvest approaches for its enhancement and preservation. *Critical Reviews in Food Science and Nutrition*, *63*(33), 12089-12101.

Habibi, F., Shahid, M. A., Spicer, R. L., Voiniciuc, C., Kim, J., Gmitter Jr, F. G., ... & Sarkhosh, A. (2024). Postharvest storage temperature strategies affect anthocyanin levels, total phenolic content, antioxidant activity, chemical attributes of juice, and physical qualities of blood orange fruit. Food Chemistry Advances, 4, 100722.

Hasibuan, R., Haryanto, B., binti Nafsun, A. I., Pramananda, V., Siregar, F. F., & Fazillah, R. (2025). Drying of red ginger slices using tray dryer integrated with pyrolysis reactor as a heat source: Evaluation on the drying characteristics, red ginger quality, and drying kinetics. Case Studies in Chemical and Environmental Engineering, 11, 101055.

He, S., Weng, Y., Huang, L., Cheng, Q., Wang, J., Tong, H., & Chen, Y. (2025). Flavonoids and their correlation with key microbiota analysis reveals the quality of Pu-erh tea head. LWT, 215, 117211.

Henderson, S. M., & Pabis, S. (1962). Grain drying theory: IV. The effect of air flow rate on the drying index. Journal of Agricultural Engineering Research, 7(2), 85-89.

Hossain, M. A., Talukder, S., Zaman, A. U., Sarkar, A., Yasin, M., & Biswas, R. (2024). Effective drying processes for Taikor (Garcinia pedunculata Roxb.) fruit by ultrasound-assisted osmotic pretreatment: Analysis of quality and kinetic models. Ultrasonics Sonochemistry, 103, 106784.

Huang, Y., Sun, Y., Mehmood, A., Lu, T., & Chen, X. (2024). Unraveling the temporal changes of Maillard reaction products and aroma profile in coffee leaves during hot-air drying. Journal of Food Composition and Analysis, 128, 106055.

Jiang, D. L., Shirkole, S. S., Ju, H. Y., Niu, X. X., Xie, Y. K., Li, X. Y., ... & Xiao, H. W. (2025). An improved infrared combined hot air dryer design and effective drying strategy analysis for sweet potato. LWT, 215, 117204.

Kaleemullah, S., & Kailappan, R. (2006). Modelling of thin-layer drying kinetics of red chillies. Journal of Food Engineering, 76(4), 531-537.

Kayacan, S., Sagdic, O., Doymaz, I., & Karasu, S. (2022). The effect of different drying methods on total bioactive properties, individual phenolic compounds, rehydration ability, color, and microstructural characteristics of Asian pear. Journal of Food Processing and Preservation, 46(7), e16682.

Kilic, A. (2017). Mathematical modeling of low temperature high velocity (LTHV) drying in foods. Journal of Food Process Engineering, 40(2), e12378.

Köse, Y. (2018). Usage possibilities of mathematical modelling in drying technology. International Journal Of Scientific And Technological Research, 4(6), 6.

Kuljarachanan, T., Devahastin, S., & Chiewchan, N. (2009). Evolution of antioxidant compounds in lime residues during drying. Food Chemistry, 113(4), 944-949.

Labaky, P., Dahdouh, L., Grosmaire, L., Rajha, H. N., Ricci, J., Delpech, C., ... & Louka, N. (2024). Improving dried mango physicochemical properties using conventional hot-air drying coupled with a novel technology “intensification of vaporization by decompression to the vacuum”. Innovative Food Science & Emerging Technologies, 95, 103739.

Legua, P., Modica, G., Porras, I., Conesa, A., & Continella, A. (2022). Bioactive compounds, antioxidant activity and fruit quality evaluation of eleven blood orange cultivars. Journal of the Science of Food and Agriculture, 102(7), 2960-2971.

Lewis, W. K. (1921). The rate of drying of solid materials. Industrial & Engineering Chemistry, 13(5), 427-432.

Li, W., Zhang, Y., Deng, H., Yuan, H., Fan, X., Yang, H., & Tan, S. (2023). In vitro and in vivo bioaccessibility, antioxidant activity, and color of red radish anthocyanins as influenced by different drying methods. Food Chemistry: X, 18, 100633.

Li, Y., Wang, X., Wu, Z., Wan, N., & Yang, M. (2020). Dehydration of hawthorn fruit juices using ultrasound-assisted vacuum drying. Ultrasonics sonochemistry, 68, 105219.

Lin, Q., Zong, X., Lin, H., Huang, X., Wang, J., & Nie, S. (2023). Based on quality, energy consumption selecting optimal drying methods of mango slices and kinetics modelling. Food Chemistry: X, 17, 100600.

Liu, S., Lou, Y., Li, Y., Zhao, Y., Feng, X., Capozzi, V., ... & Gu, Q. (2023). Comparison of anthocyanin and volatile organic compounds in juices and fruit wines made from blood

oranges (Citrus sinensis L. Osbeck) at different maturity stages. Food Bioscience, 56, 103194.

Liu, S., Zhu, W., Bai, X., You, T., & Yan, J. (2019). Effect of ultrasonic energy density on moisture transfer during ultrasound enhanced vacuum drying of honey. Journal of Food Measurement and Characterization, 13, 559-570.

Malakar, S. (2024). Active edible coating combined with novel pre-treatment technique for drying of foods: Mechanistic insights, enhancing drying performance and product quality. Food Bioscience, 104527.

Midilli, A., & Kucuk, H. (2003). Mathematical modeling of thin layer drying of pistachio by using solar energy. Energy conversion and Management, 44(7), 1111-1122.

Morales, J., Bermejo, A., Navarro, P., Forner-Giner, M. Á., & Salvador, A. (2021). Rootstock effect on fruit quality, anthocyanins, sugars, hydroxycinnamic acids and flavanones content during the harvest of blood oranges 'Moro'and 'Tarocco Rosso'grown in Spain. *Food Chemistry*, *342*, 128305.

Niveditha, A., Chidanand, D. V., & Sunil, C. K. (2023). Effect of ultrasound-assisted drying on drying kinetics, color, total phenols content and antioxidant activity of pomegranate peel. Measurement: Food, 12, 100114.

Ordóñez-Díaz, J. L., Hervalejo, A., Pereira-Caro, G., Muñoz-Redondo, J. M., Romero-Rodríguez, E., Arenas-Arenas, F. J., & Moreno-Rojas, J. M. (2020). Effect of rootstock and harvesting period on the bioactive compounds and antioxidant activity of two orange cultivars ('Salustiana'and 'Sanguinelli') widely used in juice industry. Processes, 8(10), 1212.

Page, G. E. (1949). Factors Influencing the Maximum Rates of Air Drying Shelled Corn in Thin layers. Purdue University.

Panche, A. N., Diwan, A. D., & Chandra, S. R. (2016). Flavonoids: an overview. Journal of nutritional science, 5, e47.

Pandiselvam, R., Aydar, A. Y., Kutlu, N., Aslam, R., Sahni, P., Mitharwal, S., ... & Kothakota, A. (2023). Individual and interactive effect of ultrasound pre-treatment on drying kinetics and biochemical qualities of food: A critical review. Ultrasonics sonochemistry, 92, 106261.

Pannitteri, C., Continella, A., Cicero, L. L., Gentile, A., La Malfa, S., Sperlinga, E., ... & Siracusa, L. (2017). Influence of postharvest treatments on qualitative and chemical parameters of Tarocco blood orange fruits to be used for fresh chilled juice. *Food chemistry*, *230*, 441-447.

Perez-Vizcaino, F., & Fraga, C. G. (2018). Research trends in flavonoids and health. Archives of biochemistry and biophysics, 646, 107-112.

Rahman, M. M., Rahaman, M. S., Islam, M. R., Rahman, F., Mithi, F. M., Alqahtani, T., ... & Uddin, M. S. (2021). Role of phenolic compounds in human disease: Current knowledge and future prospects. Molecules, 27(1), 233.

Rapisarda, P., Fanella, F., & Maccarone, E. (2000). Reliability of analytical methods for determining anthocyanins in blood orange juices. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, *48*(6), 2249-2252.

Rapisarda, P., Tomaino, A., Lo Cascio, R., Bonina, F., De Pasquale, A., & Saija, A. (1999). Antioxidant effectiveness as influenced by phenolic content of fresh orange juices. Journal of agricultural and food chemistry, 47(11), 4718-4723.

Santos, N. C., Almeida, R. L. J., Albuquerque, J. C., de Andrade, E. W. V., Gregório, M. G., Santos, R. M. S., ... & de Almeida Mota, M. M. (2024). Optimization of ultrasound pre-treatment and the effect of different drying techniques on antioxidant capacity, bioaccessibility, structural and thermal properties of purple cabbage. Chemical Engineering and Processing-Process Intensification, 201, 109801.

Santos, N. C., Almeida, R. L. J., Monteiro, S. S., de Alcântara Silva, V. M., de Lima, T. L. B., Saraiva, M. M. T., ... & Rocha, A. P. T. (2024). Ultrasound and microwaves reduce stress in probiotics during avocado drying: Impact on mass transfer and cell viability. Food Bioscience, 61, 104655.

Singh, S., Kawade, S., Dhar, A., & Powar, S. (2022). Analysis of mango drying methods and effect of blanching process based on energy consumption, drying time using multi-criteria decision-making. Cleaner Engineering and Technology, 8, 100500.

Spanos, G. A., & Wrolstad, R. E. (1992). Phenolics of apple, pear, and white grape juices and their changes with processing and storage. A review. Journal of Agricultural and Food Chemistry, 40(9), 1478-1487.

Srivastava, A., Sharma, A., & Kumar, A. (2025). Performance evaluation of indirect solar drying system for potato slices: Comparative analysis with open-sun drying method. Solar Energy, 285, 113114.

Süfer, Ö., Sezer, S., & Demir, H. (2017). Thin layer mathematical modeling of convective, vacuum and microwave drying of intact and brined onion slices. Journal of Food Processing and Preservation, 41(6), e13239.

Taskin, O., Khir, R., Ning, Z., Cao, L., Niederholzer, F., & Pan, Z. (2024). Drying and quality characteristics of intact-shell, cracked-shell and kernel walnuts under sequential infrared pre-drying and hot air drying. Food Control, 165, 110669.

Tekin Cakmak, Z. H., Kayacan Cakmakoglu, S., Avcı, E., Sagdic, O., & Karasu, S. (2021). Ultrasound-assisted vacuum drying as alternative drying method to increase drying rate and bioactive compounds retention of raspberry. Journal of Food Processing and Preservation, 45(12), e16044.

Tekin, Z. H., & Baslar, M. (2018). The effect of ultrasound-assisted vacuum drying on the drying rate and quality of red peppers. Journal of Thermal Analysis and Calorimetry, 132, 1131-1143.

Tekin, Z. H., Başlar, M., Karasu, S., & Kilicli, M. (2017). Dehydration of green beans using ultrasound-assisted vacuum drying as a novel technique: Drying kinetics and quality parameters. Journal of Food Processing and Preservation, 41(6), e13227.

Toğrul, İ. T., & Pehlivan, D. (2003). Modelling of drying kinetics of single apricot. Journal of food Engineering, 58(1), 23-32.

Turan, B., Tekin-Cakmak, Z. H., Kayacan Çakmakoglu, S., Karasu, S., Kasapoglu, M. Z., & Avci, E. (2023). Effect of different drying techniques on total bioactive compounds and individual phenolic composition in goji berries. Processes, 11(3), 754.

Türkmen, F. (2020). Modern kurutma yöntemlerinin prunus laurocerasus meyvesinin kalite özelliklerine etkisinin araştırılması.

Wang, C., & Singh, R. (1978). A single layer drying equation for rough rice.

Wiset, L., Thiangma, P., Poomsa-Ad, N., Nualkaew, S., Nuengchamnong, N., Munjit, R., & Nakbanpote, W. (2025). Effect of blanching and microwave-hot air drying of Asparagus

racemosus Willd. tuberous roots on shelf life. Journal of Applied Research on Medicinal and Aromatic Plants, 44, 100603.

Xiao, H. W., Lin, H., Yao, X. D., Du, Z. L., Lou, Z., & Gao, Z. J. (2009). Effects of different pretreatments on drying kinetics and quality of sweet potato bars undergoing air impingement drying. International Journal of Food Engineering, 5(5).

Yagcioglu, A. D. A. C. F. (1999). Drying characteristic of laurel leaves under different conditions. In Proceedings of the 7^< th> International congress on agricultural mechanization and energy, 1999 (pp. 565-569). Faculty of Agriculture, Cukurova University.

Yıldız, O., Şahin, H., Kara, M., Aliyazıcıoğlu, R., Tarhan, Ö., & Kolaylı, S. (2010). Maillard reaksiyonları ve reaksiyon ürünlerinin gıdalardaki önemi. Akademik Gıda, 8(6), 44-51.

Yu, J., Huang, D., Ling, X., Xun, C., Huang, W., Zheng, J., & Zhang, L. (2024). Drying kinetics of camellia oleifera seeds under hot air drying with ultrasonic pretreatment. Industrial Crops and Products, 222, 119467.

Zahoor, I., Mir, T. A., Ayoub, W. S., Farooq, S., & Ganaie, T. A. (2023). Recent applications of microwave technology as novel drying of food–review. Food and Humanity, 1, 92-103.

Zhang, J. S., Xiao, H. M., Orsat, V., Raghavan, G. S. V., Torki, M., Wang, H., & Wang, H. (2025). Innovative green technology: Pulse cycle vacuum drying with carbon crystal heating poised to supplant conventional vacuum drying methods. Renewable and Sustainable Energy Reviews, 210, 115200.

Zhang, P. Y. (2015). Polyphenols in health and disease. Cell biochemistry and biophysics, 73, 649-664.

Zhu, X., Zhang, Z., Hinds, L. M., Sun, D. W., & Tiwari, B. K. (2021). Applications of ultrasound to enhance fluidized bed drying of Ascophyllum Nodosum: Drying kinetics and product quality assessment. Ultrasonics Sonochemistry, 70, 105298.

Zou, Z., Xi, W., Hu, Y., Nie, C., & Zhou, Z. (2016). Antioxidant activity of Citrus fruits. Food chemistry, 196, 885-896.

Zzaman, W., Biswas, R., & Hossain, M. A. (2021). Application of immersion pre-treatments and drying temperatures to improve the comprehensive quality of pineapple (Ananas comosus) slices. Heliyon, 7(1).

TEZDEN ÜRETİLMİŞ YAYINLAR

Konferans Bildiriler

Yılmaz, D., Tekin-Cakmak Z. H., ve Karasu, S. (2024). Novel Kurutma Tekniklerinin Kan Portakalı Dilimlerinin Kurutulmasında Kullanımı. International Conference on Gastronomy, Nutrition and Dietetics-V (GANUD-VI), November 20-21, 2024, Istanbul Arel University, Türkiye

Makaleler

Yılmaz, D., Tekin Çakmak, Z. H., & Karasu, S., (2024). Drying blood orange slices using novel drying methods. International conference on gastronomy, nutrition and dietetics (pp.173). İstanbul, Turkey