

T.C.
ONDOKUZ MAYIS ÜNİVERSİTESİ
LİSANSÜSTÜ EĞİTİM ENSTİTÜSÜ
GIDA MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI



**FARKLI YÖNTEMLERLE KURUTULMUŞ AĞAÇ
DOMATESİ (*Solanum betaceum*) MEYVELERİNİN
ANTİOKSİDAN ÖZELLİKLERİ VE AROMA BİLEŞİKLERİ.**

Doktora Tezi

Marc Antoine NDISANZE

Danışman

Prof. Dr. İlkay KOCA

Bu çalışma Ondokuz Mayıs Üniversitesi tarafından PYO. MUH.1904.20.008 proje numarası ile desteklenmiştir.

SAMSUN
2023

TEZ KABUL VE ONAYI

Marc Antoine NDISANZE tarafından, Prof. Dr. İlkey KOCA danışmanlığında hazırlanan “FARKLI YÖNTEMLERLE KURUTULMUŞ AĞAÇ DOMATESİ (*Solanum betaceum*) MEYVELERİNİN ANTİOKSİDAN ÖZELLİKLERİ VE AROMA BİLEŞİKLERİ.” başlıklı bu çalışma, jürimiz tarafından 6.1.2023 tarihinde yapılan sınav sonucunda oy birliği ile başarılı bulunarak Doktora Tezi olarak kabul edilmiştir.

	Ünvanı Adı Soyadı Üniversitesi Ana Bilim/Ana Sanat Dalı	Sonuç
Başkan	Prof. Dr. Zekai TARAKÇI Ordu Üniversitesi, Ziraat Fak., Gıda Mühendisliği	☐ Kabul ☐ Ret
Üye	Prof. Dr. İlkey Koca Ondokuz Mayıs Üniversitesi Gıda Mühendisliği Ana Bilim Dalı	☐ Kabul ☐ Ret
Üye	Dr. Öğr.Üyesi Belkis TEKGÜLER Ondokuz Mayıs Üniversitesi Gıda Mühendisliği Ana Bilim Dalı	☐ Kabul ☐ Ret
Üye	Dr. Öğr.Üyesi Gediz UĞUZ Ondokuz Mayıs Üniversitesi Kimya Mühendisliği Ana Bilim Dalı	☐ Kabul ☐ Ret
Üye	Dr. Öğr. Üyesi Mustafa Remzi OTAĞ Giresun Üniversitesi, Mühendislik Fak., Gıda Mühendisliği	☐ Kabul ☐ Ret

Bu tez, Enstitü Yönetim Kurulunca belirlenen ve yukarıda adları yazılı jüri üyeleri tarafından uygun görülmüştür.

Prof. Dr. Ali BOLAT
Enstitü Müdürü

BİLİMSEL ETİĞE UYGUNLUK BEYANI

Hazırladığım Doktora tezinin bütün aşamalarında bilimsel etiğe ve akademik kurallara riayet ettiğimi, çalışmada doğrudan veya dolaylı olarak kullandığım her alıntıya kaynak gösterdiğimi ve yararlandığım eserlerin Kaynaklar'da gösterilenlerden oluştuğunu, her unsurun enstitü yazım kılavuzuna uygun yazıldığını ve TÜBİTAK Araştırma ve Yayın Etiği Kurulu Yönetmeliği'nin 3. bölüm 9. maddesinde belirtilen durumlara aykırı davranılmadığını taahhüt ve beyan ederim.

Etik Kurul Gerekli mi ?

Evet ☐ (Gerekli ise ekler kısmına ekleyiniz)

Hayır ☒

30/11 / 2022

Marc Antoine NDISANZE

TEZ ÇALIŞMASI ÖZGÜNLÜK RAPORU BEYANI

Tez Başlığı : FARKLI YÖNTEMLERLE KURUTULMUŞ AĞAÇ DOMATESİ (*Solanum betaceum*) MEYVELERİNİN ANTİOKSİDAN ÖZELLİKLERİ VE AROMA BİLEŞİKLERİ.

Yukarıda başlığı belirtilen tez çalışması için şahsım tarafından 30.11.2022 tarihinde intihal tespit programından alınmış olan özgünlük raporu sonucunda;

Benzerlik oranı : % 8

Tek kaynak oranı : % 1 çıkmıştır.

30 /11/ 2022

Prof. Dr. İlkay KOCA

ÖZET

FARKLI YÖNTEMLERLE KURUTULMUŞ AĞAÇ DOMATESİ (*Solanum betaceum*) MEYVELERİNİN ANTIOKSİDAN ÖZELLİKLERİ VE AROMA BİLEŞİKLERİ.

Marc Antoine NDISANZE
Ondokuz Mayıs Üniversitesi
Lisansüstü Eğitim Enstitüsü
Gıda Mühendisliği Anabilim Dalı
Doktora, Ocak/2023
Danışman: Prof. Dr. İlkay KOCA

Ağaç domatesi veya tamarillo (*Solanum betaceum*), mordan sarıya kadar değişen renkte tropik bir meyvedir. Bu çalışma, farklı kurutma yöntemleriyle kurutulan ağaç domatesi meyvelerinin fiziksel, morfolojik, antioksidan ve aroma özelliklerindeki değişimleri incelemek için yapılmıştır. Bunun için meyveler konvektif kurutucuda farklı sıcaklıklarda (40, 50, 60, 70 ve 80 °C) 1.5 m/s hava hızında, mikrodalgada (350, 500 ve 650W) ve dondurarak kurutucuda kurutulmuştur. Meyvelerin dehidrasyon ve rehidrasyon kinetikleri, fiziksel, antioksidan özellikleri ve uçucu bileşen profilleri çıkartılmıştır. Antioksidan özellikleri belirlemek için toplam fenolik madde, toplam flavonoid, toplam antosiyanin, bireysel fenolik bileşikler, C vitamini, demir indirgeme antioksidan gücü (FRAP) ve 2,2-difenil-1-pikrilhidrazil (DPPH) serbest radikal giderme etkisi analizleri uygulanmıştır. Fenolik bileşikler ve antosiyanin profilleri Yüksek Performanslı Sıvı Kromatografisi (HPLC-DAD), aroma profili ise gaz kromatografisi (GC-MS) ile belirlenmiştir. Konvektif ve mikrodalga kurutmada kuruma kinetiğini en iyi tanımlayan modelin *Midilli* olduğu tespit edilmiştir. Rehidrasyon kinetiğinde ise konvektif kurutulanların Weibull ve Peleg modellerine, mikrodalga kurutulanların Exponential ve dondurarak kurutulanların Peleg modeline uyduğu saptanmıştır. En az toplam renk değişikliği (ΔE), 40°C'de konvektif kurutulanlarda, en az büzülme dondurarak kurutulanlarda saptanmıştır. Askorbik asitte en az kayıp 650W'da mikrodalga, 40°C konvektif ve dondurarak kurutulanlarda olmuştur. Toplam fenolik madde açısından 80°C'de konvektif kurutma en etkili kurutma yöntemi olurken, toplam antosiyanin açısından dondurarak kurutma, flavonoid ve DPPH serbest radikal giderme açısından 650W'da mikrodalga kurutma olmuştur. Mikrodalga ile kurutulanların diğer kuru meyvelere göre daha fazla gallik asit ve kateşin içerdikleri görülmüştür. En yüksek pelargonidin-3-glukozit içeriği dondurarak kurutulanlarda en düşük ise 350W mikrodalgada kurutulanlarda saptanmıştır.

Taze ağaç domatesinde toplam 39 uçucu bileşen teşhis edilebilmiştir. Taze meyvelerde bütanoik asitin etil ve metil esterleri, hekzanoik asitin metil ve etil esterleri, n-amil asetat ve okaliptolun yüksek oldukları görülmüştür. Kuru meyvelerde 54 uçucu bileşik izole edilmiştir. Uçucu bileşiklerin bir kısmı kurutma sırasında meydana gelirken bir kısmı ise kurutmada kayba uğramıştır.

Sonuç olarak, farklı yöntemlerle kurutulan ağaç domatesi meyvelerinde fiziksel, antioksidan ve uçucu bileşiklerin korunmasında dondurarak kurutma, ardından mikrodalga etkili olmuştur.

Anahtar Sözcükler: Kurutma, Mikrodalga, Ağaç domatesi, Antioksidan, Aroma

ABSTRACT

ANTIOXIDANT PROPERTIES AND AROMA COMPOUNDS OF TREE TOMATO FRUITS (*Solanum betaceum*) DRIED WITH DIFFERENT METHODS.

Marc Antoine NDISANZE
Ondokuz Mayıs University
Institute of Graduate Studies
Department of Food Engineering
Ph.D., January/2023
Supervisor: Prof. Dr. İlkey KOCA

The tree tomato or tamarillo (*Solanum betaceum*) is a tropical fruit which ranges in color from purple to yellow. This study was carried out to examine the changes in physical, morphological, antioxidant and aroma properties of tree tomato fruits dried with different drying methods. For this purpose, tree tomato fruits were dried in convective dryer at different temperatures (40, 50, 60, 70 and 80°C) at 1.5 m/s air speed, in microwave (350, 500 and 650W) and in freeze dryer. In this study, the dehydration and rehydration kinetics, physical, antioxidant properties and volatile compound profile of fruits were determined. For antioxidant properties, total phenolic compounds, total flavonoid, total anthocyanin, vitamin C, ferric reducing antioxidant power (FRAP) and 2,2-diphenyl-1-picrylhydrazil (DPPH) free radical scavenging assay were determined. Profiles of phenolic and anthocyanin compounds were determined by High Performance Liquid Chromatography (HPLC-DAD), and aroma profile was determined by gas chromatography (GC-MS).

This study revealed that Midilli model best described the kinetics of convective and microwave drying methods. In the rehydration kinetics, it was determined that Weibull and Peleg models best fitted the rehydration process of convective dried tree tomato fruits while the microwave dried tree tomato fruits were better fitted with the Exponential model while the freeze-dried ones fitted with the Peleg model. The least total color change (ΔE) was found in fruits that were convective dried at 40°C while the least shrunk fruits were those freeze dried. The least loss of ascorbic acid was in microwave at 650W, convective at 40°C and freeze-dried. Convective drying at 80°C is the most effective drying method in terms of total phenolic content, while freeze drying in terms of total anthocyanins, microwave drying at 650W in terms of flavonoid and DPPH free radical scavenging, microwave dried fruits have more gallic acid, catechin and epicatechin compared to other methods. The highest pelargonidin-3-glucoside content was found in freeze dried and the lowest in 350W microwaves dried fruits.

A total of 39 volatile compounds were identified in fresh tree tomatoes. Ethyl and methyl esters of butanoic acid, methyl and ethyl esters of hexanoic acid, n-amyl acetate and eucalyptol were found to be high in fresh fruits. 54 volatile compounds were isolated in dried fruits. While some of the volatile compounds were formed during drying, some of them were lost during drying.

As a result, microwave after freeze drying was effective in the good preservation of physical, antioxidant and volatile compounds in tree tomato fruits dried by different methods.

Keywords: Drying, Microwave, Tree tomato, Antioxidant, Aroma

ÖNSÖZ VE TEŞEKKÜR

Meyveler, en çok tüketilen yiyecekler arasındadır. Ağaç domatesi, tatlı olarak sofraya renk katması yanında tropikal mutfakta birçok yemek tarifinde yer almaktadır. Taze olarak tüketimi yanı sıra birçok ürüne işlenen bu meyvenin, kurutma sırasında uygulanan yöntemle bağı olarak fonksiyonel özellikleri değişebilmektedir. Bu tez, kurutma yöntemlerinin ağaç domateslerinin fiziksel ve antioksidan özelliklerine etkisini belirleyerek üretici ve tüketicilere yol göstermesi amacıyla yapılmıştır. Çalışmada yol gösteren ve tavsiyelerde bulunan Danışmanım Prof Dr İlkay KOCA'ya yaptığı katkılardan dolayı şükranlarımı sunuyorum.

Rüyalarımı gerçekleştiren Türkiye Bursları ekibine teşekkürlerimi sunarım. Özel teşekkürlerimi aileme göndermek isterim; eşim, çocuklarım, çalışmalarım sırasında gösterdiğiniz fedakarlık, moral ve maddi yardımlarınız için çok teşekkür ederim.

Gıda bilimindeki yeni anlayışı keşfetmek için birlikte çalıştığımız arkadaşlarım Dr. Mohammed GHELLAM, Dr. Hojjat PASHAZADEH ve Dr. Oscar ZANNOU'ya da teşekkür ederim.

Ayrıca, akademik kariyerime katkıda bulunan Prof. Dr. Ahmet Hilmi ÇON, Prof. Dr. Hüseyin GENÇCELEP, Prof. Dr. Hasan TEMİZ, Doç. Dr. Münir ANIL, Dr. Öğretim Üyesi Belkıs TEKGÜLER ve Gıda Mühendisliği Bölüm Personeline teşekkür ederim.

Marc Antoine NDISANZE

İÇİNDEKİLER

TEZ KABUL VE ONAYI	i
BİLİMSEL ETİĞE UYGUNLUK BEYANI	ii
TEZ ÇALIŞMASI ÖZGÜNLÜK RAPORU BEYANI.....	ii
ÖZET	v
ABSTRACT	vi
ÖNSÖZ VE TEŞEKKÜR	vii
İÇİNDEKİLER.....	viii
SİMGELER VE KISALTMALAR.....	x
ŞEKİLLER DİZİNİ	xii
TABLOLARDİZİNİ	xiii
1.GİRİŞ	1
2.KURAMSAL TEMELLER VE KAYNAK ÖZETLERİ.....	5
2.1. Ağaç Domatesine Ait Bilgiler.....	5
2.1.1. Ağaç Domatesinin Botanik Özellikleri	5
2.1.2. Ağaç Domatesinin Bileşimi	7
2.1.3. Ağaç Domatesi Meyvelerinin Değerlendirmesi.....	27
2.2. Gıda endüstrisinde Kurutma Teknolojisi	43
3. MATERYAL VE METOT	51
3.1. Materyal	51
3.1.1. Meyvelerin Kurutulması	51
3.2. Metod	53
3.2.4. Renk ölçümü	53
3.2.6. Morfolojik özelliklerin belirlenmesi	53
3.2.7. Büzülme Analizi.	54
3.2.8. Doğal Antioksidanlar ve Antioksidan Aktivitenin Belirlenmesi	55
3.2.8.1. Askorbik asit tayini.	55
3.2.8.2. Toplam fenolik madde tayini.	55
3.2.8.3. Toplam flavonoid tayini	55
3.2.8.4. Toplam antosiyanin belirlenmesi	55
3.2.8.5. Toplam karotenoidlerin belirlenmesi.	56
3.2.8.6. Demir indirgeme antioksidan gücü (FRAP).....	56
3.2.8.7. DPPH serbest radikalini giderme etkisinin belirlenmesi	56
3.2.8.8. Bireysel antosiyanin ve fenolik bileşiklerin analizi.....	56
3.2.9. Uçucu Bileşiklerin Belirlenmesi	57
3.3. Kurutma Kinetiğinin Matematiksel Modellemesi.....	57
3.4. Rehidrasyon Kapasitesinin Belirlenmesi ve Modellenmesi	58
3.5. İstatistiksel Analiz	60
4. SONUÇLAR VE TARTIŞMA	61
4.1. Taze Ağaç Domatesinin Meyve Özellikleri	61
4.2. Kuruma Kinetiğinin Belirlenmesi	65
4.3. Rehidrasyon Oranları ve Modelleme Çalışması.....	74
4.4. Kurutulmuş Meyvelere Ait Özellikler.....	80
4.4.1. Renk Sonuçları.....	80
4.4.2. Kurutmanın Büzülme Üzerine Etkisi	84
4.4.3. Meyvelerin Morfolojik Özellikleri	86
4.4.4. Kuru Ağaç Domateslerinin Biyoaktif Bileşenleri ve Antioksidan Aktivitesi	88
4.4.5.1. Kuru Meyvelerin Bireysel Fenolik Bileşik Dağılımı.....	94

4.4.5.1. Kuru ağaç domateslerinin antosiyanin kompozisyonu	95
4.4.5. Kurutulmuş Ağaç Domateslerinin Uçucu Bileşik Profili	96
5. SONUÇ VE ÖNERİLER	103
KAYNAKLAR.....	106
ÖZGEÇMİŞ	122



SİMGELER VE KISALTMALAR

$MR_{exp,i}$	:Ayrılabilir nem içeriği (%)
MR	:Ayrılabilir nem içeriği
Me	:Denge nem muhtevası ($kg_{su} kg_{KM}^{-1}$)
M	:Herhangi bir andaki nem içeriği ($kg_{su} kg_{KM}^{-1}$)
χ^2	:Ki kare
k, k_0 , k_1 , k_2	:Kuruma hız sabitleri (dk^{-1})
Dr	:Kuruma hızı ($kg_{su}kg_{KM}^{-1}dk^{-1}$)
a, t, b, c, g, h	:Kuruma katsayıları
T	:Kurutma süresi, s
L_k	:Materyalin kalınlığı (mm)
$MR_{pre,i}$	:Modelin tahmin ettiği nem içeriği
M_0	:Ürünün ilk nem içeriği
Me	:Numunelerin toplam kuru kütlesi, kg
R^2	:Regresyon katsayısı
L	:Rengin parlaklığı/koyuluğu
A	:Rengin kırmızılık/sarılık değeri
B	:Rengin sarılık/mavilik değeri
n_i	:Sabit ve katsayıların sayısı (adet)
M_t	:t anındaki nem muhtevası ($kg_{su} kg_{KM}^{-1}$)
Nm	: Nanometre
Cm	:Santimetre
W	:Watt
$^{\circ}C$	:Santigrat derece
dk	:Dakika
g	:Gram
Kg	:Kilogram
Mg	:Miligram
ml	:Mililitre
mm	:Milimetre
N	:Newton

s	:Saniye
μg	:Mikrogram
DPPH	:2,2-difenil-1-pikrilhidrazil
FRAP	:Demir İndirgeme Antioksidan Gücü
FT-IR	:Fourier dönüşümü kızılötesi spektroskopisi
ΔE	:Delta-E
GAE	:Gallik Asit Eşdeğeri
HPLC	:Yüksek Basıncılı Sıvı Kromatografisi
KM	:Kuru Madde
QE	:Kersetin Eşdeğeri
HPLC	: Yüksek Performanslı Sıvı Kromatografisi
GC	:Gaz Kromatografisi
SD	:Serbestlik Derecesi
SEM	:Taramalı Elektron Mikroskobu
ÇKM	:Suda Çözünür Katı Madde
TPTZ	:2,4,6-tripiridil-s-triazin

ŞEKİLLER DİZİNİ

Şekil 2.1: Ağaç domatesi ağacının görünümü	5
Şekil 2.2: Ağaç domatesi çiçeklerinin görünümü	6
Şekil 2.3: Ağaç domatesi meyvesinin görünümü	7
Şekil 2.4: Çalışmadakullanılanağaçdomatesimeyveleriningörünümü	51
Şekil 3.1: Kurutmada kullanılan konvektif kurutucunun görünümü	52
Şekil 3.2: Kurutmada kullanılan mikrodalga fırının görünümü.....	52
Şekil 3.3: Kurutmada kullanılan liyafilizatörün görünümü	52
Şekil 3.4: Taramalı elektron mikroskobuna ait görüntü	54
Şekil 3.5: Ağaç domatesi meyvelerinde büzülme testi için kullanılan düzenek	54
Şekil 4.1: Farklı sıcaklıklarda konvektif olarak kurutulan ağaç domatesinin kuruma oranının süreye bağlı değişimi	66
Şekil 4.2: Farklı güçte mikrodalgayla kurutulan ağaç domatesinin kuruma oranının süreye bağlı değişimi	66
Şekil 4.3: Ağaç domatesi meyvelerinin deneysel kurutma verilerine uygulanan farklı kurutma modelleri ve istatistiksel analiz sonuçları	69
Şekil 4.4: En uygun Midilli modeli ile optimum kurutma noktasının kinetiği (a, konvektif; b, mikrodalga)	73
Şekil 4.5: Dondurarak kurutulan meyvelerin süreye bağlı olarak rehidrasyon oranındaki değişim	75
Şekil 4.6: Konvektif kurutulan meyvelerin süreye bağlı olarak rehidrasyon oranındaki değişim	76
Şekil 4.7: Mikrodalgada kurutulan meyvelerin süreye bağlı olarak rehidrasyon oranındaki değişim.....	76
Şekil 4.8: Dondurarak kurutulan meyvelerde Peleg modeli ile optimum rehidrasyon kinetiği	79
Şekil 4.9: Konvektif kurutulan meyvelerde Peleg modeli ile optimum rehidrasyon kinetiği	79
Şekil 4.10: Mikrodalga kurutulan meyvelerde Exponential model ile optimum rehidrasyon kinetiği	80
Şekil 4.11: Taze ve kurutulmuş ağaç domatesi meyvelerinin görünümü	83
Şekil 4.12: Taze ve kuru meyvelerin SEM görüntüleri	87

TABLÖLARDİZİNİ

Tablo 2.1: Ağaç domatesinin genel bileşimi	8
Tablo 2.2: Ağaç domatesinin farklı kısımlarının karbonhidrat içeriği	10
Tablo 2.3: Ağaç domatesinin farklı kısımlarının aminoasit kompozisyonu	13
Tablo 2.4: Ağaç domatesinin vitamin içeriği	15
Tablo 2.5: Sabunlaştırmadan önce ve sonra karotenoid bileşiklerdeki değişim	16
Tablo 2.6: Ağaç domatesinin farklı kısımlarına ait mineral madde içeriği	18
Tablo 2.7: Ağaç domatesinin fenolik bileşik kompozisyonu	19
Tablo 2.8: Sarı ağaç domatesi meyvelerinin uçucu bileşenleri	25
Tablo 2.9: Ağaç domatesinin sağlık üzerine etkisi ve biyolojik özellikleri	37
Tablo 3.1: Ağaç domatesi meyvesinin kuruma kinetiğini belirlemede kullanılan matematiksel modeller	58
Tablo 3.2: Ağaç domatesi meyvesinin rehidrasyon kinetiğini tanımlamada kullanılan modeller	59
Tablo 4.1: Taze ağaç domatesi meyvelerinin bazı özellikleri	61
Tablo 4.2: Taze ağaç domatesinin uçucu bileşen kompozisyonu	65
Tablo 4.3: Ağaç domatesi meyvelerinin deneysel kurutma verilerine uygulanan farklı kurutma modelleri ve istatistiksel analiz sonuçları	69
Tablo 4.4: Rehidrasyon verilerinin modellemesinin istatistiksel analizinin sonuçları	77
Tablo 4.5: Farklı yöntemlerle kurutulan meyvelerin renk özellikleri	81
Tablo 4.6: Kurutulan meyvelerin büzülme değerleri	85
Tablo 4.7: Kuru ağaç domateslerinin antioksidan bileşenleri ve antioksidan aktivitesi	89
Tablo 4.8: Kuru ağaç domateslerinin fenolik bileşik dağılımı	94
Tablo 4.9: Kurutulmuş ağaç domateslerinin antosiyanin profili (mg/kg)	95
Tablo 4.10: Kurutulmuş ağaç domatesi meyvelerinin uçucu bileşikleri	98

1. GİRİŞ

Egzotik meyveler, insan diyetinin önemli bir bölümünü kapsar. Bu meyvelere, gelişmiş ülkelerde giderek artan bir talep vardır. Birçok egzotik meyve, yüksek düzeyde biyolojik olarak aktif metabolit içermeleri nedeniyle insan sağlığı için faydalıdır; bu da talebi ve tüketimi artıran önemli bir unsurdur (Acosta-Quezada vd., 2015). Egzotik meyvelerden olan ağaç domatesi (*Solanum betaceum*), fazla bakım istemeyen, hızlı büyüyen, küçük bir ağaçtır. Kendine özgü asidik bir tadı, etli, sulu ve lezzetli yenilebilen meyveleri vardır (Bohs, 1989). Küçük çiçekli çalı (2-4 m yüksekliğinde) meyvelerin domatese benzemesi nedeniyle **ağaç domatesi** olarak adlandırılmıştır. Bu meyve, patates (*S. tuberosum*), domates (*S. lycopersicum*), biber (*Capsicum annuum*) ve patlıcan (*S. melongena*) gibi *Solanaceae* familyasına aittir (Wang ve Zu, 2020).

Bu meyvenin kesin kökeni bilinmemektedir. Ancak Bolivya, Şili, Ekvador ve Peru dahil olmak üzere Güney Amerika ülkelerinde yabani çeşitleri bulunmaktadır. 19. yüzyılın sonlarında, meyve Afrika'nın yanı sıra (Güney Afrika, Uganda ve Ruanda), Okyanusya'ya (Avustralya ve Yeni Zelanda), Güneydoğu Asya'ya (Hindistan, Malezya, Tayland, Endonezya ve Vietnam) ve Avrupa'ya (İtalya, Almanya, İspanya, Portekiz, Fransa ve Hollanda) tanıtılmıştır. Şu anda 3 ülkede (Avustralya, Kolombiya ve Yeni Zelanda), ticari olarak ağaç domatesi yetiştirilmektedir. Amerika, Avustralya, Hong Kong, Singapur, Japonya ve Pasifik Adaları, Yeni Zelanda ağaç domatesinin başlıca ihracat pazarlarıdır (Bohs, 1989; Diep vd., 2020a). 1967 yılında, Yeni Zelanda'da bilenen adıyla 'tamarillo', Maori kökenli bir kelime olan ve liderlik anlamına gelen 'tama' ve İspanyolca bir kelime olan 'rillo' birleştirilerek türetilmiştir (Diep vd., 2022a).

"Tamarillo", "chilto" veya "ağaç domatesi" olarak bilinen *Solanum betaceum*, farklı renkte meyveler verir. Yumurta şeklindeki meyve, mor-kırmızı ile altın sarısı bir kabuk ve küçük çekirdeklere sahiptir (Diep vd., 2022a). Meyve rengine ve şekline göre farklı sınıflandırmalar yapılmıştır. Acosta-Quezada vd. (2015), ağaç domatesini 5 gruba ayırmıştır. Bunlar, turuncu, turuncu sivri, kırmızı, kırmızı konik ve mor çeşit gruplarıdır.

Meyvelerin rengini klorofiller, karotenoidler ve antosiyaninlerin varlığı tayin eder. İç kısmında yer alan çekirdeklerin etrafı mor veya kırmızı renkteki müsilaj ile kaplıdır. Ağaç domatesi, düşük kalori ve yağ içeriğine sahiptir. Buna karşın, diyet lifleri, mineraller (potasyum, fosfor, magnezyum, kalsiyum, bakır, demir ve çinko gibi),

vitaminler (B6, C ve E vitamini), proteinler, çözünür şekerler ve organik asitlerce zengindir (Wang ve Zu, 2020; Diep vd., 2022a). Ağaç domatesi, önemli farmakolojik ve besinsel özelliklere sahip olan polisakkaritler, flavonoidler ve karotenoidler gibi çeşitli fitokimyasalları içerir. Meyvenin farklı kısımları farklı bileşimdedir. Çekirdek kısmı lipidler (ω -3, 6 ve 9 yağ asitleri), proteinler, E vitamini, polifenoller, mineraller ve fitosteroller (β -sitosterol, sikloartenol ve dihidrolanosterol) içerir (Wang ve Zu, 2020).

Ağaç domatesi meyvesi, antioksidan, antinositif, antienflamatuar, antikanser ve antiobezite gibi bir dizi *in vitro* ve *in vivo* biyolojik aktiviteye sahiptir (Wang ve Zu, 2020; Diep vd., 2022a). Karaciğer hastalıkları, bademcik ve boğaz ağrısı, solunum yolu hastalıkları ve aneminin önlenmesinde etkilidir (Diep vd., 2022d). Bu meyveler, farklı yerli ve kırsal toplumlar tarafından (salatalarda, meyve sularında, reçellerde, likörlerde ve diğer bölgesel ürünlerde) yaygın olarak tüketilmektedir (Orqueda vd., 2017; Diep vd., 2020a). Biyolojik aktiviteleri nedeniyle ağaç domatesi bazlı birçok ürün geliştirilmiştir. Günümüze kadar, salatalar, soslar, reçel ve jöleler, dondurmalar, smoothie, alkollü içecekler, meyve suları, likörler, yoğurtlar ve meyve efervesan Tabletlerin üretiminde kullanılmışlardır (Bohs, 1989; Duke, 1993; Acosta-Quezada vd., 2015; Ramakrishnan vd., 2018; Wang ve Zu, 2020; Diep vd., 2022a). Ağaç domatesinden elde edilen fonksiyonel bileşenler, süt endüstrisinde doğal peynir yapımında pıhtılaştırıcılar, et endüstrisinde antioksidanlar ve çeşitli diğer gıda sektörlerinde emülgatörler ve köpük stabilizatörleri olarak iyi bir potansiyele sahiptir (Wang ve Zu, 2020).

Taze meyveler, %80'in üzerinde su içermeleri nedeniyle çabuk bozulan gıdalardandır (Sagar ve Kumar, 2010). Taze meyveleri korumak ve maksimum kalitede tüketiciye ulaştırmak için bazı uygulamalara gereksinim vardır. Kurutma, gıdalardaki serbest suyu azaltarak meyvelerin raf ömrünü uzatan ve besinleri muhafaza etmede kullanılan bir yöntemdir. Kuru meyveler, kolayca üretilip depolanabilmeleri, nispeten düşük maliyetle taşınabilmeleri, düşük ambalaj maliyet gereksinimleri nedeniyle büyük ilgi görmektedir (Santos ve Silva, 2008). Bu meyveler, içerdikleri fitokimyasallar nedeniyle giderek daha popüler hale gelmektedirler. Bir kısım meyve, çerez olarak tüketilirken bir kısmı da tahıl gibi çeşitli ürünlere fonksiyonel özellik kazandırmak için eklenmektedirler. Diyet lif, bazı karbonhidratlar, flavonoidler, fenolik asitler, karotenoidler ve vitaminler gibi birçok fonksiyonel grupları konsantre halde içerirler

(Donno vd., 2015). Bazı kuru meyvelerin düzenli tüketimi kardiyovasküler hastalıklara yakalanma riskini azaltabilmektedir. Çoğu kuru meyve, *in vitro* ve *in vivo* çalışmalarda yüksek antioksidan aktivite sergilemiştir (Jeszka-Skowron vd., 2017). Ne yazık ki bazı çalışmalar, kurutma sırasında C vitamini, karotenoidler, polifenoller ve bazı aktif biyolojik bileşiklerde önemli kayıplar olduğunu gözler önüne sermiştir (Onwude vd., 2022; Thamburaj vd., 2022) Meyve kurutmada birçok teknik kullanılmaktadır. Bunların birbirine göre avantaj ve dezavantajları vardır (Abbaspour-Gilandeh vd., 2020).

İlkel teknik olan doğal güneşte veya gölgede kurutma yöntemi birçok avantaja sahip olsa da kontaminasyon riski nedeniyle kalite kaybına yol açmaktadır. Bu nedenle, sıcak havanın dolaşımının kullanıldığı geleneksel fırın veya mikrodalga fırın kullanılarak yapılan kurutma işlemleri daha yaygın kullanılmaktadır. Dondurarak kurutma da günümüzde ürünlerin aromasını korumak için iyi bir kurutma yöntemi olarak bilinmektedir (Hasan vd., 2019).

Konvektif kurutma, düşük maliyetli bir uygulama olup halen en popüler kurutma tekniğidir. Kurutmanın uzun sürmesi, kurutulmuş ürünlerin kalitesinde önemli değişikliklere yol açabilmesi bu tekniğin dezavantajlı yönleridir. Konvektif kurutmada, yüksek hava sıcaklığına uzun süre maruz kalma, renk kaybı, ısıya duyarlı bileşenlerde önemli bozulmalara ve antioksidan ve rehidrasyon kapasitelerinde azalmaya neden olabilir (Deng vd., 2018). Mikrodalga kurutma, alternatif bir yöntem olarak her geçen gün popülaritesini biraz daha artırmaktadır. Elektromanyetik enerji, su moleküller içinde doğrudan kinetik enerjiye dönüştürülür yani ürünün kendisi ısıyı üretir. Yüksek kurutma hızı, daha kısa işlem süresi ve daha düşük enerji gereksinimi gibi avantajları vardır. Bununla birlikte, mikrodalga kurutma, homojen olmayan ısıtmaya ve/veya yüzeyin aşırı ısınmasına sebep olabilmektedir (İzli vd., 2018). Dondurarak kurutma işleminde gıdalar, süblimasyon yoluyla kurur. Dondurarak kurutmada, aroma, renk ve askorbik asit gibi antioksidanlar daha iyi korunurken yüksek kaliteli son ürünün göstergesi olan rehidrasyon da daha yüksektir (Deng vd., 2018; İzli vd., 2018). Fakat, bu kurutma yöntemi, sermaye ve işletme açısından daha maliyetlidir (İzli vd., 2018).

Bu çalışma temel olarak konvektif, mikrodalga ve dondurarak kurutucularda ağaç domatesi meyvesinin kurutma kinetiğinin belirlenmesi, en uygun kurutma modellerinin seçilmesi ve taze ve kuru meyve arasında antioksidan bileşikler, antioksidan aktivite yanında uçucu bileşikler ile morfolojik özelliklerdeki değişimi incelemek amacıyla

yapılmıştır.



2. KURAMSAL TEMELLER VE KAYNAK ÖZETLERİ

2.1. Ağaç Domatesine Ait Bilgiler

Bu bölümde ağaç domatesinin genel özellikleri ile bileşimi, sağlık üzerine etkileri ve değerlendirilmesi konusunda bilgiler yer almaktadır.

2.1.1. Ağaç Domatesinin Botanik Özellikleri

Solanum cinsi, dünya çapında dağılım gösteren yaklaşık 1500 tür içerir. Domates (*S. lycopersicum* L.), patates (*S. tuberosum* L.), patlıcan (*S. melongena* L.) gibi ekonomik açıdan önemli birçok tarımsal ürün yanında daha az tanınan narajilla (*S. quitoense* Lam.), cocona (*S. sessiliflorum* Dunal), pepino dulce (*S. muricatum* Aiton), ağaç domatesi (*S. betaceum* Cav.) *Solanum* cinsinin temsilcileridir (Lamas vd., 2022).

Ağaç domatesi bitkisi (*Solanum betaceum* Cav. syn *Cyphomandra betacea* Sendt.) küçük, yarı odunsu, hızla büyüyen, genellikle 3 ila 5.5 m nadiren 7.5 m'ye kadar uzayan, sığ köklü kırılğan, yaprak dökmeyen bir ağaçtır (Şekil 2.1). Yapraklar misk kokulu, oval, tepede sivri, 4 ila 10-35 cm uzunluğunda ve 4 ila 12 cm genişliğinde, ince, yumuşak tüylü, dikkat çeken irilikte iri damarlıdır (Morton, 1987).



Şekil 2.1: Ağaç domatesi ağacının görünümü

Çiçekler (Şekil 2.2) genellikle dalların ucunda küçük gruplar halinde gelişir ve 1.25 ila 2 cm genişliğinde, soluk pembe veya lavanta, sivri loblar, belirgin sarı organları

ve yeşil-mor kalikslere sahiptir. Çiçekler kokulu ve çoğunlukla yazdan sonbahara geçiş sırasında açarlar. Yılın diğer zamanlarında da çiçeklenme görülebilir. Tozlaşma esas olarak otogamiktir. Yumurta şeklindeki meyveler (Şekil 2.3), uzun saplı, tek başına veya genellikle 3 ila 12 adet gruplar şeklinde, 5 ila 10 cm uzunluğunda ve 3 ila 5 cm genişliğinde ve koyu kırmızı, turuncu veya sarımsı veya bu üçünün karışımı renkte epikarpa sahiptir. Meyveler genellikle Ekim-Nisan ayları arasında olgunluğa ulaşmaktadır. Kabuk rengi düz koyu mor, kan kırmızısı, turuncu veya sarı olabilir. Meyve eti rengi turuncu-kırmızıdan sarıya kadar değişebilir (Correia ve Canhoto, 2012).



Şekil 2.2: Ağaç domatesi çiçeklerinin görünümü

Meyveler yenilebilir, ancak kabuk kısmı kalın ve hoş olmayan bir tada sahiptir, bu nedenle tüketimden önce soyulmalıdır. Çekirdekler, yassı ve yuvarlak şekilli, yenilebilir, domatesin çekirdeklerinden daha büyük ve serttirler (Correia ve Canhoto, 2012). Et kısmı tatlı ve yumuşaktır, kabuk kısmının tadı ise hoş değildir. Küçük boyutlarına rağmen, çekirdekler sert ve acıdır. Bitki ekimden sonraki birinci veya ikinci yılda meyve verir, ancak 4 yıl sonra en yüksek verime ulaşılır. Bitki, 5-12 yıl yaşar. Genel olarak, tek bir dik odunsu gövdenin tabanından 1.5-2 m yükseklikte geniş yayılan taç oluşturur (Bakshi vd., 2016).

Verim bölgeden bölgeye değişir. Brezilya'da her ağaç 20 ila 30 kg arasında meyve verirken Kolombiya ve Ekvador'da verim 8–10 ton/yıl veya bitki yaşına bağlı olarak 16–20 ton/yıl'a kadar çıkabilmektedir. Son yıllarda, uluslararası pazarda sadece nutrasötik özelliklerinden dolayı değil, aynı zamanda alternatif bir meyve olmasından dolayı ilgi görmektedir. Günümüzde ticari olarak Orta ve Kuzey Amerika, Avrupa, Asya ve Afrika'nın birçok tropikal ve subtropikal ülkesinde yetiştirilmektedir (Lamas vd., 2022).



Şekil 2.3: Ağaç domatesi meyvesinin görünümü

Ağaç domatesi, subtropikal bir türdür. Tropik ve subtropik bölgelerde 1.000–3.000 m yüksekliklerde ve daha serin bölgelerde 300–1.000 m daha düşük kotlarda gelişmektedir. Donmaya karşı hassastır ve $-2,2^{\circ}\text{C}$ 'lik sıcaklık genç yaprakları, genç dalları ve fideleri öldürür. Bitki, 10°C 'nin üzerindeki düşük sıcaklıkları tolere eder. Bu meyve, sıcaklığın 18 ile 22°C arasında olduğu ve yıllık yağışın 600-800 mm olduğu bölgelerde iyi yetişir. Soğuk hava, çiçeklenmeyi teşvik eder. Yüksek sıcaklıklar, uzun süren kuraklık vb stresler çiçeklenme ve meyve vermeyi etkiler. Ağacın sığ bir kök sistemine sahip olması, dallarının oldukça kırılgan ve yapraklarının yumuşak olması nedeniyle kuvvetli rüzgarlardan korunması gerekir. Ağaç domatesi, gevrek, iyi drene edilmiş, hafif topraklarda iyi yetişir. Ağır killere, sıkıştırılmış topraklara ve su dolu topraklara karşı toleranssızdır (Lamas vd., 2022).

2.1.2. Ağaç Domatesinin Bileşimi

Ağaç domatesi meyvesinin kimyasal bileşiminde büyük farklılıklar vardır (Tablo 2.1). Bu farklılıklar olgunluk, meyvenin kısımları, genetik, coğrafi ve çevresel koşullardaki farklılıklardan kaynaklanabilir. Farklı çalışmalarda kullanılan ekstraksiyon yöntemleri ve analitik prosedürler de bu farklılığa katkıda bulunur (Wang ve Zu, 2020).

Tablo 2.1: Ağaç domatesinin genel bileşimi

Parametre	Miktar	Kaynak
Nem, %	86-92;85.20; 88.1-89.1; 86.1-86.3	Vasco vd., 2009; Mutalib vd., 2017; Diep vd., 2020a; Diep vd., 2022a
Kül, %	0.7-0.9; 1.30; 0.8 -1.2	Vasco vd., 2009; Mutalib vd., 2017; Diep vd., 2020a
Protein, %	2.2-2.5; 1.60; 1.2- 1.4;1.9-2.0	Vasco vd., 2009; Mutalib vd., 2017; Diep vd., 2020a; Diep vd., 2022a
Yağ, %	0.05-0.72;0.17- 0.24;0.4-0.5	Vasco vd., 2009; Diep vd., 2020a; Diep vd., 2022a
Diyet lif, %	6.0; 2.8-3.3;3.7-3.8	Mutalib vd., 2017; Diep vd., 2020a; Diep vd., 2022a
Karbonhidrat %	11.90; 2.7-3.8	Mutalib vd., 2017; Diep vd., 2020a
Çözünür katı madde, %	10-12; 8.80 -10.61;	Vasco vd., 2009; Diep vd., 2020a
pH	3.2-3.6; 3.7-4.1; 3.8-4.1	Vasco vd., 2009; Diep vd., 2020a; Chen vd., 2021
Sitrik asit, %	0.77-2.08; 1.7-2.7	Boyes ve Strübi, 1997; Vasco vd., 2009
Malik asit, %	0.07-0.21;0.05-0.53	Boyes ve Strübi, 1997; Vasco vd., 2009
Enerji (kJ/100g)	139-165	Diep vd., 2022a

Ağaç domatesi, yüksek miktardaki azot, fosfor, potasyum, fenolik bileşik ve karotenoid içeriği ile dikkat çekmektedir. Literatürde bu meyvenin epikarpının, lipidlerin oksidasyonu üzerinde güçlü bir engelleyici etkiye sahip olduğu yani önemli bir antioksidan kaynağı olduğu bildirilmektedir. Meyvenin çekirdeklerinin yüksek lipit (%15 ila 17 arasında) içerdiği, linoleik (%70) ve oleik (%15) asitlerce zengin olduğu bildirilmiştir. İçerdiği yüksek oranda doymamış yağ asitlerinin tüketimi ile kalp hastalıkları ve kanseri önlemeye yardımcı olabileceği, cildin korunmasına katkıda bulunabileceği rapor edilmiştir. Kolesterol düşürücü aktivitelerinden dolayı bitkisel yağlarda bulunan steroller, tokoferoller ve skualen gibi minör bileşiklerin önemli olduğu vurgulanarak çekirdeklerin bu bileşenleri içerdiği de kaydedilmiştir (Achicanoy vd., 2018).

Mwithiga vd. (2007), Kenya'da yetişen ağaç domateslerini olgunlaşma durumuna göre 11 farklı gruba ayırıp, sertlik, renk, meyve suyu verimi, pH ve toplam çözünür katı madde analizlerine tabi tutmuşlardır. Olgunlaşmayla L, b ve sertlik değerleri azalırken; a, meyve suyu verimi, pH ve toplam çözünür katı madde değerlerinin arttığını kaydetmişlerdir. Kabuğun açık renk indeksiyle iç kısmının rengi ve sertlikle meyve suyu verimi arasında bir ilişki olduğunu bildirmişlerdir.

Pantoja vd. (2009), Minas Gerais eyaletinde Vale do Jequitinhonha bölgesinde

yetişen sarı ve kırmızı ağaç domatesi çeşitlerinin fiziksel ve fizikokimyasal özelliklerini belirlemişlerdir. İki çeşit arasında büyük bir benzerlikler olduğunu, sadece kül (%0.152 ve 1.054) ve indirgen şekerler (%5.283 ve % 2.979) açısından bir farklılık olduğunu bildirmişlerdir. Meyvelerin pulp veriminin %67'den fazla, suda çözünür katı maddenin (ÇKM) ortalama %12.5, ÇKM/toplam asit oranının 7.0'ın üzerinde olduğunu kaydetmişlerdir.

Vasco vd. (2009), Ekvador'da yetiştirilen altın sarısı ve mor-kırmızı ağaç domateslerinin çeşitli fiziksel ve kimyasal özelliklerini belirlemişler ve sonuçları literatürde İspanyol ağaç domatesleri için bildirilen değerlerle karşılaştırmışlardır. Altın sarısı ve mor-kırmızı Ekvador meyvelerinin İspanyol meyvelerinden daha büyük (107 ve 188 g), daha yumuşak olduğunu, yağ (%0.72 ve %0.6) ve malik asit (%0.32 ve %0.53) içeriği hariç diğer kimyasal özellikler bakımından genel olarak benzeştiğini bildirmişlerdir. Genel olarak meyvelerin potasyumca (400 mg/100 g) zengin olduğunu belirtmişlerdir. Sarı ve mor-kırmızı çeşitlerin toplam fenolik içeriklerinin sırasıyla 125 ve 187 mg /100 g olduğunu, sarı renkteki çeşidin, daha düşük DPPH giderme etkisine sahip olduğunu kaydetmişlerdir. Flavonollerin sadece kabukta, hidrokisisamik asit türevlerinin ise hem kabuk ve pulpta bulunduğunu rapor etmişlerdir.

Torres (2012), Venezuela'da yetişen ağaç domatesi meyvelerinin fiziksel (ağırlık, boyut ve nem) ve kimyasal (suda çözünür katı madde, toplam asitlik, pH, protein, diyet lifi, kül, mineraller, pektin, antioksidan bileşikler) özelliklerini araştırmıştır. Meyvelerde 10.51 Bx, 3.5 pH ve 0.02 g/100ml asitlik ve %74 pulp verimi belirlemiştir. 100 g meyve pulpunda, 30 Kcal enerji, 4.10g diyet lifi, 331.32 mg fosfor, 21.25 mg kalsiyum, 21.18 mg magnezyum, 17.03 mg potasyum ve 7.44 mg demir ve 1.00 g pektin saptamıştır. Kalsiyum ve demir için biyoyararlılık değerlerini %6.71 ve %1.86 olarak rapor etmiştir. Ekstrakte edilen pektinin yüksek esterleşme derecesine sahip yüksek metoksilli olduğunu kaydetmiştir. Pulpta DPPH için EC₅₀ değerini 165.00 g/g, askorbik asiti 23.32 mg/100g, likopeni 1.22 mg/100g, fenolik bileşikleri 1.39 mg/g, antosiyaninleri 0.29 mg siyanidin/mg ve taneni 0.40 mg/100g şeklinde bulmuştur.

Acosta-Quezada vd. (2015), 23 ağaç domatesi ve bu meyveyle aynı familyadan olan 3 *Solanum cajaniense* meyvesinin bileşimini belirlemişlerdir. Ağaç domatesinin önemli şeker ve organik asit temsilcilerinin sakaroz ve sitrik asit olduğunu, mor çeşitlerin sarı-turuncu çeşit gruplarındakine benzer karotenoid içeriğine sahip olduğunu

ve iyi bir K, Mg ve Cu kaynağı olduğunu rapor etmişlerdir.

a. Karbonhidratlar ve Diyet Lif

Ağaç domatesi meyvelerinin yaklaşık %86'sı sudur. Katı kısım esas olarak yüksek miktarda karbonhidratlar ve diyet lifi, az miktarda protein ve yağdan oluşmuştur. Çiçeklenme aşamasından ağaç domatesi meyvesinin olgunlaşmasına kadar geçen süre yaklaşık 21-27 haftadır ve bu süreçte meyvenin bileşiminde çok büyük farklılıklar olur. Örneğin olgunlaşmamış meyveler yaklaşık %14 kadar nişasta içerirken tam olgunlaştığında %1'in altına düşer. Turuncu, turuncu-sivri, kırmızı, kırmızı-konik ve mor çeşitlerde sakaroz miktarı genellikle glikoz ve fruktozdan daha yüksektir. Meyve önemli miktarda diyet lifi içerir (4 g/100 g'dan fazla yaş ağırlıkta). Yeni Zelanda Bitki ve Gıda Araştırmaları Enstitüsü, ağaç domatesinde %3.2-3.3 diyet lif olduğunu ve günlük lif alımının %11'ine katkıda bulunduğunu bildirmiştir. Çözünür bir lif olarak bu meyveden pektin yüksek miktarda bulunur. Bu meyveden elde edilen pektin, gıda üretiminde sineresisin önlenmesi, viskozite ve jelleşme özelliklerinin kontrolünde yardımcı olabilir (Diep vd., 2022a). Ağaç meyvesinin karbonhidrat kompozisyonuyla ilgili yapılan çalışmalar Tablo 2.2 verilmiştir.

Tablo 2.2:Ağaç domatesinin farklı kısımlarının karbonhidrat içeriği

Şekerler/üronik asit	Kabuk	Pulp	Kaynak
Mannoz	0.2-0.4a	1.0-1.1a	Diep vd., 2020a
Fruktoz	1.8 -5.1a	8.4 -13.2a;10.2- 14.2b	Diep vd., 2020a; Chen vd., 2021
Ksiloz	0.02-0.03a	0.03- 0.04a	Diep vd., 2020a
Ramnoz	0.01-0.01a	0.01- 0.01a	Diep vd., 2020a
Galaktoz	0.2- 0.4a	1.0-1.2a	Diep vd., 2020a
Glukoz	1.3-3.6a	5.8 -9.1; 12.1-15.3b	Diep vd., 2020a; Chen vd., 2021
Sakaroz	-	18.7- 38.7b	Chen vd., 2021
Riboz	0.02-0.03a	0.04-0.1a	Diep vd., 2020a
Arabinoz	0.03-0.1a	0.1a	Diep vd., 2020a
Glukoronik asit	0.04 -0.1a	0.04 -0.1a	Diep vd., 2020a

*a g/100g k.m; b mg/100ml

Boyes ve Strübi (1997), yüksek performanslı sıvı kromatografisiyle (HPLC), Yeni Zelanda'da yetiştirilen 2 kırmızı ve 1 sarı ağaç domatesi çeşidinin şeker ve organik asit kompozisyonunu belirlemişlerdir. Tatlı kırmızı çeşidin (Andys Sweet Red), daha buruk tattaki çeşide (Secombes Red) göre daha yüksek şeker ve şeker/asit oranına sahip olduğunu, aynı şekilde sarı çeşidin (Goldmine) de daha yüksek şeker ve asit içerdiğini bildirmişlerdir. Ordenez vd. (2005), ağaç domatesinde meyve gelişimi boyunca şeker içeriği ile invertaz ve sakaroz sentaz aktivitelerindeki değişimi incelemişlerdir. Bu

meyvede sakaroz değil indirgen şekerler biriktiğini kaydetmişlerdir. Ham meyvede protoplast, vakuol ve apoplast kısmında sırasıyla 16.35, 12.08 ve 2.4 mmol/kg indirgen şeker; 5.2, 4.1 ve 1.3 mmol/kg fruktoz ile 6.4, 4.8 ve 3.5 mmol/kg sakaroz; olgun meyvede 290, 198, 12.2 mmol/kg indirgen şeker; 176, 114.6 ve 6.1 mmol/kg fruktoz, 2.5, 1.7 ve 2.7 mmol/kg sakaroz biriktiğini belirlemişlerdir. Fruktoz ve glukozun esas olarak vakuolde lokalize olduğunu ve çözünür asit invertaz aktivitesinin olgun meyvelerde, sakaroz sentaz aktivitesinin ise genç meyvelerde yüksek olduğunu bildirmişlerdir. Çözünür invertaz aktivitesinin olgunlaşmayla 22 Enzimatik aktivite (EA)'dan 250 EA'ya yükseldiğini, hücre duvarına bağlı invertaz aktivitesinin ise 5.8 EA'dan 'den 2.3 EA'ya düştüğünü kaydetmişlerdir.

Gannasin vd. (2015a), ağaç domatesinin mezokarpında hem polar hem de polar olmayan pigmentlerin bulunmasını hidrokolloidler ve özellikleriyle ilişkili olduğunu bildirerek hem antosiyanin bakımından zengin çekirdek müsilaajlarından hem de karotenoid bakımından zengin pulp kısmından hidrokolloidleri ekstrakte edip karakterize etmişlerdir. Çekirdek müsilaajından hidrokolloidleri ekstrakte etmede su ve %1 sitrik asit kullanılırken, pulp kısmından ekstraksiyonda %72 etanol ve 20 mM HEPES tamponu kullanılmışlardır. Çekirdek müsilaaj hidrokolloidinin arabinogalaktan ve protein-pektin kompleksinden oluştuğunu, pulp hidrokolloidinin ise proteinler ve nötr polisakaritler ile hemiselülozik polisakaritlerden oluştuğunu saptamışlardır.

Gannasin vd. (2015b), kırmızı ağaç domatesinin mezokarpının iki farklı kısmından elde edilen iki tip hidrokolloidin, sindirim enzimlerine dirençli olduğunu ve farklı *in vitro* prebiyotik aktivite sergilediğini rapor etmişlerdir. Bifidobakterilerin ve laktobasillerin büyümesini; %1 sitrik asit veya su kullanarak ekstrakte ettikleri düşük molekül ağırlıklı çekirdek müsilaaj hidrokolloidlerinin, 20 mM HEPES tamponu veya %72 etanol kullanılarak ekstrakte ettikleri yüksek molekül ağırlıklı pulp hidrokolloidlerinden daha fazla teşvik ettiğini kaydetmişlerdir. Çekirdek müsilaaj hidrokolloidlerin pulp hidrokolloidlerine göre daha fazla patojen bakteri sayısını azalttığını, çekirdek müsilaaj hidrokolloidinin *in vitro* fermentasyonunun daha yüksek asetat üretimi ile sonuçlanırken, pulp hidrokolloid fermentasyonundan daha yüksek propiyonat konsantrasyonu ile sonuçlandığını bildirmişlerdir. Bu meyve hidrokolloidlerinin prebiyotik olarak rol oynayabileceğini vurgulamışlardır.

do Nascimento vd. (2015), olgun ağaç domatesi meyvelerinin müsilaaj ve

pulplarının polisakkaritlerini karşılaştırmışlardır. Sulu ve alkali özütlemeler ve çeşitli saflaştırma adımlarından sonra, müsilağdan elde edilen fraksiyonların karbonhidrat kompozisyonu, HPSEC ve NMR spektroskopisi ile analiz etmişlerdir. Müsilağ kısmının yüksek miktarda metoksillenmiş homogalakturnan ile karışık Tip I arabinogalaktanlar içerdiğini ve pulp kompozisyonunda farklı olduğunu bildirmişlerdir. Ayrıca pulp ve müsilağ polisakkaritleri arasında pektinlerin yan zincirlerinin uzunluğu ve ksilanların dallanma derecesi gibi yapısal farklılıklar olduğunu da kaydetmişlerdir.

Gannasin vd. (2016), kırmızı ağaç domatesinin çekirdek müsilağı ve pulpundan elde edilen hidrokolloidlerin teknolojik özellikleri ile *in vitro* safra asidi bağlama kapasitelerini araştırmışlardır. %1 sitrik asit veya su kullanılarak ekstrakte edilen çekirdek müsilağ hidrokolloidlerinin iyi bir köpürme kapasitesine (%32-36) sahip olduğunu saptamışlardır. %72 etanol veya 20 mM HEPES tamponu (THH) kullanılarak ekstrakte edilen pulp hidrokolloidlerinin köpürme yeteneği olmadığını ancak yüksek yağ tutma (3.3-3.6 g yağ/g kuru maddede) ve su tutma (25-27 g su/g kuru madde) kapasitelerine sahip olduğunu rapor etmişlerdir. Pulp hidrokolloidinin, ticari yulaf lifi ve çalışılan diğer hidrokolloidlere kıyasla jelatinli ağında daha fazla safra asidi (%2'lik bir hidrokolloid konsantrasyonunda %35-38) tutma yeteneğinde olduğunu kaydetmişlerdir.

Kumar vd. (2016), ağaç domatesinden polisakkaritlerin mikrodalga destekli ekstraksiyonu için parametreleri optimize etmek için Yüzey Yanıt Metodolojisini (RSM) kullanılmışlardır. Polisakkaritlerin ekstraksiyonu için optimum koşulları ekstraksiyon süresi 2 saat; mikrodalga gücü 400 W; ekstraksiyon sıcaklığı 60°C; materyal: su oranı 1:40 (g/mL) şeklinde belirlemişlerdir. Optimum koşullarda, polisakkaritlerin veriminin yüksek (yaklaşık %36.52) olduğunu kaydetmişlerdir. Çalışmada ayrıca polisakkaritlerin *in vitro* antioksidan ve antitümör biyolojik aktivitelerini de değerlendirmişlerdir. Polisakkaritlerin DPPH serbest radikal giderme etkisini (IC₅₀ olarak) 3 mg/mL olarak bulmuşlardır. Polisakkaritlerin 48 saatlik inkübasyondan sonra MCF-7 (meme kanseri), A549 (insan akciğer kanseri) ve HepG2 (karaciğer karsinomu) hatları için IC₅₀ değerini sırasıyla 0.23 mg/mL, 0.17 mg/mL ve 0.62 mg/mL olarak saptamışlardır.

Orqueda vd. (2020), Arjantin'in Yungas ormanında yetiştirilen kırmızı ağaç domateslerinin farklı kısımlarından elde edilen tozların bileşimini ve fonksiyonel gıda

olarak nutrasotik özelliklerini araştırmışlardır. Tozların düşük karbonhidrat ve sodyum içeriğine sahip olmasına rağmen önemli C vitamini, fenolik asit (rosmarinik asit ve kafeoilkinik asit), antosiyaninler, kondanse tanenler, karotenoidler, potasyum ve lif kaynağı olduklarını bildirmişlerdir. Meyve tozlarından elde edilen fenolik ekstraktlarının, simüle edilmiş gastroduodenal sindirimden önce ve sonra yapılan incelemelerde yüksek düzeyde antioksidan aktivite (ABTS, Superoksit, H₂O₂ ve OH radikalini giderme) gösterdiklerini ve α -glukosidaz, α -amilaz ve lipaz gibi metabolik sendromla ilgili enzimleri inhibe edebildiklerini bildirmişlerdir. Meyve tozlarının, glikoz adsorpsiyonunu artırarak, glikoz difüzyon hızını azaltarak ve hücre zarı boyunca glikoz taşınmasını teşvik ederek hipoglisemik etki gösterdiğini kaydetmişlerdir. Bu meyvelerin antioksidan, hipoglisemik ve hipolipemik etkileriyle metabolik sendromu önlemede fonksiyonel gıda bileşenleri veya diyet takviyeleri olarak kullanılma potansiyelini olduğunu ortaya koymuşlardır.

b. Amino asitler

Amino asit içeriği, meyvelerin büyümesi ve olgunlaşma sırasında meydana gelen metabolik değişikliklerin bir sonucudur, dolayısıyla bu parametre optimum olgunlaşma zamanını belirlemede kullanılabilir (Silva vd., 2004). Amino asitler meyvelerin kalitesini aroma, renk ve tat açısından etkiler. Meyve suları ve reçeller gibi meyve türevli ürünlerin üretiminde ısıtma işlem uygulandığında amino asitler, Maillard reaksiyonu yoluyla aroma, renk ve tadı büyük ölçüde etkilemektedirler (Silva vd., 2004). Meyvelerini aminoasit kompozisyonunun bilinmesi, meyve suyu ve reçel gibi meyve bazlı ürünlerde taklit veya tağşişin belirlenmesinde yardımcı olabilir (Silva vd., 2004). Günümüze kadar yapılan çalışmalarda ağaç domatesinin hem kabuk hem de iç kısmında bulunan birçok amino asit saptanmıştır (Tablo 2.3). Malezya ağaç domateslerinde 6 esansiyel aminoasidin (arginin, histidin, izolösin fenil alanin, valin ve treonin) varlığı rapor edilmiştir (Gannasin vd., 2015a).

Tablo 2.3:Ağaç domatesinin farklı kısımlarının aminoasit kompozisyonu (Diep vd., 2020a)

Amino asit	Kabuk, mg/100g, k.m	Pulp, mg/100g, k.m
L-Histidin	30.1-44.2	16.4-80.2
L-Treonin	8.6-11.9	14.4-17.4
L-Lisin	32.9-42.7	67.1-77.3
L-Valin	18.3-21.1	20.6-25.8
L-Methionin	4.2-11.7	9.9-21.0
L-Lösin	17.0-24.4	21.4-28.6

L-İsolösin	17.6-21.2	24.6-28.3
L-Fenilalanin	11.5-14.3	16.2-24.4
L-Triptofan	8.1-10.7	12.6-15.1
Hidroksi-L-Prolin	2.3-2.6	0.4-1.3
L-Arginin	14.6-16.9	29.8-50.2
Etanolamin	11.6-15.8	20.0-23.1
L-Serin	30.8-38.6	37.9-54.0
Glisin	2.8-5.1	7.1-9.2
β-Alanin	1.1-9.0	0.9-5.8
Taurin	0.6-0.7	0.7-0.9
L-Glutamikasit	332-707	2101-4032
L-Alanin	35.2-83.6	77.8-88.7
γ-Aminobütirikasit	168-273	355-489
L-Prolin	58.8-245	47.3-286
β-Amino-isobütirikasit	0.03-0.4	<0.004-0.2
α-Amino bütirikasit	0.3-0.7	0.3-1.1
L-Ornitin	1.5-26.5	3.0-21.3
L-Sistin	0.01-0.1	0.04
L-Tirosin	22.4-60.1	24.4-60.0

Diep vd. (2020a), Yeni Zelanda'da yetiştirilen Amber, Laird's Large ve Mulligan çeşitlerinin fiziksel özellikleri ile indirgen şeker ve amino asit içeriklerini araştırmışlardır. Üç çeşidin tamamında, diyet lifinin yaklaşık %3 olduğunu, Laird's Large'ın diğer çeşitlere kıyasla daha fazla pektin içerdiklerini bildirmişlerdir. Ağaç domateslerinin 22 amino asit içerdiğini, bunlardan 2 esansiyel amino asit ve 5 esansiyel olmayan amino asitin ilk kez bu çalışmayla tespit edildiğini rapor etmişlerdir. Toplam amino asit içeriğinin (kuru maddede) kabuk kısmında 1192-1753 mg/100 g ve pulp kısmında 3455-6077 mg/100 g arasında değiştiğini, tüm çeşitlerde (amber çeşidinin kabuğu hariç) L-glutamik asit, γ-amino bütirikasit ve L-aspartik asitin dominant olduğunu rapor etmişlerdir. Araştırmacılar, tüm çeşitlerde L-histidin ve L-lisinin esansiyel amino asit profiline hakim olduğunu kaydetmişlerdir.

c. Organik asitler ve Vitaminler

Ağaç domatesinin organik asitlerin miktarı 25 haftalık gelişimi boyunca azalır. Bu meyvede ana organik asit olarak malik ve sitrik asit tanımlanmıştır. Çoğu çeşitte sitrik asit konsantrasyonu malik asitten önemli ölçüde yüksektir. Kırmızı ve mor çeşitler, turuncu çeşitlere göre daha yüksek malik asit seviyesine sahiptir. Sitrik asit miktarı en yüksek turuncu çeşitte (6.87 mg/100 g, k.m), en düşük kırmızı çeşitte (5.32 mg/100 g, k.m) bulunmuştur (Diep vd., 2022a).

C vitamini veya askorbik asit, güçlü bir antioksidandır. Kolajen üretimine katkıda bulunur, demir emilimini artırır. Doğal serbest radikal süpürücü olarak bilinen C vitamini peroksinitrite karşı orta düzeyde bir antioksidan aktiviteye sahiptir. Ağaç

domatesi C ve A vitamini başta olmak üzere birçok vitamin içerir (Tablo 2.4). Düzenli ağaç domatesi tüketimiyle, C vitamini (yaklaşık 25–35 mg/100 g) dahil olmak üzere B6 vitamini; E vitamini ve A vitamini (yaklaşık 2475 IU/100 g yenilebilir kısım) gibi birçok vitaminin günlük önerilen ihtiyacın karşılandığı bildirilmiştir (Diep 2022a).

Tablo 2.4: Ağaç domatesinin vitamin içeriği

Bileşen	İçerik (mg/100 g)	Kaynak
Askorbik asit	16-17a;20.6a; 55.90b; 29.8-31a	Vasco vd., 2009; Valente vd., 2011; Mutalib vd., 2017; Diep vd., 2022a
Beta karoten	3.4-5.2a;4.80b	Vasco vd., 2009; Mutalib vd., 2017
E vitamini	1.90-1.94a	Diep vd., 2022a
B6 vitamin	0.20-0.38a	Diep vd., 2022a

a: yaş ağırlıkta, b:kuru maddede

Lister vd. (2005), Yeni Zelanda'da yetişen ağaç domatesi meyvelerinde sarı (24.7 ve 31 mg/100 g) ve kırmızı (34.3 ve 29.8 mg/100 g) çeşitlerde yüksek askorbik asit içeriği bulunurken, Vasco vd. (2008) Ekvador'da yetişen ağaç domatesi kapsayan 17 çeşit meyvenin antioksidan özelliklerini belirledikleri çalışmada, hem altın sarısı hem de mor-kırmızı çeşitlerde askorbik asiti (16-24 mg/100 g) daha düşük belirlemişlerdir. Valente vd. (2011), ağaç domatesini de kapsayan 26 çeşit egzotik meyvenin askorbik asit içeriğini araştırmışlardır. Kromatografik yöntemle belirledikleri çalışmada, en yüksek askorbik asite ağaç çileği (117 mg/100g) en düşük (0.925 mg/100g) kiwonanın sahip olduğunu bildirmişlerdir. Ağaç domatesinin günlük ihtiyacın % 23.6 (erkeklerde) ve %28.3'ünü (kadınlarda) karşılayacak düzeyde (20.6 mg/100g) askorbik asit içerdiğini rapor etmişlerdir.

Yeni Zelanda'da yetişen sarı ve kırmızı ağaç domateslerinde piridoksin veya B6 vitamini seviyeleri sırasıyla 0.38-0.52 ve 0.2-0.58 mg/100 g olarak bildirilmiştir. B6 vitamininin sinir fonksiyonunu desteklemede, kırmızı kan hücreleri üretmede önemli bir rolü vardır. Protein sindiriminin yanı sıra bağışıklık sistemini güçlendirir. Yağda çözünen bir vitamin olan E Vitamini, kalp, akciğer ve sindirim fonksiyonlarını destekler. Yeni Zelanda'da yetişen sarı ve kırmızı ağaç domatesi çeşitlerinde, 1.9-3.5 ve 1.8-1.94 mg/100g E vitamini bulunmuştur (Diep vd., 2022a).

Yağda çözünen başka bir vitamin olan A vitamini ve karotenoidler önemli bir antioksidan aktivite sergilerler ve serbest radikaller ve peroksil radikalleri ile reaksiyona girebilirler. Kivi, domates, portakal ve elma ile karşılaştırıldığında, ağaç domatesi önemli ölçüde daha yüksek pro-vitamin A konsantrasyonuna sahiptir (Diep vd., 2022a).

Karotenoidler ayrıca bazı sebze ve meyvelerin renginden de sorumlu doğal pigmentlerdir (De Rosso ve Mercadante, 2007). Renklendirme potansiyelleri dışında sağlık açısından birçok faydaları vardır. Bazı karotenoidlerin provitamin A aktivitesi dışında, dejeneratif veya kardiyovasküler hastalıklara karşı koruyucu etkileri olduğu ve antioksidan kapasiteye sahip oldukları bilinmektedir (Mertz vd., 2009). Meyvelerin karotenoid içeriği menşesine, kültürel uygulamalara ve çevresel faktörlere göre değişebilmektedir (Mertz vd., 2010). Ağaç domatesi önemli miktarda karotenoid bileşikler içermektedir (Tablo 2.5).

Tablo 2.5: Sabunlaştırmadan önce ve sonra karotenoid bileşiklerdeki değişim (Mertz vd., 2009)

Karotenoidler	Sabunlaşma öncesi, Miktar, µg/g	Sabunlaşma Sonrası, Miktar, µg/g
Zeaksantin	0.1-0.3	0.59-1.7
β- kriptoksantin	1.1-1.5	13.5-15.8
β-Karoten	4.6 -5.1	-
Esters	22.6 -25.7	-
Lutein	-	0.98- 1.25

Rodriguez-Amaya vd. (1983), Brezilya'da yetişen ağaç domatesinin hem kabuk hem de meyve eti kısmında β-karoten, β- kriptoksantin, ζ-karoten, 5,6-monoepoksi-β-karoten, lutein and zeaksantin olmak üzere 6 karotenoid tespit etmişlerdir. Meyvenin iki kısmında da kriptoksantin ve β-karotenin baskın karotenoid olduğunu saptamışlardır. Mertz vd. (2009), böğürtlen, naranjilla ve ağaç domatesinin fenolik ve karotenoid kompozisyonunu belirlemişlerdir. Sarı ve kırmızı ağaç domatesinde sırasıyla sabunlaştırmadan önce 0.1 µg/g ve 0.3 µg/g zeaksantin, 1.1 µg/g ve 1.5 µg/g β-kriptoksantin, 4.6 µg/g ve 5.1 µg/g β-karoten; sabunlaştırmadan sonra 0.98 µg/g ve 1.25 µg/g lutein, 0.59 µg/g ve 1.7 µg/g zeaksantin ile 13.5 µg/g ve 15.8 µg/g β-kriptoksantin saptamışlardır.

Mertz vd. (2010), yüksek performanslı sıvı kromatografisi (HPLC-PDA/MS) ile sarı ağaç domatesinin karotenoid içeriğini ve sıcaklıkla değişimini araştırmışlardır. Meyvede palmitik ve miristik asitlerle esterleşmiş halde ksantofilleri izole etmişler ve başlıca karotenoidler olarak all-*trans*-β-kriptoksantin esterleri ve all-*trans*-β-karoteni saptamışlardır. Gazı alınmış ve alınmamış domates ağacı nektarlarında termal pastörizasyonunun karotenoid ve C vitamini üzerine etkilerini incelemişlerdir. Zeaksantin esterlerinin, ısıya daha az dayanıklı olduğunu ve karotenoidlerin bozunmasının çözünmüş oksijen seviyesinden etkilenmediğini ancak ısı işlemin 5,8-

epoksidasyon ve *cis*-izomerizasyona neden olduğunu gözlemlemişlerdir.

Giuffrida vd. (2018), sarı ağaç domatesinden karotenoidlerin karakterizasyonu ve apokarotenoidlerin tespiti için süper kritik akışkan ekstraksiyon ve süper kritik akışkan kromatografisinin üçlü dört kutuplu kütle spektrometrisiyle (SFE-SFC-QqQ/MS) birleştirilmesine dayanan bir çevrimiçi yöntem ve hem konvansiyonel bir C30 hem de 2 mikron altı partiküllere sahip yeni bir C30 kolonu kullanılarak çevrim dışı bir sıvı ekstraksiyonu (LE) ve LC-PDA-MS ile analiz etmişlerdir. Serbest karotenoidler, karotenoidlerin monoesterleri, karotenoidlerin diesterleri ve apokarotenoidler dahil olmak üzere, 18 dakikadan daha kısa bir sürede geliştirilen SFE-SFC-QqQ/MS metodolojisi ile 31 bileşik ekstrakte etmişler ve bu 31 bileşikten 3 antheraksantin monoester ile 9 apo karotenoidin sarı meyvede ilk kez tespit edildiğini rapor etmişlerdir.

Puspawati vd. (2018), Endonezya'da yetişen ağaç domatesinin polar ve polar olmayan iki pigmentinin (antosiyenin ve karotenoid) ekstraksiyonunda sonikasyonun etkisini araştırmışlar ve sonuçları maserasyon tekniğiyle elde ettikleri ekstraktlarla karşılaştırmışlardır. Sonikasyon yöntemiyle hem antosiyenin hem de karotenoid için antioksidan potansiyelleri, maserasyon yöntemiyle elde edilenlerden daha yüksek olduğunu rapor etmişlerdir. Maserasyon ve sonikasyon kullanılarak yaptıkları ekstraksiyon sonucunda, maserasyonla toplam antosiyaninde %34.77 (386.48 mg/100 g), toplam karotenoidlerde %64.74 (50.80 mg/100 g) daha fazla verim elde etmişlerdir.

Diep vd. (2020b), Yeni Zelanda'da yetişen 3 farklı ağaç domatesi meyvesinin (Amber (sarı), Laird's Large (kırmızı) ve Mulligan (mor-kırmızı)) pulp ve kabuk (ekzokarp) kısmında sıvı kromatografi-kütle spektrometrisi/kütle spektrometrisi (LC-MS/MS) ile karotenoidler, α - tokoferol ve askorbik asit içeriklerini analiz etmişlerdir. En yüksek β -karoten (0.9 mg/100 g), α - tokoferol (1.9 mg/100 g) ve askorbik asit (28 mg/100 g) içeriğine Mulligan çeşidinin sahip olduğunu, pulpa nazaran kabuk kısımlarının daha yüksek α - tokoferol, daha düşük β -karoten ve askorbik asit içerdiklerini bildirmişlerdir.

d. Mineral maddeler

Ağaç domatesi, kalsiyum, bakır, demir, magnezyum, manganez, fosfor ve çinko gibi çeşitli mineraller içerir. En dikkat çekici olanı yüksek potasyum içeriğidir.

Potasyum, sinir hücrelerinin düzgün çalışması için hayati öneme sahiptir. Bu meyve, bakır, manganez ve magnezyum dahil olmak üzere diğer minerallerin de önemli kaynağıdır (Tablo 2.6). Bu mineraller hayati işlevler taşırlar. Bakır içeriği sağlık açısından önemlidir. İnsan vücudu, demiri düzgün kullanabilmek için bakıra ihtiyaç duyar. Artan magnezyum alımının, yaşlı insanlarda glikoz toleransını ve insülin direncini iyileştirdiği bildirilmiştir (Diep vd., 2022a).

Tablo 2.6: Ağaç domatesinin farklı kısımlarına ait mineral madde içeriği (Orqueda vd., 2017)

Mineral madde, mg/100g (k.m de)	Kabuk	Pulp	Çekirdek
Sodyum	15.40	16.30	13.20
Magnezyum	136.6	170.60	243.60
Potasyum	3892.30	4975.70	4073.20
Kalsiyum	247.90	133.03	111.20
Demir	2.70	2.10	4.40
Bakır	0.20	0.50	0.70
Çinko	0.80	1.00	1.90

e. Fenolik Bileşikler

Ağaç domatesi, fenolik bileşikler, karotenoidler ve askorbik asit gibi birçok fitokimyasal içermektedir. Biyoaktif bileşenlerdeki farklılıklar, çeşit, olgunluk düzeyi, çevresel koşullar, kullanılan ekstraksiyon ve analitik analiz yöntemlerinden kaynaklanmaktadır (Diep vd., 2022a).

Fenolik bileşikler, ağaç domatesinin antioksidan aktivitesine katkıda bulunan en önemli biyoaktif bileşenidir. Fenolik bileşiklerden olan antosiyaninler, bitkiler aleminde suda çözünür pigmentlerin en büyük grubudur. Meyve ve sebzelerin kırmızı ve mavi renklerinden sorumludurlar. Son zamanlarda parlak çekici renkleri, suda yüksek çözünürlüğü ve sağlık açısından yararları nedeniyle gıda endüstrisinde pigment olarak kullanılmaktadırlar (Osorio vd., 2012). Antosiyaninler, renklendirici olmaları yanı sıra, koroner kalp hastalığı ve felç riskini azaltma, antikanserojenik aktivite, anti-inflamatuar etki, görme keskinliği ve bilişsel fonksiyonları artırma gibi sağlık açısından potansiyel faydalara da sahiptirler (Clifford, 2000). Yararlı etkilerine rağmen işleme, formülasyon ve depolama koşullarına karşı düşük stabiliteleriyle bilinirler. Konsantrasyon, sıcaklık, pH, oksijen, enzimler, metal iyonları, askorbik asit ve su aktivitesindeki değişiklikler pigmentlerin kaybına yol açmaktadır (Olaya vd., 2009). Antosiyaninleri de kapsayan fenolik bileşikler, insan sağlığı üzerine olan yararlı etkileriyle bilinen, kardiyovasküler hastalık, çeşitli kanserler ve diğer patolojilerin

riskini azaltan, radikal süpürücü özelliklere sahip antioksidan özellikte ikincil bitki metabolitleridir (Espín vd., 2016). Ağaç domatesi meyveleri, yüksek fenolik madde ve antosiyanin içeriği nedeniyle umut verici doğal pigment ve antioksidan kaynaklarındandır (Tablo 2.7).

Wrolstad ve Heatherbell (1974), ağaç domatesi meyvesinin farklı kısımlarındaki antosiyanin pigmentlerini izole etmişler ve pelargonidin-3-rutinosit, pelargonidin-3-glukozit, siyanidin-3-rutinosit, siyanidin-3-glukozit, delfinidin-3-rutinosit ve delfinidin-3-glukozitin varlığını tanımlamışlardır. Meyvede çekirdekleri çevreleyen yoğun mor renkli jölenin, en yoğun antosiyanin konsantrasyonuna sahip olduğunu, ana pigmentin ise delfinidin-3-rutinosit olduğunu bildirmişlerdir. Bu kısımda flavonlar, flavonoller ve lökoantosiyaninlerin de mevcut olduğunu saptamışlardır. Toplam antosiyanini kabuk kısmında 0.977 $\mu\text{mol/g}$, çekirdek çevresinde 6.42 $\mu\text{mol/g}$ ve meyve etinde 0.323 $\mu\text{mol/g}$ şeklinde kaydetmişlerdir. Sarı renkli meyve etinin, flavonlar ve az miktarda antosiyaninler içerdiğini, kabuk kısmının ana antosiyaninin siyanidin-3-rutinosit olduğunu rapor etmişlerdir.

De Rosso ve Mercadante (2007), fotodiyot dizisine ve kütle spektrometri dedektörlerine bağlı yüksek performanslı sıvı kromatografisi (HPLC-PDA-MS) kullanarak ağaç domatesi meyvelerinin karotenoid ve antosiyanin profilini belirlemişlerdir. Ağaç domatesi meyvelerinde, toplam antosiyanin ve karotenoidi sırasıyla 8.5 mg/100 g ve 4.4 mg/100 g olarak saptamışlar ve 3 antosiyanin ve 17 karotenoid pigment içerdiğini bildirmişlerdir. Dominant pigmenti antosiyaninlerden delfinidin 3-rutinosit, karotenoidlerden beta-kriptoksantin olarak rapor etmişlerdir.

Tablo 2.7: Ağaç domatesinin fenolik bileşik kompozisyonu

Bileşen	Miktar, mg/100g km.de	Kaynak
Kafeoilglukozit	3.7-9.7; 1.35-29.26	Mertz vd., 2009; Espín vd., 2016
Dehidrodiferulikasit (I)	0.06-21.14	Espín vd., 2016
3-O- kafeoilkuinikasit	25.04-163.62	Espín vd., 2016
Dehidrodiferulikasit (II)	7.50-22.09	Espín vd., 2016
5-O- kafeoilkuinikasit	32.8-54.8; 0.51-.62	Mertz vd., 2009; Espín vd., 2016
Feruloilglukozit	6.3-9.8; 0.21-3.01	Mertz vd., 2009; Espín vd., 2016
Rosmarinikasitglukozit (isomer I)	3.27-14.85	Espín vd., 2016
Rosmarinikasitglukozit (isomer II)	2.01-14.62	Espín vd., 2016
Rosmarinikasitglukozit (isomer III)	3.56-19.71	Espín vd., 2016
Rosmarinikasitglikozitmaloniltürevi	1.61-6.30	Espín vd., 2016
Rosmarinikasitglukozit (isomer IV)	0.86-5.70	Espín vd., 2016

Dikafooil kuinik asit	17.1-21.0	Mertz vd., 2009
Rosmarinik asit	12.22-121.89	Espín vd., 2016
Total hidroksisinnamoil türevleri	60.25-421.55	Espín vd., 2016
Klorojenikasit	54.67-73.95	Diep vd., 2020c
Kafeik asit	1.01-1.32	Diep vd., 2020c
p-kumarik asit	0.07-0.12	Diep vd., 2020c
Ferulik asit	<0.005-0.02	Diep vd., 2020c
Toplam hidrosinamik asit	55.80-75.37	Diep vd., 2020c
Gallik asit	0.79-1.00	Diep vd., 2020c
Ellajik asit	0.09-0.11	Diep vd., 2020c
Total hidroksibenzoik asitler	0.90-1.09	Diep vd., 2020c
Kamferol	0.45-0.50	Diep vd., 2020c
Kateşin	0.30-3.91	Diep vd., 2020c
Epikateşin	1.34-2.31	Diep vd., 2020c
Rutin	0.97-3.23	Diep vd., 2020c
Kamferol-3-rutinosit	30.72-50.04	Diep vd., 2020c
Isoramnetin-3-rutinosit	0.13-0.16	Diep vd., 2020c
Toplam flavonol glikozitler	34.11-51.14	Diep vd., 2020c
Toplam flavonoller	0.45-0.50	Diep vd., 2020c
Total flavanoller	2.03-5.25	Diep vd., 2020c
Toplam fenolikler	96.56-122.26	Diep vd., 2020c
Delfinidin-3-rutinosit	32.7; 21.79-87.43; 29.17-254.76	Mertz vd., 2009; Espín vd., 2016; Diep vd., 2020c
Siyanidin-3-rutinosit	12.1; 0.18-30.67	Mertz vd., 2009; Diep vd., 2020c
Delfinidin glukozil rutinosit	5.3	Mertz vd., 2009
Pelargonidin-3-rutinosit	115; 78.07-76.96; 0.35-200.66	Mertz vd., 2009; Espín vd., 2016; Diep vd., 2020c
Toplam antosiyanin	102.35-168.88; 29.70-486.84	Espín vd., 2016; Diep vd., 2020c

Osorio vd. (2012), ağaç domatesi (kırmızı çeşit) ve Andes meyvesinin (*Rubus glaucus* Benth.) antosiyanin bileşimini HPLC-PDA ve HPLC-ESI/MS ile belirlemişlerdir. Antosiyanin ekstraktlarını saflaştırıp bunların kesin yapılarını 1D ve 2D NMR ile analiz etmişlerdir. Ağaç domateslerinde siyanidin-3-O-rutinosit, pelargonidin-3-O-rutinosit ve delfinidin-3-O-rutinosit ve yeni tanımlanan delfinidin 3-O- α -L-ramnopiranosil-(1 $\rightarrow$ 6)- β -D-glukopiranozid-3'-O- β -D-glukopiranozitin varlığından söz etmişlerdir.

Espín vd. (2016), Ekvador'da yetiştirilen sarı ve mor ağaç domatesi çeşitlerinin fenolik bileşikleri ve antioksidan kapasitelerini araştırmışlar ve 12 hidroksisinnamoil türevi ve 4 antosiyanin (mor çeşitlerde) tespit edip tanımlamışlardır. Mor çeşitlerde ana antosiyaninlerin pelargonidin 3-O-rutinosit ve delfinidin 3-O-rutinosit olduğunu rapor etmişlerdir. Mor çeşidi, hem hidroksisinnamatlar (421.6 mg/100 g kuru maddede) hem de antosiyaninler (168.9 mg/100 g kuru maddede) bakımından zengin olduğunu bunun FRAP, ABTS ve ORAC yöntemleriyle belirlenen antioksidan kapasite değerlerine de yansıdığını bildirmişlerdir.

Aguiar vd. (2020), ağaç domatesini kapsayan bazı meyve ve sebzelerin (domates, su teresi, brokoli, ıspanak, beyaz ve turuncu havuç, kırmızı pancar, sarı ve kırmızı soğan ve sarımsak) antioksidan aktivitesi ile fenolik bileşik kompozisyonunu araştırmışlardır. Polifenollerin izolasyonu için klasik prosedürde kullanılan manuel çalkalama yerine ultrason ekstraksiyonu ile birlikte QuEChERS'a dayalı yenilikçi ve yüksek verimli analitik bir yaklaşım kullanmışlardır. Antioksidan aktiviteyi tespit etmede 3 farklı teknikten (ABTS, DPPH ve FRAP) yararlanmışlardır. Çalışılan materyallerden kırmızı soğan, ağaç domatesi ve pancarın antioksidan aktivitesinin, diğerlerinden daha yüksek olduğunu bildirmişlerdir. Ağaç domatesinde toplam fenolik maddeyi 1.10 mg/g, toplam flavonoidi 0.69 mg/g toplam antosiyanini 17.3 µg/g olarak bulmuşlardır. Bireysel fenoliklerden sadece (+)-kateşin (14.8 µg/g), gentisik asit (14.8 µg/g) ve vanilik asit (5.8 µg/g) içerdiğini saptamışlardır.

Diep vd. (2020c), Yeni Zelanda'nın Kuzey Bölgesi Whangarei'de yetiştirilen Amber, Laird's Large ve Mulligan ağaç domatesi çeşitlerinin kabuk ve pulp kısımlarının fenolik bileşik ve antosiyanin profilleri ile antioksidan aktivitelerini (CUPRAC ve FRAP yöntemiyle) incelemişlerdir. LC-MS/MS kullanarak yaptıkları çalışmada, 12 polifenolü teşhis edebilmişler ve bunlardan 6'sına (elajik asit, rutin, kateşin, epikateşin, kamferol-3-rutinosit ve isoramnetin-3-rutinosit) ilk kez rastlandığını bildirmişlerdir. Kabuk ve pulp kısmında sırasıyla toplam fenolik maddeyi kurumaddede 1583.3-2225.06 mg/100g ve 678.98-874.9 mg/100g, CUPRAC değerini 117.59-265.29 µmol/g ve 42.92-71.57 µmol/g, FRAP değerini 84.7-161.74 µmol/g ve 52.23-72.14 µmol/g olarak belirlemişler ve kabukların iç kısma göre daha yüksek antioksidan aktivite ve toplam fenolik içeriğe sahip olduğunu rapor etmişlerdir. Pulpta baskın antosiyaninin delfinidin-3-rutinosit, 3 çeşitte de baskın fenolik bileşiğin klorojenik asit olduğunu bildirmişlerdir.

f. Antioksidan aktivite

Castro-Vargasa vd. (2013), ağaç domatesinin doğal antioksidanlarca zengin olduğunu, yüksek antioksidan aktivite, yüksek radikal temizleme potansiyeli ve *in vitro* koşullarda LDL oksidasyonuna karşı güçlü bir inhibitör etkisi olduğunu belirterek epikarp kısmından elde edilen ekstratların pişmiş sığır etinde oksidasyonu önlenmedeki etkisini araştırmışlardır. Ekstraksiyonda süperkritik sıvı ekstraksiyonu (SFE) ve sokselet ekstraksiyonu (SE) kullanmışlardır. SFE'yi farklı sıcaklık ve basınçlarda (40

ve 50 °C; 10, 20 ve 30 MPa) saf CO₂ ile gerçekleştirilmişlerdir. Yardımcı çözücü olarak etanol (2, 5 ve % 8) kullanmışlardır. Ekstraktların antioksidan aktivitesi ve etteki lipid oksidasyonuna karşı korumasını, lipid hidroperoksitler (LHP) ve tiyobarbitürik asit reaktif türleri (TBARS) ölçerek belirlemişlerdir. En yüksek antioksidan aktiviteyi, SFE (CO₂/etil alkol; 50 °C/30 MPa ve %2 etil alkol) ile elde edilen ekstraktlarda saptamışlardır. Bu ekstraktlar, sentetik antioksidan TBHQ (ter-butil hidrokinon) ile karşılaştırıldığında, daha iyi bir antioksidan aktivite göstermiş ve araştırmacılar epikarp kısmının potansiyel bir antioksidan bileşik kaynağı olduğunu kanıtlamışlardır.

Ghosal vd. (2013), iki çeşit ağaç domatesi meyvesinin farklı olgunluk aşamalarındaki antioksidan aktivitesini *in vitro* olarak değerlendirmişlerdir. Meyvelerin metanol ekstraktlarında 2,2-difenil-1-pikrilhidrazil, süperoksit anyon, hidroksil radikali, lipid peroksidasyonu, nitrik oksit ve indirgeme gücü ile flavonoidler, fenolikler, likopen ve toplam karoten içeriklerini araştırmışlardır. Tüm meyvelerin özellikle mor-kırmızı çeşidin olgun meyvelerinin, daha yüksek toplam fenolik madde, flavonoid, likopen, toplam karoten ile tüm radikallere karşı güçlü süpürücü aktivite sergilediğini bildirmişlerdir.

Atiqah vd. (2014), domates, çeri domates ve ağaç domatesinin antioksidan özelliklerini karşılaştırmışlardır. Çalışmayı, su ve etil alkol (%70'lik) ekstraktlarında gerçekleştirmişlerdir. En yüksek antioksidan aktiviteyi (etil alkol ekstraktında %22.92, su ekstraktında %28.89), DPPH serbest radikal giderme etkisini (etil alkol ekstraktında 44.25 µg/ml, su ekstraktında 47.38 µg/ml), ferrik indirgeme aktivitesini (etil alkol ekstraktında 12.17 µM Fe (II)/g, su ekstraktında 3.72 µM Fe (II)/g), fenolik madde içeriğini (etil alkol ekstraktında 7.63 mg GAE/g, su ekstraktında 1.83 GAE/g) ve flavonoid içeriğini (etil alkol ekstraktında 6.44 mg CE/g, su ekstraktında 2.22 mg CE/g) ağaç domatesinde belirlemişlerdir.

Mutalib vd. (2017), ağaç domatesinin farklı çözücü ekstraktlarının biyoaktif bileşenleri ve antioksidan aktivitelerini karşılaştırıp etil alkol ekstraktlarının iki tip kanser hücre hattında (karaciğer ve meme kanseri hücresi) kullanarak, kanser hücresi ölümü üzerindeki etkilerini incelemişlerdir. Meyvelerin genel bileşiminin (kül, protein, karbonhidrat ve toplam diyet lifi) ve mineral düzeylerinin (kalsiyum, magnezyum, potasyum ve demir) orta düzeyde olduğunu, etil alkol ekstraktının yüksek fenolik madde ve toplam flavonoid içerdiğini bildirmişlerdir. Etil alkol, etilasetat, n-bütanol ve

saf suyla elde edilen ekstraktların antioksidan aktivitesini sırasıyla beta karoten beyazlatma etkisini %79.30, 57.50, 68.60 ve %55.20; DPPH serbest radikal giderme etkisini (IC_{50} olarak) 0.80, 1.40, 0.70 ve 1.75 mg/mL olarak bulmuşlardır. FT-IR analizinin meyvede alkanlar, karboksilik asit, fenol, aromatikler ve azot bileşiklerinin varlığını ortaya koyduğunu, GC-MS analizinin ise 12 biyoaktif bileşeni açığa çıkardığını rapor etmişlerdir. Ayrıca, sitotoksik aktivite, meyvelerin etil alkol ekstraktlarının meme ve karaciğer kanseri hücreleri üzerine kemopreventif etkiye sahip olduğunu bildirmişlerdir. Etil alkol, etil asetat, n-bütanol ve saf suyla elde edilen ekstraktların sitotoksik etkisini (IC_{50} olarak) sırasıyla HepG2 hücre hattı üzerine 10.0, 44.0, 26.0 ve 110.0 μ g/mL, MDA-MB-231 hücre hattı üzerine 80.0, 82.0, 96.0 ve 130 μ g/mL şeklinde tespit etmişlerdir. Sonuç olarak bu meyvenin antikanser özelliklerinin yanı sıra önemli antioksidan aktiviteye sahip olduğunu da ortaya koymuşlardır.

Orqueda vd. (2017), Arjantin'in Yungas bölgesinde yetiştirilen ağaç domatesi meyvelerinin farklı kısımlarının bileşim ve fonksiyonel özelliklerini araştırmışlardır. Bunun için tüm meyve, çekirdek, pulp ve kabuk kısmını liyofilize etmişlerdir. Elde edilen tozların düşük karbonhidrat ve sodyum içeriğine sahip olduğunu ancak önemli bir C vitamini, karotenoid, fenolikler, potasyum ve lif kaynağı olduğunu bildirmişlerdir. HPLC-ESI-MS/MS ile yapılan analizde, 12 kafeik asit türevi, 10 rosmarinik asit türevi ve 7 flavonoid içerdiği belirlenmiştir. Fenolikçe zengin ekstraktların simüle edilmiş gastroduodenal sindirimden önce ve sonra, α -glukosidaz, amilaz ve lipaz dahil olmak üzere metabolik sendromla ilişkili enzimleri inhibe ettiğini, önemli antioksidan aktivite sergilediğini bildirmişlerdir. Analiz edilen meyve tozlarının hiçbirinde akut toksisite veya genotoksisiteye rastlamamışlar ve meyvenin farklı 3 kısmının da potansiyel bir fonksiyonel gıda olabileceği sonucuna varmışlardır.

Rohilla ve Mahanta (2017), sarı ve kırmızı ağaç domatesi meyvelerinin fenolik bileşiklerini ultrason destekli ekstraksiyon ile optimize etmişler, bunun için yüzey yanıt metodolojisi ve Box-Behnken tasarımı kullanmışlardır. Optimizasyon çalışmasından önce 4 çözücünün (destile su, etanol, aseton ve metanol) fenolik verimini karşılaştırmışlar ve asetonun en iyi çözücü olduğunu bularak optimizasyonu bu çözücüyle tasarlamışlardır. Çalışmada bağımsız değişken olarak ekstraksiyon süresi (5-15 dakika), genlik (%20-60) ve çözücü konsantrasyonunu (%50-80), bağımlı değişken olarak toplam fenolik madde, flavonoid ve DPPH radikal giderme etkisini almışlardır. Optimum koşulları sarı ve kırmızı meyveler için sırasıyla çözücü konsantrasyonu %73

ve 78, genlik % 43 ve 46 ve süre 12 dakika olarak saptamışlardır. Optimum şartlarda toplam fenolik madde, toplam flavonoid ve DPPH serbest radikal giderme etkisini sırasıyla sarı meyvelerde 23.96 mg/g, 5.61 mg/g ve %96.31, kırmızılarda ise 14.97 mg/g, 4.86 mg/g ve %95.22 olarak saptamışlardır.

Setyowati vd. (2019), ağaç domatesi meyvesinin çözücü bileşimi, maserasyon süresi, sıvı-katı oranı ve partikül boyutu gibi bazı ekstraksiyon koşullarının toplam fenolik madde ve antioksidan aktiviteye etkisini araştırmışlardır. Meyveleri farklı yerlerden (Temanggung, Wonosobo ve Kopeng, Central Java, Endonezya) toplanmışlardır. Çalışmada, optimizasyon yöntemi olarak tek faktörlü deneyleri ve tek yönlü kafes tasarımı kullanmışlardır. En yüksek fenolik verimini (%7.48) etanol:su (60:40 v/v) karışımında belirlemiştir. Optimum solvent oranını 10:1 v/w, optimum parçacık boyutunu 600-850 µm ve süreyi 8 saat olarak kaydetmişlerdir.

Rohilla vd. (2022), mor ağaç domatesi meyvesinin fenolik bileşikleri ve antosiyaninlerinin süperkritik akışkan (SCF) ve ultrason destekli ekstraksiyon (UAE) ekstraksiyon kullanırken optimize etmede yüzey yanıt metodolojisi ve Box-Behnken tasarımı kullanmışlardır. Yanıt olarak toplam fenolik maddeyi ve SCF'deki bağımsız değişkenleri süreyi (30-60 dakika), sıcaklığı (40–60 °C) ve basıncı (150-180 bar); UAE için süreyi (10-30 dakika), sıcaklığı (40-60 °C) ve genliği (%20-60) olarak seçmişlerdir. SCF için optimum koşulları 49.42 dakika, 49.28 °C ve 176.63 bar basınç olarak belirlemişler ve bu koşullarda toplam fenolik maddeyi 16.12 mg/g ve toplam antosiyanini 0.62 mg/g olarak belirlemişlerdir. UAE için optimum koşulları 19.14 dakika, 51.53 °C ve %50.53 genlik olarak saptamışlar ve bu koşullarda toplam fenolik maddenin 21.06 mg/g, antosiyaninin ise 0.71 mg/g olduğunu kaydetmişlerdir. Her iki teknikte elde edilen ekstraktlarda 4 fenolik asit (gallik asit, klorojenik asit, kafeik asit ve p-kumarik asit) ve 3 antosiyanin (delfinidin-3-O-rutinosit, siyanidin-3-O-rutinosid ve pelargonidin-3-O-rutinosid) tanımlamışlardır. SCF ile karşılaştırıldığında, UAE tekniğiyle daha yüksek konsantrasyonda fenolik asitler ve antosiyaninleri ekstrakte etmişlerdir.

Viera vd. (2022), Ekvador'da yetiştirilen ağaç domateslerinin fiziksel, kimyasal ve antioksidan özellikleri belirlemişlerdir. Elde edilen verilerde geniş bir değişkenlik olduğunu, polifenol (5.11-16.59 mg/g), flavonoidler (1.24-6.70 mg/g), karotenoidler (50.39-460.72 µg/g), antosiyanin (1.06-240.49 mg/100 g), antioksidan kapasite (49.51-

312.30 $\mu\text{mol/g}$) ve C vitamini (78.29- 420.16 mg/100 g) içeriğinin meyveler arasında çok büyük farklılıklar gösterdiğini kaydetmişlerdir.

g. Uçucu bileşenler

Ağaç domatesinin farklı çeşitleri üzerine yapılan çalışmalar uçucu bileşiklerin çeşide bağlı olduğunu göstermiştir. Kırmızı çeşitlerde ana uçucu bileşenlerin pentan- metil heksanoat, (E)-hekz-2-enal, (Z)-hekz-3-en-1-ol, öjenol ve 4-allil-2,6- dimetoksifenolden oluştuğunu göstermiştir (Garcia vd., 2016). Sarı çeşitte yapılan bir çalışmada ise (Z)-hekz-2-enal, 4-hidroksi-4-metil-2-pentanon, (Z)-hekz-2-enol ve metil bütanoatın ana bileşenler olduğu tespit edilmiştir (Tablo 2.8).

Tablo 2.8: Sarı ağaç domatesi meyvelerinin uçucu bileşenleri (Garcia vd., 2016)

Bileşen	Konsantrasyon ($\mu\text{g/g}$)
Metilbütanoat	1758.5
Etilbütanoat	776.2
Hekzanal	565.4
(Z)-hekz-2-enal	4765.3
1,8-cinoel	847.0
Hekzanol	222.6
4-hidroksi-4-metil-2-pentanon	2479.2
(Z)-hekz-3-enol	1655.1
Etil 3-hidroksi-bütanoat	775.3
2,3-bütandiol	81.5
Terpinen-4-ol	548.8

Wong ve Wong (1997), ağaç domatesi meyvesinin uçucu bileşenlerini diklorometan ile vakum damıtma yoluyla ekstrate etmişler ve kapiler GC ve GC/MS ile analiz etmişlerdir. Toplam 49 uçucu bileşen tanımlamışlar, bunların %44.7'si terpenoid olmayan alkoller ve %37.4'i esterlerden oluştuğunu kaydetmişlerdir. Ana bileşenleri (Z)-3-heksenol (%26.6), etil bütirat (%14.8), metil bütirat (%12.0) ve metilheksanoat (%8.6) olarak rapor etmişlerdir.

Achicanoy vd. (2018), ağaç meyvesinin %15 ile 22'sini çekirdek oluşturduğunu bildirerek bu kısımdan süperkritik akışkan karbondioksit (SC-CO_2) yardımıyla farklı basınç (20-38.1 MPa) ve sıcaklıkta (40-64°C) yağ ekstrakte etmişlerdir. Ekstraksiyon koşullarının yağ verimi ve bileşimi üzerindeki etkisini belirlemek için merkezi kompozit tasarımı kullanmışlar ve optimum verimi (%21.07), 38.1 MPa ve 64°C'de elde etmişlerdir. Elde edilen yağın yağ asit profilini linoleik (%70.12), oleik (%16.18), palmitik (%9.68), stearik (%2.12), linolenik (%1.70) ve palmitoleik (%0.23) şeklinde tanımlanmışlardır. Ayrıca yağların bileşiminde skualen (2.96–19.75 mg/mL), β -

sitosterol (2.05–3.68 mg/mL), sikloartenol (1.23–2.81 mg/mL), dihidrolanosterol (0.28–0.70 mg/mL) ve γ -tokoferol (0.89-2.10 mg/mL) saptamışlardır.

Chen vd. (2021), ağaç domatesinden glikozidik olarak bağlı uçucuların serbest kalması üzerine asit hidrolizi (pH 0 ve 3) ve enzim hidrolizi (Rapidaz AR2000, β -glukosidaz, 5.6 nkat/ mg) olmak üzere iki farklı hidroliz stratejisi ile hidroliz süresinin etkisini araştırmışlar, serbest ve bağlı uçucu bileşenlerin profillerini karşılaştırmışlardır. Aldehitlerin, esterlerin ve terpenlerin serbest kalmasında enzimatik hidroliz, 3-hidroksi-p-damascone ve 1,1,6-trimetil-1,2-dihidro-naftalin dahil olmak üzere C13-norisoprenoitlerin salınmasında asidik hidroliz (pH 0) etkili bulunmuş, enzimatik hidrolizin süresi uzadıkça alkollerin, terpenlerin, benzenoidlerin, ketonların ve uçucu fenollerin konsantrasyonunun da yükseldiğini bildirmişlerdir. Ayrıca, meyvede 33 serbest ve 49 bağlı uçucu tanımlamışlardır. Başlıca serbest uçucular arasında alkoller ((Z)-3-hekzenol, 1-hekzanol) ve esterleri (metil kaproat, metil bütanoat ve etil bütanoat); bağlı uçucu bileşikler arasında benzenoidler (benzilalkol ve fenil etil alkol), prenol, linalool ve α -terpineol dahil terpenleri kaydetmişlerdir.

Diep vd. (2021), Yeni Zelanda'da yetişen taze ve dondurularak kurutulmuş kırmızı ağaç domatesinin (Laird's Large çeşidi) Termal Desorpsiyon–Gaz Kromatografisi–Kütle Spektrometrisi (TD–GC–MS) ve Katı Faz Mikro Ekstraksiyon–Gaz Kromatografisi–Kütle Spektrometrisi (SPME–GC–MS) ile uçucu bileşiklerini ve dondurularak kurutulan meyvelerin antimikrobiyal etkilerini belirlemişlerdir. Dondurarak kurutmanın uçucu bileşenlerin çoğunu koruduğunu, bazılarının su kaybıyla daha konsantre olduğunu rapor etmişlerdir. En fazla bulunan uçucu bileşenlerin pulp kısmında heksanoik asit metil ester (%30 taze meyvede, %37 kuru meyvede), kabuk kısmında (E)-3-Heksen-1-ol (%36 taze meyvede ve %29 kuru meyvede) şeklinde olduğunu bildirmişlerdir. TD–GC–MS sonuçları ile SPME–GC–MS tekniği karşılaştırıldığında ilk kez 82 uçucu bileşiğin tespit edildiğini methionalın hem kabuk (15.4 4.2 g/g kuru maddede) hem de pulpta (118 8.1 g/g kuru maddede) ana bileşen olduğunu kaydetmişlerdir. Kontrol grubu olarak suyla karşılaştırıldığında, su ve metanol ile hazırlanan ekstratların, en az 13.5 mm inhibisyon bölgesi ile *E. coli*, *P. aeruginosa* ve *S. aureus*'a karşı önemli antibakteriyel aktivite gösterdiğini, dondurularak kurutulmuş ağaç domatesi meyvelerinin, gıda ürünlerinin aromasını ve raf ömrünü artırmak için doğal bir koruyucu olarak kullanım potansiyeline sahip olduğunu rapor etmişlerdir.

2.1.3. Ağaç Domatesi Meyvelerinin Değerlendirmesi

Ağaç domatesinin iç kısmı çıkarılarak, ekzokarp ve mezokarpın dış tabakası atılarak yenir. Kabuk kısmı acı bir tada sahiptir ve tüketilmemelidir. Bu kısım, meyvelerin birkaç dakika kaynar suda bekletilmesiyle kolayca uzaklaştırılır. Çekirdekler, yenebilir veya süzülerek ayrılabilir. Tadı, bahçe domatesine çok benzese de daha asitli ve daha az suludur. Domateslere benzerlikleri nedeniyle benzer şekillerde kullanılabilirler: Çiğ olarak yenebilir, salatalarda kullanılabilir, pişirilebilir veya etle haşlama yapılabilir. Meyveler, yüksek vitamin içeriği nedeniyle nispeten besleyicidir. β -karoten açısından çok zengindirler, bu da onları iyi bir provitamin kaynağı yapar. Ayrıca fazla miktarda C vitamini içerirler. Yüksek pektin içerikleri, onları özellikle reçel ve jöle yapımı için uygun kılar (Joshi, 2018).

Ağaç domates dilimleri, tek başına veya dilimlenmiş elma ile birlikte turta yapımında kullanılabilir. Su veya şeker şurubu içeren konserve kavanozlarında paketlenabilir, pişirilebilir veya %50 şurupla birlikte turta veya pudinglerde kullanılmak üzere dondurulabilir (Joshi, 2018).

Soyulmuş meyveler bir karıştırıcıda parçalanarak veya pişirilerek püre haline getirilip, çekirdekleri ayrılıp dondurulabilir. Lezzeti arttırmak için püreye limon suyu eklenebilir. Soyulmuş ve haşlanmış meyveler, jelatin, süt, şeker ve limon suyu ile birleştirilip tatlı yapımında kullanılabilir. Soyulmuş, dilimlenmiş ve çekirdekleri çıkarılmış meyveler limon kabuğu, limon suyu ve şeker eklenerek reçele işlenebilir. Soğan ve elma ile Hint turşusu yapımında kullanılabilir. Bütün, soyulmuş meyveler, dondurmada kullanılmak üzere sosa işlenebilir. Soyulmuş meyveler bütün olarak salamura edilebilir veya acı biber sosunda domates yerine kullanılabilir. Ekşi ve keskin bir tat kazandırmak için Kombucha Çayına ikincil bir fermentasyon aroması olarak da eklenebilir (Joshi, 2018). Tüm bu geleneksel kullanımlarının yanında gıda sanayinde reçel, marmelat, nektar, antioksidan vb. ürünlere işlenebilir. Günümüze kadar ağaç domatesi meyvesinin değerlendirme şekilleriyle ilgili birçok çalışma yapılmıştır. Bu çalışmalara kısaca değinecek olursak;

Hernandez ve Moreno Alvarez (2000), farklı konsantrasyondaki (%0.5, 1.0 ve 2.0) sitrik asit çözeltisine daldırılan ağaç domatesi meyvelerinin toplam karotenoid içeriği üzerine kurutmanın etkisini araştırmışlardır. Kurutmada zorlamalı konvektif, zorlamasız konvektif ve oda şartlarında olmak üzere 3 farklı yöntem kullanmışlardır.

En az karotenoid kaybını %0.5 sitrik asite daldırmayı takiben odada kurutma yönteminde saptamışlardır.

Álvarez vd. (2009), ağaç domatesinden dört farklı formülasyonda nektar üretmişlerdir. Bunun için 1 L pulp/4 L su (1:4) ve farklı oranlarda askorbik asit (I: %0; II: %0.5; III: %1.0 ve IV: %1.5) ekleyip 60 °C’de 30 dakika bekletip 7.0 °C’de depolamışlardır. 21 gün boyunca mezofilik bakteriler, küfler, mayalar, toplam koliformlar (MPN/mL), pH, çözünür katı madde, toplam asitlik, toplam karotenoid, C vitamini ve toplam şeker açısından değerlendirmişlerdir. Askorbik asit içermeyen nektarların daha fazla beğeni topladığını bildirerek soğuk koşullarda 14-21 gün arasında bozulmadan depolanabileceğini rapor etmişlerdir.

Osorio vd. (2007), Andes meyvesi (*Rubus glaucus* Benth.) ve kırmızı ağaç meyvelerini üç farklı ozmotik ajanla (%70 sakaroz, %70 sakaroz- %65 gliserol, 1:1 ve etanol) ayrı ayrı ozmotik dehidrasyona tabi tutmuşlardır. Bu işlemin meyvelerin su aktivitesini azalttığını ve ana pigmentler (antosiyantinler) ile aroma bileşenlerinin ozmotik çözeltilere transferini teşvik ettiğini bildirmişlerdir.

Roger vd. (2007), farklı ön işlemlerle hazırladıkları ağaç domatesi şıralarının duyusal, fizikokimyasal özelliklerini araştırmışlardır. Bunun için olgunlaşmamış ham meyveleri hasat edip olgunlaştıktan sonra 5 çeşit şıra hazırlamışlardır. 4 ve 5 numaralı numuneleri haşlayarak 1, 2 ve 3 numaralı numuneleri haşlamadan şraya işlemişlerdir. Çekirdeklerini ayırdıktan sonra elde edilen pulpun çözünür katı maddesini sakaroz ile %21’e ayarlamışlardır. 4 kırmızı şarap (1, 2, 3 ve 4. numune) ve 1 beyaz şarap (5. numune) elde etmek için sırasıyla farklı su miktarları (12, 15, 18, 15.5 ve 15 L) eklemişler ve fermentasyona terk etmişlerdir. Fermente üründe pH, toplam asitlik, uçar asitlik ve suda çözünür katı madde belirlemişlerdir. Üretilen şaraplarda pH’yı 5.01-5.89, toplam asitlik 4.47-6.22 g/L, uçar asitlik 0.39-1.71 g/L ve çözünür katı maddeyi 4.3-12.6 °Brix arasında saptamışlar ve belirlenen özellikler açısından şaraplar arasında istatistiksel olarak önemli farklılık bulmamışlardır. Merkezi eğilim yöntemine göre duyusal özellikler (görünüm, renk, koku ve yapı) değerlendirildiğinde, en yüksek değeri 1 numaralı (%24.6), en düşük değeri (%12.3) 5 numaralı şarabın aldığını bildirmişlerdir.

Villa vd. (2009), ağaç domatesinin ozmotik dehidrasyonu üzerine çalışmışlardır. Ozmotik sıvı olarak 1000 ppm sitrik asit, 500 ppm askorbik asit içeren 65°Brix’lik şeker

çözültisinden 5:1 sıvı:meyve oranı olacak şekilde kullanmışlar ve 240 dakika boyunca dehidre etmişlerdir. Dehidrasyon süresince su aktivitesi, çözünür katı madde ve ağırlıktaki değişimi ve mikrobiyolojik özellikleri incelemişlerdir. Benzer çalışmayı Pinzón vd. (2011) de yapmış, ozmotik dehidrasyon sırasında renkte meydana gelen değişimleri incelemişlerdir.

Guilherme vd. (2012), glikoz ve sakaroz kullanarak farklı formülasyonda ağaç domatesi reçelleri hazırlayarak genel kabul edilebilirliklerini belirlemişlerdir. 13.30 °Brix ve 4.19 pH'ya sahip meyvelerden 40 ve 50 °Brix'li reçeller üretip ve bunlardan 50 °Brix'teki reçellerin kabul gördüğünü bildirmişlerdir.

Villegas-Ruiz vd. (2013), ağaç domatesinden tatlı ürün (SPT) hazırlamak için engel teknolojisinin etkisini ve depolanma stabilitesini araştırmışlardır. Sakaroz, antimikrobiyal madde (sodyum benzoat, %0.1) ekleyerek su aktivitesi 0.901, pH'ı 3.72 olan SPT hazırlamışlar ve 4 °C'de 60 gün boyunca depolamışlardır. Depolama süresince ürünün fizikokimyasal (renk, su aktivitesi, pH ve toplam asitlik), antioksidan (antioksidan kapasite, toplam fenolikler ve antosiyaninler) ve mikrobiyolojik (aerobik mezofilik bakteriler, küfler ve mayalar) özelliklerini belirlemişlerdir. Ürünler, sade yoğurtla karıştırıp genel duyu kabul edilebilirliğini test etmişlerdir. Depolama süresinin, SPT'nin su aktivitesi, pH veya asitliği üzerinde hiçbir etkisi olmamıştır. Toplam fenolik bileşikler, antioksidan kapasite ve toplam monomerik antosiyaninlerde bir azalış, toplam renk değişiminde artış ve aerobik mezofilik bakteriler, küfler ve mayalarda depolama sırasında hafifçe artış saptamışlardır.

Méndez vd. (2017), ultrason destekli konvektif kurutmanın ağaç domatesi ve mango dilimlerinin kuruma hızı ve aroması üzerine etkisini araştırmışlardır. Konvektif kurutma işlemi sırasında ultrasonun etkisini test etmek için her yarım saatte bir 5 ve 10 dakikalık ultrason (20 kHz, 45 W) uygulamış ve 50°C'de konvektif olarak kurutmuşlardır. Nem içeriği %10.0 olana kadar kurutmaya devam etmişlerdir. Ağaç domatesinde 5 dakikalık ultrason uygulamasının %45.59, 10 dakikalık uygulamanın ise %39.53 kuruma süresini kısalttığını saptamışlardır. Kurutma kinetiğinin Page modeline uyduğunu bildirmişlerdir. Yaptıkları aroma analizinde, ultrason uygulamasını taze ağaç domatesi meyvelerinin aromasına etkisinin olmadığını, taze meyvelerde en önemli bileşiklerin etil butanoat, metil heksanoat, ökaliptol ve etil heksanoat olduğunu, metil heksanoatın en yüksek bağıl bolluğa sahip bileşik olduğunu bildirmişlerdir. Kurutmayla

birlikte bunların önemli kısmının kaldığını, ancak etil heksanoatın nispi bolluğunun arttığını kaydetmişlerdir.

Abad vd. (2017), gama ışınları ve ticari bir yenilebilir kaplama olan Sta-Fresh 2505 kombinasyonu ile muamelenin altın sarısı ve mor-kırmızı ağaç domatesi meyvelerinin hasat sonrası kalite üzerindeki etkisini incelemişlerdir. Bu iki teknolojinin kullanılmasının nedenini; bunların gıda güvenliği sağlarken ve raf ömrünü uzatıp tüketicinin taze meyveye ulaşımını da kolaylaştırılmak şeklinde bildirmişlerdir. Uygulama sonrası ağırlık kaybı, pH, sertlik, çözünür katı madde, solunum hızı ve duyu özellikler açısından meyveleri izlenmişlerdir. Işınlanmış ve yenilebilir kaplamalı ışınlanmış meyveleri, raf ömrünü simüle etmek için 10 hafta kadar 5°C ve %90 bağıl nem ve 7 gün 20°C ve %80 bağıl nemde depolamışlardır. Yenilebilir kaplama ve 500 Gy'lik ışınlama kombinasyonu meyvelerin özelliklerini korumuştur. Kontrole göre ağırlık kaybının %48'ten ve solunum hızının %30'dan daha az, sertliğin %70'ten ve görünüm özelliklerinin %40'tan daha yüksek olduğunu bildirmişlerdir. Gama ışınlaması ve yenilebilir kaplama kombinasyonunun, ağaç domatesi meyvelerinin hasat sonrası kalitesi üzerinde sinerjik bir etkiye sahip olduğunu rapor etmişlerdir.

Santander vd. (2017), UHT süt ve ağaç domatesi pulpunu içeren karışık bir içecek hazırlayıp bu içeceğin fonksiyonel özelliklerini, antioksidan aktivitesini ve depolama stabilitesini araştırmışlardır. Soğukta depolamanın ilk iki haftasında biyoaktif bileşiklerde önemli bir düşüş gözlemlenmiştir. Toplam fenolik madde 33.15'den 21.47 mg/100 mL'ye, askorbik asit içeriği 12.97'den 5.17 mg/100 mL'ye, β -karoten 243.00'dan 146.50 μ g/100mL'ye, antioksidan kapasite 3.45'den 1.58 mmol/L'ye düştüğünü bildirmişlerdir.

Li vd. (2018), rekonstitüe yağsız sütü ağaç domatesi meyvesinden elde ettikleri ham proteaz özünü jelleştirmişler ve oluşan jelleri peynir mayası ile hazırlananlarla karşılaştırmışlardır. Ağaç domatesiyle indüklenen jellerin, jelleşmenin erken safhasında rennet ile indüklenen jellerden daha hızlı elastik modülde (G') bir artış oranına sahip olduğunu, bunun da muhtemelen meyve proteaz ekstraktlarının proteolitik aktivitesinin daha geniş aralıkta aktif olmasından kaynaklandığını bildirmişlerdir. Meyve özlerinin proteolitik aktivitesinin pH 11'de optimal olduğunu, hem peynir mayası hem de meyve özleri için, agregasyon süresinin pH 6.7 ile 6.5 arasında benzer olduğunu bildirmişlerdir. Çalışma sonunda, ağaç domatesi meyvesinden elde edilen ekstraktların,

özellikle düşük sıcaklık veya yüksek pH koşullarında süt jelasyonu için kullanılabileceğini rapor etmişlerdir.

Salazar vd. (2018), ağaç domatesi içeren ekstraktlarıyla marine ettikleri tavşan etinden ürettikleri köftelerin fizikokimyasal, duyu ve mikrobiyolojik özelliklerini incelemişlerdir. Bunun için tavşan etlerini %50, 75 ve 100 konsantrasyonda ağaç domatesi ekstraktlarında 60, 120 ve 180 dakika buzdolabı sıcaklığında bekletip 30 g'lık köftelere işlemişlerdir. En az pişirme kaybı ve duyu açısından en yüksek puanları %50 meyve ekstraktı kullanılanlarda olduğunu bildirmişlerdir.

Ramakrishnan vd. (2018), ağaç domatesinde bulunan antosiyanin ve karotenoidler gibi suda ve yağda çözünür biyoaktif bileşikler maltodekstrin (MD), n-oktenil süksinik anhidrit modifiye nişasta düşük viskoziteli gam arabik (OSA), dirençli maltodekstrin (RMD) ve gam arabik (GA) gibi farklı kaplayıcı malzemeler yardımıyla kaplayıp püskürtmeli kurutucuyla kurutmuşlardır. Elde edilen tozların, fizikokimyasal ve termal özellikleri, toplam fenolik içeriği, flavonoid içeriği, antioksidan kapasitesi ve depolama stabiliteğini incelemişlerdir. Kaplayıcı malzemelerinin kapsülleme etkinlikleri, toz verimi, fiziksel özellikleri ve depolama stabiliteği arasında büyük farklılıklar olmasına rağmen, tüm kaplayıcıların suda ve yağda çözünür biyoaktif bileşikleri başarıyla kapsüllediğini tespit etmişlerdir. Kaplayıcıların viskozitesi, amorf bölgesi ve moleküler ağırlığının, kapsülleme verimi, toz özellikleri ve depolama stabilitesi üzerine olumlu etkileri olduğunu rapor etmişlerdir. Tozların depolama stabilitesinin su aktivitesine, higroskopikliklerine ve cam geçiş sıcaklıklarına bağlı olduğunu, karanlıkta 4 °C'de depolanların 25 °C'de ışık varlığında depolanana göre daha fazla antosiyanin ve karotenoid içerdiğini bildirmişlerdir.

Moreno vd. (2019), turuncu ağaç domatesi meyvelerinin farklı kısımlarından (pulp, çekirdek ve kabuğundan) elde edilen fenolik bakımından zenginleştirilmiş ekstraktlarla yüklenen zein liflerini, elektroegirme tekniği ile polihidroksialkanoat (PHA) filmler üzerinde toplanmışlardır. Zein bazlı nanoliflerin özelliklerini taramalı elektron mikroskobu (SEM), Fourier transform kızılötesi (FTIR) spektroskopisi ve termogravimetrik analiz (TGA) ile karakterize etmişlerdir. Tüm biyoaktif fenolik bakımından zenginleştirilmiş özütlerin kapsülleme verimliliğinin %90'dan fazla olduğunu bildirmişlerdir. Çapraz bağlı zein liflerinden ekstraktların salınımını değerlendirmek için iki gıda simulantı (%50 etanol ve %3 asetik asit) kullanılmışlar ve çapraz bağlamanın her iki çözücüde (%50 etanolde 7 gün ve %3 asetik asitte 23 gün temastan sonra salınan) fenolik bileşikler (rosmarinik asit, kafeik asit ve

türevleri) ve antioksidan salınımını geciktirdiğini bildirmişlerdir. Bu uygulamayla elde edilen nanoliflerin hem hidrofilik hem de lipofilik gıda ürünlerinin korunmasına katkıda bulunabileceğini bildirmişlerdir.

Mubarak vd. (2019), potansiyel olarak bir gıda bileşeni olarak kullanılabilecek suda iyi çözünürlüğe sahip bir ağaç domatesi tozu üretmek için maltodekstrin (MD), gam arabik (GA) ve her iki kaplayıcının karışımını kullanmışlardır. Emülsiyonları farklı sıcaklıklarda püskürterek kurutmuşlar ve kapsüllenmiş ağaç domatesinin kimyasal ve fiziksel özellikleri üzerine, kurutma koşullarının etkisini araştırmışlardır. Meyve pürelerini, 100°C ile 140°C arasındaki farklı giriş sıcaklıklarında püskürterek kurutmuşlardır. En yüksek verimi (%50.60), %3 maltodekstrin ile kaplanmış ve giriş sıcaklığı 120°C olan koşullarda kurutulmuş numunelerde elde etmişlerdir. Üretilen tozların rengi, su aktivitesi ve çözünürlüğü, kurutma giriş sıcaklığı ve kullanılan kaplayıcılardan önemli ölçüde etkilendiğini kaydetmişlerdir. Maltodekstrin ile kaplananların FRAP değerinin (49.69 mg/g), GA ve MD (2:1) karışımıyla kaplananların ise CUPRAC testiyle elde edilen antioksidan değerinin (44.82 mg/g) diğer kaplayıcılara göre daha yüksek olduğunu rapor etmişlerdir.

Nuraeni vd. (2019), okul çağı çocukları için popüler olan ağaç domatesi ve papaya karışımından farklı formülasyonda jöle içecekleri üretmiş ve fizikokimyasal ve C vitamini içeriğini dikkate alarak en iyi formülasyonu belirlemişlerdir. Farklı ağaç domatesi:papaya (%70:%30, %60:%40, %50:%50) ve şeker oranı (%10,15 ve 20) içeren içeceklerden en yüksek kabul edilebilirliği olanın %50:%50 ağaç domatesi:papaya ve %15 şeker ile hazırlananlar olduğunu saptamışlardır. Bu içecekten 140-157 mL porsiyon büyüklüğünde tüketimiyle günlük C vitamini ihtiyacının %63.6-70.7'sinin karşılanabildiğini rapor etmişlerdir.

Amadou vd. (2020), farklı oranda meyve içeren ağaç domatesi içeceklerin fizikokimyasal ve duyusal özellikleri ile raf ömrünü araştırmışlardır. Titrasyon asitliği %0.67 (sitrik asit cinsinden), pH'sı 4.08, kuru maddesi %9.64, kül içeriği %0.95 ve çözünür katı maddesi %8.7 olan ağaç domatesi püresine farklı oranlarda (1:1, 1:2 ve 1:3, meyve püresi:su) su ve %10 şeker eklenerek pastörize ederek depolamışlardır. Depolanma süresince pH, asitlik, çözünür katı madde gibi fizikokimyasal analizlerle duyusal analizler yapmışlardır. En fazla su eklenen içeceğin rengi, en az su eklenenin tadı en çok beğenilen içecek olmuştur. 12 haftalık depolama sonunda tüm özellikler

açısından en çok beğenilen uygulamanın 1 kısım meyve 2 kısım su ile hazırlananlar olduğunu bildirmişlerdir.

Bariah vd. (2020), ağaç domatesi meyvesi ve bundan üretilen reçellerin C vitamini ve β -karoten içeriğini karşılaştırmışlardır. C vitamini iyodometrik titrasyon analiz yöntemiyle, β -karoteni spektrofotometrik olarak belirlemişlerdir. Çalışma sonunda meyvelerin su, C vitamini ve β -karoten düzeylerini sırasıyla %88.92, 12.3 mL/g ve 180.91 ppm, reçellerin ise %46.96, 6.16 mL/g ve 136.52 ppm olarak belirlemişlerdir.

Llerena vd. (2020), ağaç domatesini de kapsayan 3 farklı meyvenin (*Eugenia stipitata* ve *Solanum quitoense*) antioksidan kapasitesi üzerine modifiye atmosferde depolamanın (MAP) etkisini araştırmışlardır. Üç farklı MAP (MAP 1: % 2.5 O₂:%5.0 CO₂; MAP 2: %2.5 O₂: %2.5 CO₂ ve MAP 3: %80 O₂: %10 CO₂) koşulu kullanarak soğukta 10 gün depolamışlar ve 1, 4, 7 ve 10. günde antioksidan özelliklerini belirlemişlerdir. Taze ağaç domateslerinde depolama öncesi ABTS, DPPH, toplam fenolik madde, toplam flavanoid, β -karoten ve toplam antosiyanini sırasıyla 161.04 μ mol/g, 47.82 μ mol/g, 704.60 mg/100 g k.m, 237.86 mg/100 g k.m, 31.27 μ g/ g k.m, 344.19 mg/100 g k.m, 2. ve 3. MAP ortamında 10 gün depolama sonrasında ABTS değerini, 168.61 mg/100 g ve 171.32 mg/100 g ve DPPH'ı 521.84 ve 454.35 mg/100 g olarak belirlemişler ve antioksidan aktivitenin bu teknikle depolamayla düşmediğini tersine arttığını rapor etmişlerdir. Diğer bir modifiye atmosferde depolamayla ilgili alışma Naibaho vd. (2013) tarafından yapılmıştır. Araştırmacılar, oksijen ve nem tutucularla aktif modifiye atmosfer ambalajında paketlenmiş ağaç domatesi meyvelerinin, 4 haftalık depolama için diğer modifiye atmosfer ambalaj türlerine kıyasla daha iyi korunduğunu bildirmişlerdir.

Angelica vd. (2021), ağaç domatesi meyvesi ile *Caesalpinia sappan*'dan farklı formülasyonda fonksiyonel içecek hazırlamışlar ve Kano modeli ile genel kabul edilebilirliğini test etmişlerdir. Bu modelin, bir ürün veya hizmetin tüketicisi beklentilerini karşılamada kullanıldığını ve tüketicisi memnuniyetine göre istenilen özelliklere sahip özgün bir ürün tasarlamada kullanıldığını değinmişlerdir. Ağaç domatesi oranı %39.32 ile %68.81, *C. sappan* oranı %4.91 ile %19.66 arasında değişen 4 farklı formülasyonda içecek hazırlamışlar ve tüketicisi beğenisine sunmuşlardır. %58.07 oranında ağaç domatesi özü, %9.83 oranında *C. sappan* özü, %29.49 oranında su ve %1.7 oranında stevia içeren formül en çok beğeni topladığını bildirmişlerdir.

Fernandino vd. (2021), iki farklı çeşit ağaç domatesi pulpunun fiziksel ve kimyasal özelliklerini belirleyip farklı formülasyonda dondurma üretiminde kullanmışlar ve üretilen dondurmaların fiziksel, kimyasal ve duyuşal özelliklerini incelemişlerdir. Kullanılan çeşide göre dondurmaların özelliklerinin çok farklı olduğunu, dondurmalarda hacim artışının %66.41 ile %92.30 arasında değiştiğini bulmuşlardır. Mor meyve pulpundan %20 oranında eklenerek üretilen dondurmaların lezzet puanlarının en yüksek (7.85) olduğunu, ürünlerin tümünün beğenildiğini bildirmişler ve bu meyvenin dondurma üretimine uygun olduğu sonucuna varmışlardır.

Orqueda vd. (2021), farklı dış kabuk rengine sahip (turuncu ve turuncu-kırmızı) sahip ağaç domatesi pulplarının -18 °C'de depolama süresince fizikokimyasal, mikrobiyolojik, fonksiyonel ve duyuşal özelliklerini araştırmışlardır. Bunun için donmuş pulpları belli periyotlarda (0, 30, 60, 90 ve 180 gün) analiz etmişlerdir. Pulpların, gıda mevzuatına göre tüm depolama boyunca mikrobiyolojik olarak stabil ve yüksek oranda biyoaktif bileşik, lif ve protein içeriğine sahip olduğunu, *in vitro* testlerde güçlü bir antioksidan ve antihiperlipidemik aktivite gösterdiklerini, özellikle renk, aroma ve doku gibi duyuşal özelliklerin tüketiciler tarafından kabul edilebilecek seviyede olduğunu kaydetmişlerdir. Çalışma sonunda, bu meyve pulplarının -18 °C'de 180 güne kadar saklanabileceğini, bu tekniğin hasat sonrası muhafaza yöntemi olarak kabul edilebileceğini bildirmişlerdir.

Pangestu vd. (2021), ağaç domatesi meyvesi ile *Coix lacryma-jobi* L.'den farklı formülasyonda hiperlipidemiye karşı etkili fonksiyonel içecek hazırlamışlar ve Kano modeli ile genel kabul edilebilirliğini test etmişlerdir. Ağaç domatesi oranı %39.32 ile %68.81, *Coix lacryma-jobi* oranı %24.57 ile %39.32 arasında değişen 4 farklı formülasyonda içecek hazırlanmışlar ve tüketici beğenisine sunmuşlardır. %68.81 oranında ağaç domatesi özütü, %24.57 oranında *Coix lacryma-jobi* özütü, %4.91 oranında su ve %1.7 oranında stevia içeren formülün çok beğeni topladığını bildirmişlerdir.

Reyes-García vd. (2021), liyofilizatör ve 65 °C'de konvektif olarak kuruttukları kırmızı ağaç domatesinin pulp ve epikarp ununda spektroskopik (IR, UV, NMR), antioksidan ve bromatolojik analizler yapmışlar, ayrıca prebiyotik özelliklerini araştırmışlardır. FTIR, UV ve NMR ile elde edilen spektrumlardan, inülin benzeri fonksiyonel gruplarla bağlantılı kimyasal yapıların varlığını tespit etmişlerdir. Pulpunun *L. plantarum* için 1.49 değerleri ile en yüksek prebiyotik aktiviteyi gösterdiğini ve bu unun toplam fenolik bileşik içeriği (206.23 mg/100 g kuru ağırlık) ile iyi bir

antioksidan aktiviteye sahip olduğunu bildirmişlerdir. Fonksiyonel gıdaların formülasyonu için bu meyvenin iyi bir alternatif olduğunu rapor etmişlerdir.

Verma ve Verma (2021), ağaç domatesi pulpu kullanarak şekerleme, Hint turşusu ve tereyağı gibi farklı formlarda ürün üreterek genel kabul edilebilirliklerini belirlemişlerdir. Bunun için ürettikleri tüm ürünlerde duyuusal değerlendirme yapmışlardır. Bu değerli ürünlerden ağaç domates turşusunun daha çok beğenildiğini ve kabul edilebilirliğinin yüksek olduğunu (7.30/10), ardından ağaç domatesli şekerlemenin geldiğini bildirmişlerdir. Hasat sonrası kayıpları azaltmada ağaç domates meyvelerinin katma değerli ürünlere dönüştürülmesinin yararlı olacağını rapor etmişlerdir.

Diep vd. (2022b), farklı oranlarda (%5, 10 ve 15) ağaç domatesi tozuyla zenginleştirilmiş yoğurtların polifenol ve amino asitlerin stabilitesini ve antioksidan kapasitesini araştırmışlardır. Yoğurt üretimi süresince polifenollerin (rutinositler ve glikozitler) korunduğunu, serbest aminoasitlerin ise arttığını kaydetmişlerdir. *In vitro* sindirim testi ve SDS-PAGE sonuçlarına göre, meyveli yoğurtlardaki peptitler ve proteinler daha kolay sindirildiği ve kontrole göre ince bağırsakta daha iyi emilebildiği tespit edilmiştir. Ağaç domatesiyle zenginleştirilmiş yoğurtların toplam fenolik madde ve antioksidan aktivitesi, *in vitro* sindirimden sonra önemli ölçüde arttığı belirlenmiş ve yoğurt matrisinin bazı bileşikler bozunmadan koruyabileceğini, biyoyararlılığı artırabileceğini ve ince bağırsakta daha fazla emilim ve kullanımı mümkün kılacağını rapor etmişlerdir.

Liu vd. (2022), ağaç domatesi tozu eldesinde kullanılan püskürterek kurutma koşullarının, son ürünün mikro yapısı, polifenoller, toplam flavonoidler, toplam karotenoidler, antioksidan aktivite ve antikanser kapasitesi üzerindeki etkilerini araştırmışlardır. Ağaç domatesi tozu üretimde kullanılan püskürterek kurutma işlemini optimize etmek için yanıt yüzey metodolojisini (RSM) kullanılmışlardır. Bağımsız değişken olarak giriş kurutma sıcaklığı (120–160 °C), akış hızı (1–5 g/mL) ve maltodekstrin konsantrasyonunu (%0–10) seçmişlerdir. Çalışılan koşulların, tozun mikroyapısal özelliklerini, biyoaktif bileşenlerini ve sitotoksitesini etkilediği, optimum kurutma koşullarının (146.8 °C sıcaklık ve 1.76 g/mL akış hızı) daha yüksek antioksidan ve antikanserojen etkili ürün sağladığını rapor etmişlerdir.

Martinez-Giron (2022), farklı konsantrasyonlarda tatlı kırmızı biber kabuk ve pulptan elde edilen oleoresin (100, 200 ve 300 ppm) ve ağaç domatesi suyunu (%5, 10 ve 15) içeren margarinin kalite parametrelerini ve oksidatif stabilitesini araştırmıştır.

Yağ fazında zenginleştirici bir ajan olarak oleoresini ve sulu fazda zenginleştirici bir ajan olarak ağaç domates suyunu kullanmıştır. Ultrasonla elde edilen tatlı kırmızı biber oleoresinin geleneksel yöntemlerle elde edilene kıyasla daha yüksek biyoaktif bileşik (1473 mg/100 g toplam karotenoid, 1158 mg/100 g, 814 mg/100 g flavonoid) içerdiğini, ağaç domates suyunun da önemli C vitamini kaynağı (22.34 mg /100 g) olduğunu bildirmiştir. Eklenen bu iki doğal özütün, geliştirilen margarin formülasyonlarının biyoaktif bileşik içeriğini arttırdığını, depolama sırasında antioksidan aktiviteyi, peroksit indeksini ve p-anisidin değerini önemli ölçüde iyileştirdiğini rapor etmiştir. Fizikokimyasal ve mikrobiyolojik testlerin sonuçlarının, geliştirilen bitkisel margarinin ticari bir margarin için belirlenen kalite standartlarını karşıladığını ve yapılan duyusal analiz sonucunda hazırlanan tüm formülasyonların kabul edilebilir olduğunu kaydetmiştir. 200 ppm tatlı kırmızı biber oleoresini ve %10 ağaç domates suyu ilavesiyle hazırlanan margarinlerin, duyusal özelliğinin en iyi olduğunun altını çizmiştir.

Orqueda vd. (2022), ağaç domatesi atıklarından yenilebilir filmler elde etmişler ve bu filmlerin morfolojik, optik, termal, mekanik ve su bariyeri özelliklerini araştırıp somon filetolarının kaplanmasında kullanmışlardır. Buzdolabı sıcaklığında (4 °C'de) 10 günlük depolama süresince raf ömürlerini etkin bir şekilde iyileştirdiğini ve lipid ile protein oksidasyonunu azalttığını bildirmişlerdir.

Rohilla ve Mahanta (2022), 2 farklı seviyede (%5 ve %10) yumurta albümini, peynir altı suyu proteini konsantresi, soya proteini konsantresi ve jelatin kullanarak köpük kurutmayla ağaç domatesinden meyve tozu elde etmişlerdir. Köpüklerin kurutulmasının logaritmik modelle, uyumlu olduğunu bildirmişlerdir. En iyi kalitedeki tozları, %10 seviyesinde soya ve peynir altı suyu proteini konsantreleriyle elde etmişlerdir. Bu 4 köpürtme ajanın yüksek oranda kullanımının, fitokimyasalların daha iyi korunmasını sağladığını kaydetmişlerdir. En yüksek gallik asit (890 µg/g), klorojenik asit (403 µg/g), kafeik asit (85 µg/g), p-kumarik asit (297 µg/g), β-kriptoxatin (27.47 µg/g) ve β-karoten (19.47 µg/g) içeren tozun peynir altı suyu proteini konsantresinin %10 seviyesinde kullanımıyla elde edildiğini bildirmişlerdir. Peynir altı suyu proteini konsantresi ile hazırlanan tozların köpük stabilitesi ve toz özelliklerinin çok iyi olduğunu kaydetmişlerdir.

Stephen vd. (2022), farklı kurutma yöntemleriyle (güneşte kurutma, konvektif kabin ve dondurarak kurutma) kurutulan ağaç domatesi meyvelerinin biyoaktif bileşenleri ve antioksidan özellikleri ile renk ve mineral madde içeriklerini

karşılaştırmışlardır. Dondurarak kurutulan meyvelerin diğer tekniklere göre daha yüksek antioksidan aktivite (13.82 mg/g), karoten (15.97 mg/100 g), C vitamini (217.1 mg/100 g) içeriğine sahip olduklarını saptamışlardır. Üç kurutma yöntemi arasında güneşte kurutmanın, önemli mikro besin kaybıyla sonuçlandığını ve kurutma işlemi sırasında kontrolsüz sıcaklık kullanımı nedeniyle düşük antioksidan aktivite sergilediğini bildirmişlerdir.

Suganya ve Kalpana (2022), ağaç domatesi meyvesinden reçel, sos ve turşu hazırlayarak bu ürünlere işleme sırasında besin öğelerinde meydana gelen değişimleri incelemiştir. İşlemeyle birlikte antioksidan gücün azaldığını kaydetmişlerdir. Meyvenin sulu ekstraktında, antioksidan değerini 1.98 µg/mL; reçel, sos ve turşu gibi konserve gıdalarda sırasıyla 1.70 µg/mL, 1.16 µg/mL, 0.65 µg/mL olarak belirlemişlerdir.

2.1.4. Sağlık Açısından Önemi

Ağaç domatesi içerdiği karbonhidratlar, mineral maddeler ve biyoaktif bileşenler nedeniyle antioksidan, obezite önleyici, antikanser ve prebiyotik özellikler taşımaktadır. Bu meyvenin geleneksel tıpta folklorik kullanımları azdır. Halk arasında, meyve solunum hastalıklarını hafifletmek ve anemiyle mücadelede kullanılmaktadır. Ekvador'da boğaz ağrısında ısıtılmış yaprakları boyun bölgesine, Kolombiya'da meyve posası, közde pişirildikten sonra bademciklere sarılmaktadır (Lim, 2013).

Literatürde ağaç domatesinin *in vitro* ve *in vivo* özellikleri üzerine az da olsa çalışmalar vardır. Çeşitli araştırmacılara konu olan sağlık yararları ve biyolojik özellikler ile ilgili bilgiler Tabloda görülmektedir (Tablo 2.9).

Tablo 2.9:Ağaç domatesinin sağlık üzerine etkisi ve biyolojik özellikleri (Diep vd., 2022a)

Sağlık üzerine etkisi	
Antioksidan	LDL oksidasyonunu azaltma
Anti-obezite	Obez sıçanlarda, süperoksit dismutaz (SOD) ve glutatyon peroksidaz (GPx) aktivitesinde iyileşme, HDL-C ve toplam antioksidan statüsünde artış, toplam kolesterol, kan şekeri, trigliserit, LDL-C ve vücut ağırlığında azalış, tümör nekroz faktörü-α (TNF-α) ve interlökin (IL-6) aktivitelerinde önemli azalma
Anti- kanser	Karaciğer (HepG2) ve göğüs (MDAMB-231) hücre hatlarının proliferasyonunda önemli ölçüde inhibisyon
Prebiyotik	Bifidobakterilerin ve laktobasillerin büyümesini uyarma; bazı patojenlerin çoğalması engelleme; bağırsak mikrobiyotası için fermente edilebilir hidrokoloid içeriği nedeniyle prebiyotik işlev
Biyolojik özellikleri	
Küf önleyici	<i>Pycnosporus sanguineous</i> , <i>Ganoderma applanatum</i> , <i>Schizophyllum commune</i> , <i>Lenzytes elegans</i> , <i>Penicillium notatum</i> , <i>Phomopsis sojae</i> ve <i>Fusarium mango</i> 'nun çoğalmasını baskılama

Kou vd. (2009), ağaç domatesinin antosiyaninler ve karotenoidlerce zengin subtropikal bir meyve olduğunu belirterek farklı çözücülerle (etanol, etil asetat, bütanol ve su) antioksidan aktivitesini araştırmışlardır. Etil asetat ekstraktının, en yüksek DPPH süpürme aktivitesi (IC₅₀=89.10 µg/mL, k.m), Troloks eşdeğer antioksidan (TEAC) kapasitesi (56.73 mg/g, k.m) ve toplam fenolik madde (61.10 mg/g, k.m) içeriğine sahip olduğunu saptamışlardır. Etil asetat fraksiyonundaki ağaç domatesi fenoliklerinin, bakır kaynaklı LDL oksidasyonunu DL- α - tokoferole eşit veya ondan daha etkili bir şekilde inhibe ettiğini ve nöronal PC12 hücrelerinde oksidatif stres kaynaklı hücre ölümünü önlediğini rapor etmişlerdir. Ağaç domatesi fenoliklerinin *in vitro* LDL oksidasyonunu önleyen ve PC12 hücrelerinde ROS üretimini inhibe edebilen güçlü antioksidanlar olduğunu ve ateroskleroz ve nörodejeneratif hastalıklara karşı koruma sağlayabileceğini bildirmişlerdir.

Hassan ve Abu Bakar (2013), ağaç domatesinin farklı kısımlarının (meyve eti ve kabuk) fitokimyasal içerikleri ve antioksidan aktivitesini belirlemişlerdir. Antioksidan aktiviteyi DPPH ve ABTS serbest radikallerini giderme etkisi ile FRAP yöntemleriyle, antikolinesteraz aktivitesini ise asetil kolinesteraz enzimi kullanarak enzimatik olarak belirlenmişlerdir. Meyvenin kabuk kısmının %80 metanol ekstraktı, hem FRAP hem de ABTS serbest radikal giderme analizlerinde daha yüksek antioksidan aktivite gösterirken, DPPH testinde meyve etinin daha yüksek antioksidan aktivite gösterdiğini bildirmişlerdir. Kabuk kısmının antikolinesteraz aktivitesi, toplam fenolik madde (4.89 mg/g) ve toplam flavonoid içeriği (3.36 mg/g), meyve eti kısmının ise toplam antosiyanin (4.15 mg/100 g) ve karotenoid (25.13 mg/100 g) içeriğinin daha yüksek olduğunu bildirmişlerdir. Ağaç domatesinin doğal antioksidan bakımından zengin nutrasötik ürünler olarak bir potansiyele sahip olduğunu rapor etmişlerdir.

Abdul Kadir vd. (2015), yüksek yağlı diyetle beslenen yetişkin erkek Sprague-Dawley sıçanlarında ağaç domatesinin koruyucu etkisini araştırmışlardır. Sıçanları, obezite indüksiyon aşaması için 10 hafta boyunca normal veya yüksek yağlı diyetle besleyip ardından 7 hafta düşük (150 mg/kg), orta (200 mg/kg) veya yüksek dozda (300 mg/kg) ağaç domatesi veya plasebo vermişlerdir. Obez sıçanlarda meyve özleri, toplam kolesterolde önemli bir düşüşe ve HDL-C'de önemli bir artışa yol açmıştır. Orta ve yüksek dozda meyve ekstraktı verilenlerin vücut ağırlığında, kan şekeri, trigliserit ve

LDL-C'de bir azalma eğilimi kaydedilmiştir. Meyve uygulaması kesildiğinde de toplam antioksidan durumunda (TAS) önemli bir artışla birlikte süperoksit dismutaz (SOD) aktivitesi ve glutatyon peroksidaz (GPx) aktivitesinde pozitif bir gelişme yaşanmış ve TNF- α ve IL-6 aktivitelerinde önemli ölçüde düşme gözlenmiştir. Ağaç domatesinin kilo koruma ve bazı obezite komplikasyon belirtilerini azaltmada etkili olabileceği rapor edilmiştir.

Asvita ve Berawi (2016), obezitenin kalori alımı ve kalori çıkışı arasındaki dengesizlikten kaynaklandığını, uzun vadede hiperglisemi ve hiperkolesterolemiye yol açabildiğini bildirmişler ve ağaç domatesi ekstraktlarının yüksek yağlı diyetle beslenen yetişkin erkek Sprague-Dawley sıçanlardaki etkilerini incelemişlerdir. 200-300 mg/kg dozundaki özütlerin bu sıçanların kan şekeri seviyelerinde, LDL kolesterol seviyelerinde ve vücut ağırlığında azalmaya neden olduğunu rapor etmişlerdir.

Puspawati vd. (2018), Endonezya'da yetişen kırmızı ağaç domatesi meyve ekstraktlarının α -glukosidaz aktivitesine karşı inhibitör potansiyelini ve antosiyanin ile karotenoid içeriğini belirlemişlerdir. Ağaç domatesi ekstraktlarının *in vitro* α -glukosidaz aktivitesine etkilerini belirlemek için 4 farklı grubu karşılaştırmışlardır: (1) Akarboz, (pozitif kontrol), (2) meyveden elde edilen antosiyanin özü, (3) meyveden elde edilen karotenoid ham özü ve (4) antosiyanin ile karotenoid ham öz karışımı. Bu muamelelerden antosiyanin ham özünün %30.59, karotenoid ham özünün %42.14 ve antosiyanin ile karotenoid ham özü kombinasyonunun %48.08 oranında α -glukosidaz aktivitesini inhibe edebildiğini bulmuşlardır. Bu meyvelerde 3 ana antosiyanin (pelargonidin-3-rutinosit, siyanidin-3-rutinosit ve delphinidin-3-rutinosit) ve 3 karotenoid (β -karoten, β -kriptoksantin, zeaksantin) tanımlamışlardır. Ağaç domatesi özünün, Tip 2 diyabette tokluk hiperglisemi gelişimini önlemede alternatif olabileceğini bildirmişlerdir.

do Nascimento vd. (2015), ağaç domatesi pulpundan elde edilen polisakkaritlerin yapısal bir karakterizasyonu gerçekleştirmişler, dondurma-çözülme ve α -amilaz işlemleriyle fraksiyonlamadan sonra, ^1H NMR spektroskopisi ve spektrofotometrik incelemeler sonunda yüksek oranda metoksilatlı homo-galakturonan ve arabinogalaktan karışımı içeren bir fraksiyon (%71'lik bir metil esterifikasyon derecesi (DE) ve %1.3'lük bir asetilasyon derecesi (DA)) elde ettiklerini bildirmişlerdir. Fehling çökeltmesi ve 50 kDa (cut-off) membrandan ultrafiltreleme yoluyla Tip I arabinogalaktan saflaştırmışlar ve bunu intraperitoneal yolla farelere uygulamışlardır. Bu uygulamanın farelerde intraplantar %2.5 formalin enjeksiyonunun neden olduğu,

nosisepsiyonu azaltmadığını, ancak %0.6 asetik asit tarafından indüklenen karın kasılmalarının sayısını önemli ölçüde azalttığını, bu da visceral inflamatuvar ağrı modeli üzerinde antinositif bir etkiye sahip olduğunu rapor etmişlerdir.

Mutalib vd. (2016), meme ve karaciğer kanser hücre hatlarına karşı ağaç domatesi ekstraktlarının anti-proliferatif etkisini ve meyvelerin polifenolik profilini (fenolik asitler ve flavonoidler) belirlemişlerdir. Ekstraktların anti-proliferatif etkisini, MTT (3-(4,5-dimetiltiazol-2il)-2,5-difeniltetrazolyum bromür) analizi ile belirlemişler, hücre morfolojisini incelemişlerdir. Fenolik profilini, yüksek performanslı sıvı kromatografisi (HPLC) kullanarak karakterize etmişlerdir. Meyve ekstraktlarının karaciğer (IC₅₀ değeri 30 µg/ml) ve meme kanser (IC₅₀ değeri 80 µg/ml) hücre hatlarına karşı yüksek sitotoksik etki gösterdiğini, sitotoksik aktivitenin altında yatan sorumlu maddelerin yapısındaki fenolik bileşikler olduğunu bildirmişlerdir. Çift boyama tekniğiyle yapılan mikroskopik incelemede, karaciğer ve meme hücrelerinin canlı hücrelerinin, apoptotik hücrelere özgü özellikler (daha az miktarda sitoplazmaya sahip küçülmüş çekirdekler) ile karakterize edilen, ekstre uygulanan hücrelere göre tam yuvarlak, büyük ve bozulmamış yeşil çekirdekler şeklinde olduğunu gözlemişler ve bu sonuçların ağaç domatesi meyvelerinin kanser tedavisinde etkili bir ajan olma potansiyeline sahip olduğu hipotezini desteklediğini bildirmişlerdir.

Safitri vd. (2019), Alzheimer için bir ilaç adayı tedavisi olarak sıçanlarda ağaç domatesinin bilişsel işleve, N-Metil-D-Aspartat reseptörü (NMDAR) ve beyin kaynaklı nörotropik faktör (BDNF) düzeyine etkisini araştırmışlardır. Bunun için 50 yetişkin erkek albino sıçanını beş gruba ayırmışlardır (K0, K1, P1, P2 ve P3). Dört gruba (K1, P1, P2 ve P3), 21 gün boyunca 2 g/L dozunda alüminyum klorür verdikleri Alzheimerlı sıçanlardan üç gruptakine (P1, P2 ve P3) 22. günde 14 gün boyunca sırasıyla 100 mg/kg, 200 mg/kg ve 400 mg/kg vücut ağırlığı/gün ağaç domatesi verip, enzime bağlı immünosorbent yöntemiyle NMDAR ve BDNF seviyesini, Morris su labirenti testi ile hafızayı ölçmüşlerdir. Ağaç domatesi verilmesi, Morris su labirentinin hedefine ulaşma süresini azaltarak ve düşük NMDAR seviyelerini önemli ölçüde koruyarak Alzheimerin neden olduğu bilişsel fonksiyonunu önemli derecede arttırdığını, BDNF seviyesine etki etmediğini tespit etmişler ve bu meyvenin hafıza fonksiyonunu önemli ölçüde iyileştirebileceğini rapor etmişlerdir.

Muliarta vd. (2020), kontrolsüz pestisit kullanımının çiftçilerde pestisit zehirlenme riskini artırabileceğini düşünerek ağaç domatesi tüketiminin vücuttaki antioksidan statüye etkisini araştırmışlardır. Pestisitlerin ana içeriğinin organofosfatlar

ve karbamat olduğunu ve bunların asetilkolinesteraz (AChE) enziminin inhibisyonu yoluyla olumsuz yan etkileri olabileceğini bildirmişler ve Endonezya'da 40 çiftçi arasında randomize bir klinik araştırması yapmışlardır. Katılımcıları rastgele iki gruba ayırmışlardır: (1) Ağaç domatesi suyu tüketmeyen çiftçi grupları (kontrol), (2) 2 hafta boyunca her gün 250 ml/gün saf ağaç domates suyu verilen çiftçi grupları. Çalışmanın başında ve sonunda AChE, malondialdehit (MDA) ve süperoksit dismutaz (SOD) düzeylerini belirlemişlerdir. Ağaç domatesinin tüketimiyle malondialdehit azalmış, süperoksit dismutaz ve AChE aktivitesi artmıştır. Araştırmacılar, kronik pestisit maruziyetine bağlı oksidatif stresin önlenmesi için ağaç domatesi tüketimini önermişlerdir.

Li ve Li (2021), anti-inflamatuar ajanların diş hekimliğinde çok kullanıldığını, ancak çoğunun mide kanaması gibi hafif veya ağır yan etkileri gösterdiğini, bu nedenle alternatif daha güvenli ve doğal bir anti-inflamatuar ajanlara ihtiyaç duyulduğunu bildirerek ağaç domatesi kabuklarının anti-inflamatuar aktivitelerini araştırmışlardır. Lipopolisakkarit (LPS) ile uyarılan RAW 264.7 makrofaj hücrelerine ağaç domatesi kabuğu ekstraktlarının (TPE) sitotoksik ve anti-inflamatuar aktivitelerini değerlendirmişlerdir. TPE'nin sitotoksitesini, MTS yöntemiyle; anti-enflamatuar etkiyi PGE-2, TNF- α ve IL-1 β belirteçleri yardımıyla ölçmüşlerdir. Anti-inflamatuar aktivite, TPE uygulanan LPS ile uyarılan RAW 264.7 hücreleri ve uygulanmayan grup arasındaki inflammatuar belirteçlerinin konsantrasyonundaki azalmayla belirlemişlerdir. TPE'nin LPS ile uyarılan RAW 264.7 hücrelerinde PGE-2, TNF- α ve IL-1 β üretimini azaltarak bir anti-inflamatuar etkiye sahip olduklarını saptamışlardır.

Simbolon ve Sitompul (2021), 32 haftanın üzerindeki anemili hamile kadınların hemoglobin düzeyleri üzerine ağaç domatesi suyunun etkisini araştırmışlardır. Dünya Sağlık Örgütü'nün hamilelerin günde 120-240 mg demir tüketmesini, anemi şiddetli ise günde 3 defa 400 mg şeklinde dozu artırmasını önerdiğini belirterek, hemoglobin düzeylerini artırabilen bitkisel tedavilerden birinin de C vitamini düzeyi 25 mg ve demir içeriği 2765 ppm olan ağaç domatesinin tüketimi olabileceğini bildirmişlerdir. Sadece kan takviyesi alan gebelerden oluşan kontrol grubuna karşı, ağaç domatesi suyu ve kan takviyesi alan grubun hemoglobin düzeylerini takip etmişlerdir. Ağaç domatesi tüketen grupta ortalama hemoglobin düzeyinde ilk hafta 0.91 g/dL, ikinci hafta 1.75 g/dL artış, kontrol grubunda ise ilk hafta 0.43 g/dL, ikinci haftada 0.89 g/dL artış olduğunu tespit etmişlerdir. Anemili hamile kadınlarda kan takviyesi yanında ağaç domatesi suyu tüketiminin de yararlı olacağı sonucuna varmışlardır.

Suárez-Montenegro vd. (2021), basınçlı sıvı ekstraksiyonu (PLE) ile ağaç domatesinin kabuklarından (epikarp kısmı) elde ettikleri ekstraktların *in vitro* nöroprotektif potansiyellerini araştırmışlardır. Çözücü bileşimi (% 2 formik asit içeren su/etil alkol: %0, 50 ve 100 v/v) ve sıcaklığın (60, 120 ve 180°C) bir fonksiyonu olarak PLE'yi optimize etmek için yanıt yüzeyi metodolojisi, merkezi bir kompozit tasarımını kullanmışlardır. Yanıt olarak, ekstraksiyon verimi, toplam fenolik madde (TPC), toplam flavonoid (TFC), toplam karotenoid (TCC), antioksidan kapasite (ABTS⁺) ve anti-inflamatuar (LOX) aktiviteler ve anti-asetilkolinesteraz (AChE) inhibitörünü seçmişlerdir. İstenilirlik fonksiyonuna göre, optimal koşulları %100 etanol ve 180°C olarak belirlemişlerdir. Optimize edilmiş koşullarda elde edilen ekstraktlarda, anti-bütiril kolinesteraz enzimi (BChE), reaktif oksijen türleri (ROS) ve reaktif nitrojen türleri (RNS) inhibisyonu ve ayrıca HK-2, THP-1 monositleri ve SH-5YSY nöroblastom hücre hatlarındaki sitotoksiteyi incelemişlerdir. Optimum koşullarda: ekstraksiyon verimini %36.25, TPC'yi 92.09 mg/g, TFC'yi 4.4 mg/g, TCC'yi 107.15 mg CE/g, ABTS değerini 6.33 mg/mL (IC₅₀ olarak), LOX değerini 48.3 mg/mL (IC₅₀ olarak) ve AChE'yi 97.46 mg/mL (IC₅₀ olarak) belirlemişler ve test edilenlerin tüm hücre hatları için 120 µg/mL konsantrasyona kadar ekstraktın toksisite göstermediğini rapor etmişlerdir. Son olarak, optimum koşullarda ekstraktının sıvı kromatografi-tandem kütle spektrometrisi (UHPLC-q-TOF-MS/MS) ile kimyasal karakterizasyonunu yapmışlardır. Gözlenen biyolojik özelliklerden sorumlu olan ana metabolitlerin hidrokisinsamik asit türevleri ve diğer fenolik asitlerin yanı sıra kersetin heksosit ve rutinin olduğunu belirlemişlerdir. Tüm bu sonuçların, toplam meyvenin %8 ile %15'ini temsil eden epikarp kısmının Alzheimer hastalığına karşı potansiyel bir "çoklu hedef" aktiviteye sahip umut verici bir doğal yan ürün olabileceği anlamını taşıdığını bildirmişlerdir.

Salsabila ve Sudiono (2022), ağaç domatesi kabuklarının antiinflamatuvar etkilerini araştırmışlardır. Interlökin (IL-6) proinflamatuvar sitokinlerden biri olduğunu ve akut inflamatuvar aşamada salındığını, immün yanıtı, hematopoezi ve enflamasyonu düzenlemede rol oynadığını bildirerek farklı konsantrasyonda ağaç domatesi kabuklarının ekstraktlarının IL-6 seviyesi üzerindeki etkisini incelemişlerdir. Bunun için toplam 30 sıçanı 5 gruba ayırıp pozitif kontrol (diklofenak sodyum), negatif grup (sodyum klorür), 3 farklı dozda (70,140 ve 280 mg/kg, vücut ağırlığı) ağaç domatesi ekstraktı uygulamışlar ve ELİSA ile IL-6 seviyesini ölçmüşlerdir. IL-6 seviyesini, 24

saat sonraki ölçümde pozitif kontrole göre 140 mg/kg vücut ağırlığında daha az olduğunu ve anti-inflamatuar etkisinin daha yüksek olduğunu bildirmişlerdir.

2.2. Gıda endüstrisinde Kurutma Teknolojisi

Meyve ve sebzeler içerdikleri yüksek su içeriği nedeniyle kolay bozulabilen gıdalar arasındadır. Bozulmadan depolanabilmeleri, her zaman ulaşılabilir olmaları ve istenilen zamanda tüketicinin talebinin karşılaması için su içeriklerinin azaltılması, su aktivitelerinin düşürülmesi gerekmektedir. Gıdadaki nem içeriğinin düşürülmesi olarak tanımlanan kurutma yöntemi, bilinen en eski ve en yaygın gıda muhafaza tekniklerinden biridir. Kurutmayla gıdanın içerisindeki serbest suyun gıdadan uzaklaştırılması sağlanarak ürünün mikrobiyal aktivitesi ve biyokimyasal reaksiyonları sınırlandırılır, kalitesi ve raf ömrü artırılır. Kurutmayla meyve ve sebzelerin hacimleri küçültülerek ağırlıkları azaltılır, böylece ambalajlama, depolama ve nakliye masrafları da düşürülmüş olur (Abbaspour-Gilandeh vd., 2020; Kılıç, 2022).

Farklı kalitede kuru ürün elde etmek için günümüze kadar birçok kurutucu geliştirilmiştir. 500'den fazla kurutucu tipi literatürde bildirilmiş olup yaklaşık 100 tipi ticari olarak kullanılmaktadır. Kurutucu tasarımındaki farklılıklar, ürünün farklı fiziksel özelliklerinden, farklı ısı girdisi modlarından, farklı çalışma sıcaklığı ve basıncından, kurutulmuş ürünlerdeki farklı kalite özelliklerinden kaynaklanmaktadır. Çoğu geleneksel kurutucu, kurutma ortamı olarak normal atmosfer basıncındaki sıcak havayı kullanmaktadır (Mujumdar ve Law, 2010).

2.1. Gıda Kurutma Yöntemleri

Gıdaların kurutulmasında çok farklı yöntemler kullanılmaktadır. Bu yöntemler çok farklı şekilde sınıflandırılmaktadır. En yaygın kullanılan sınıflandırmalardan biri doğal ve yapay kurutmadır. Doğal kurutma güneşten yararlanılarak ürün içindeki su miktarının azaltılmasına dayanan uygulamadır (Kılıç, 2022). Bunun için kurutulacak materyal doğrudan güneşe veya gölge bir yere serilip veya bir yere asılıp kurutmaya terk edilmektedir. En eski kurutma yöntemlerinden olan bu teknik halen yaygın kullanılmaktadır. Bu tekniğin en büyük avantajı, kurutma maliyetlerinin düşük olmasıyken ana dezavantajları şunlardır: (i) çevreden kaynaklanan kontaminasyonlar, (ii) ürün kayıpları ve böcekler ve kuşlardan kaynaklanan kontaminasyonlar, (iii) kurutma alanı gereksinimleri, (iv) prosesi kontrol etmedeki zorluklar ve iklim şartlarına bağlı olması (v) fazla işçilik gerektirmesidir (Rahman ve Perera, 2007; Abbaspour-Gilandeh vd., 2020; Kılıç, 2022). Yapay kurutma yönteminde ise kurutma kontrollü

şartlarda ve kapalı ortamlarda gerçekleştirilmekte ve güneşte kurutma yönteminde karşılaşılan sorunlar giderilmektedir. Ancak kurutma maliyeti daha fazladır. Gıdaların kurutulmasında yaygın olarak kullanılan yapay kurutma yöntemleri arasında konvektif kurutma, vakum kurutma, mikrodalga kurutma, akışkan yatak kurutma, püskürtmeli kurutma ve dondurarak kurutma yer almaktadır (Kılıç, 2022).

Kurutmada suyu uzaklaştırma yöntemine göre de sınıflandırma yapılabilir. Buna göre; (a) termal kurutma, (b) ozmotik dehidrasyon ve (c) mekanik kurutma olarak üç gruba ayrılmaktadır. Termal kurutmada (a) atmosferik ortamda kurutma, (b) vakumda kurutma ve (c) modifiye atmosferde kurutma şeklinde sınıflandırılmaktadır. Ozmotik dehidrasyonda, suyu ayırmada bir çözücü veya çözelti uygulanırken, mekanik kurutmada fiziksel kuvvet kullanılır (Rahman ve Perera, 2007).

Isının iletilme şekline göre de kurutma yöntemleri sınıflandırılabilir. Isı konveksiyon, kondüksiyon ve radyasyon şeklinde iletilebilir. Konvektif kurutma, % 90'tan fazla kuru gıda elde etmede kullanılan popüler yöntemdir (Amit vd., 2017).

Kurutma işleminden önce birçok faktör dikkate alınmalıdır. Bu faktörler; (a) kurutulacak ürünün türü, (b) nihai ürünün istenen özellikleri, (c) izin verilen sıcaklık toleransı, (d) ürünün ısıya duyarlılığı, (e) gerekli ön işlemler, (f) sermaye ve işleme maliyetleri ve (g) çevresel faktörlerdir. Tüm ürünler için geçerli olan tek bir en iyi kurutma tekniği yoktur (Rahman ve Perera, 2007). Bu faktörler dikkate alınarak uygun teknik seçilmelidir. Burada yaygın olarak kullanılan bazı kurutma yöntemlerinden kısaca söz edilmektedir.

a. Konvektif kurutma

Konvektif kurutma sistemlerinde, ısıtılan havanın yardımıyla kurutma sağlanır. Bu sistemlerde kurutulacak materyal tepsilere, arabalara veya konveyörlere yüklenir ve ürünlerin üzerlerinden, bir fan aracılığı ile belirli hızda hareket ettirilen ısıtılmış hava geçirilir (Toraman, 2015; Kılıç, 2022). Endüstriyel kurutucuların % 85'inden fazlası konvektif tiptedir (Zarein vd., 2015). Eşzamanlı ısı ve kütle transferini içeren karmaşık bir fenomen olan kurutma işleminde enerji kullanımı yoğundur ve imalat endüstrisinde tüketilen enerjinin kabaca %12-20'sini oluşturur (Raghavan vd., 2005). Bu kurutma tipinde, sıcak havanın etkisiyle ürüne buharlaşma entalpisi yüklenir ve böylece buharlaşan su havaya yüklenip kurutucudan atılır (Kılıç, 2022). Günümüze kadar fırın, kabin, tünel, bantlı, akışkan yatak, sandık, püskürtmeli kurutucular vb. farklı tipte

konvektif kurutucu geliştirilmiştir (Kocayiğit, 2010). Konvektif kurutucuların ayarlanabilir hava hızı ve sıcaklık ile kapalı bir atmosfere sahip olması, bu yöntemi güneş enerjisiyle kurutmaya göre daha avantajlı kılar. Bu teknik oldukça etkili ve basittir (Radojčin vd., 2021). Yatırım maliyetlerinin diğer sistemlere göre daha uygun olması ve endüstriyel ölçekli sistemlerin geliştirilmesi nedeniyle yaygın şekilde kullanılır (Kılıç, 2022). Bu yöntemde ısıtılan hava kurutulacak ürünlerin dış katmanından başlayarak yavaşça iç katmanlarına doğru nüfuz ederek dış tabakadan iç tabakalara doğru bir kuruma gerçekleşir (Günaydın vd., 2022).

Konvektif kurutmada kütle transferi için temel mekanizmalar şu şekilde açıklanabilir:

- Gıdadaki suyun yüzeye difüzyonu
- Yüzeyde buharlaşma
- Su buharının hava akımıyla yüzeyden uzaklaştırılmasıdır.

Isı transferi için mekanizma ise şu şekilde gerçekleşir (Toraman, 2015):

- Kurutucu hava sıcaklığının gıda yüzeyine konveksiyonla taşınması
- Isının yüzeyden gıda merkezine doğru iletimle geçmesi

Konvektif kurutma yönteminde kuruma hızını sıcaklık, nem, hava hızı ve dağılım şekli, hava değişimi, ürün geometrisi ve özellikleri ile kalınlık etkilemektedir (Rahman ve Perera, 2007). Bu kurutma yönteminde özellikle bağıl nemin yüksek olduğu yerlerde kurutma süresi önemli ölçüde uzar. Hava sıcaklığının yükseltilmesiyle kurutma süresi kısalsa kabukta sertleşme, büzüşme, esmerleşme reaksiyonları gibi bir takım deformasyonlar meydana gelir. Düşük sıcaklıklarda ise uzun süre sıcak havaya maruz kalan ürünlerde lipid oksidasyonu gerçekleşir (Günaydın vd., 2022). Konvektif kurutma yönteminin; kuruma süresinin uzamasına paralel olarak enerji tüketiminin artması, fazla büzülmesine ve yoğun bir yapı oluşmasına, rehidrasyon kapasitesinin azalmasına, ürünün fiziksel ve biyokimyasal özelliklerinde ciddi kayıpların meydana gelmesine yol açması gibi dezavantajları vardır (Abbaspour-Gilaneh vd., 2020; Günaydın vd., 2022). Özellikle ilk aşamada kullanılan yüksek kurutma hızı, ürün yüzeyinin sertleşmesine yol açar (Ergün vd., 2016). Söz konusu dezavantajlarının önüne geçmek için çeşitli hibrit kurutma yöntemleri geliştirilmiştir (Günaydın vd., 2022).

b. Mikrodalga Kurutma

Mikrodalgalar, 300 MHz ile 300 GHz arasındaki bir frekansta, dalga boyları 1 mm ile 1 m arasında olan, elektrik ve manyetik alanların dikey salınımlarını senkronize eden elektromanyetik dalgalardır. Mikrodalga ısıtmanın mekanizması, bir malzeme

elektromanyetik dalgalara maruz kaldığında iyonların ve moleküllerin salınımına dayanır. Bu iç sürtünmeye ve kinetik enerjinin ısıya dönüşümüne neden olur. Mikrodalgalar düşük enerji tüketimi ile ürünün hacimsel ve hızlı ısıtılmasını sağlar (Radojčin vd., 2021).

Mikrodalga kurutma ve ısıtma uygulamalarında kullanılabilen frekanslar 14, 27-56, 12-40, 68-896, 915 ve 2450 MHz'dir. Gıda sanayinde kullanılan mikrodalga, ev tipi fırınlarda 2450 MHz, sanayide 915 MHz frekanslı ışınlardır. Mikrodalgalarla enerji transferi, klasik ısıtmada olduğu gibi kondüksiyon ya da konveksiyon yolu ile değil, dielektrik ısıtma yolu ile olur (İzli, 2012).

Mikrodalgalarla ısıtmanın homojenliği ve kontrolü ile ilgili literatürde farklı görüşler bulunmaktadır. Bazı araştırmacılar malzemenin homojen bir ısınma hızını teyit ederken, diğerleri de eşit olmayan ısıtmadan söz ederler. Eşit olmayan ısıtmanın birkaç nedeni vardır. Bunlar (i) ürün boyutu büyük olması, (ii) rezonans fenomeni, (iii) heterojen malzeme bileşimi, (iv) ürünün şeklidir (Radojčin vd., 2021).

Mikrodalga kurutucular, temel olarak magnetron, fırın boşluğu, dalga yayıcı bir güç kaynağı ve havalandırma sisteminden oluşmuştur. Bu yöntemde kurutucuda yer alan magnetron kurutulacak ürünlerin içerisindeki su moleküllerini yüksek frekansta titreştirmektedir. Bu titreşim sonucu oluşan hareket enerjisi ısı enerjisine dönüştürülerek ürünler merkezden başlayarak dış tabakalara doğru ısıtılmaktadır (Günaydın vd., 2022). Genel olarak, ortamdaki su, tuz, polar bileşenler, özgül ısı, yoğunluk, ısı iletkenliği, yüzey hacim oranı mikrodalga penetrasyonunu etkilemektedir (Mazandarani vd., 2014). Mikrodalga kurutmanın daha yüksek kuruma hızı, daha kısa kuruma süresi, daha az enerji tüketimi ve kurutulan ürünlerin daha kaliteli olması gibi birçok avantajı vardır (Lokhande vd., 2017). Kurutulan ürünün aroma, renk, tat, makro ve mikro besin elementi içeriği vb. kalite özellikleri optimum düzeyde korunmaktadır. Kurutma öncesi ortamın ısıtılmasına gereksinim duyulmaması gibi son derece önemli avantajları vardır. Buna karşın, mikrodalga kurutma yönteminin ilk yatırımının oldukça pahalı olması, tasarımı, kurulumu ve kullanımının zor olması, kurutma materyalinin tüm yüzeyinin eşit oranda ısınmamasından kaynaklı ürünlerin eşit oranda kurumaması, şekerli ürünlerde yanma, esmerleşme, patlama, çatlama gibi deformasyonlara sebep olması gibi dezavantajlı yönleri vardır. Yüksek mikrodalga çıkış güçlerinde kurutulan ürünlerde meydana gelen deformasyonları minimize etmek adına kombine kurutma yöntemlerinin uygulanması yaygınlaşmaya başlamıştır (Günaydın vd., 2022).

c. Dondurarak Kurutma

Dondurarak kurutma yöntemi (liyofilizasyon) ısıya duyarlı biyolojik materyalin kurutulmasında tercih edilen bir yöntemdir. Bu yöntemde ürününün içerdiği nem düşük basınç altında süblimasyon yolu ile üründen uzaklaştırılır (Toraman, 2015; Radojčin vd., 2021; Günaydın vd., 2022). Bu yöntemde materyalden nemin azaltılması işlemi üç aşamada gerçekleştirilir. Bunlar sırasıyla; dondurma evresi, birincil kurutma evresi ve ikincil kurutma evresidir. Kurutulacak materyal önce dondurulur ve dondurulmasının ardından buz oluşumları meydana gelir. Oluşan buzlar süblimleştirilerek (katı formdan gaz forma geçiş) su buharına dönüştürülür. Su buharı bir vakum pompası yardımıyla çekilerek ortamdan uzaklaştırılır (Günaydın vd., 2022). Dondurarak kurutmanın kimyasal ve besin kalitesi açısından diğer kurutma yöntemlerine göre avantajları çok sayıda araştırmacı tarafından bildirilmiştir. Dondurularak kurutulmuş ürünlerde geliştirilen yüksek gözenekliliğin hem rehidrasyon kapasitesi hem de oranında önemli bir rol oynaması beklenmektedir (Ergün vd., 2016; Günaydın vd., 2022). Ancak, diğer kurutma teknolojilerine kıyasla dondurarak kurutma, yüksek enerji tüketimine ve daha uzun işlem süresine sahiptir. Dondurarak kurutma ile bağlantılı birçok avantaja rağmen, yüksek başlangıç maliyetleri birçok üretici için hala sınırlayıcı bir faktördür (Radojčin vd., 2021; Günaydın vd., 2022).

d. Köpük kurutma

Son zamanlarda gıdaların kısa sürede kurutulması ve son ürünün kalitesinin artırılması amacıyla yeni sistemlerin tasarlandığı, mevcut sistemlerin iyileştirildiği ve proses kontrolü amacıyla matematiksel modellerin tanımlandığı araştırmalar giderek ön plana çıkmıştır. Köpük kurutma yöntemi, bu ihtiyaçları gidermek üzere tasarlanan bir kurutma tipidir. Köpük kurutma işlemi, sıvı veya yarı-katı gıdaların, köpürtme ajanı ve stabilizatörü kullanılarak karıştırıldıktan sonra elde edilen köpüğün ince bir tabaka şeklinde yayılarak kurutulduğu bir yöntemdir. Isı transferi, köpükten dolayı büyük hacimli bir gaz tarafından engellense de kurutma sırasında köpük tabakaları patlayarak yeni bir sıvı-gaz ara yüzeyleri oluşturur ve kuruma yüksek hızda devam eder. Bu sebeple diğer kurutma yöntemlerine göre kurutma hızı daha yüksek olmaktadır. Bu yöntemin bir avantajı vakum, mikrodalga gibi diğer konveksiyonel kurutma metotlarından daha düşük kurutma sıcaklıklarında yapılabilmesidir. Böylece ürün içerisindeki uzaklaşan uçucu bileşenlerin miktarı ve lezzet unsurlarındaki kayıp diğer kurutma metotlarına göre daha az olmaktadır. Köpük kurutma ile kurutulan ürünler

mikrobiyal, kimyasal ve biyokimyasal reaksiyonlar açısından yüksek stabilitede olmalarının yanı sıra; yüksek kalitede, yeniden sulandırılabilir porlu bir yapı kazanırlar (Kılıç, 2022).

e. Ozmotik kurutma

Isı uygulanarak kurutma, çok miktarda gizli ısı gerektiren suyun buharlaşmasını kapsadığından yoğun enerji kullanımı gerektiren bir işlemdir. Ozmotik dehidrasyon, termal kurutmaya ve faz değişimi ile suyun uzaklaştırılmasına tabi tutmadan önce gıdadan suyu kısmen uzaklaştırmak için uygulanabilir (Mujumdar ve Law, 2010). Bu yöntem, yüksek konsantrasyonlu bir ozmotik solüsyona daldırılarak biyolojik dokulardan suyu kısmen uzaklaştırmada kullanılır (Radojčin vd., 2021). Bu yöntemde, yarı geçirgen zarla kaplı olan bitki hücresi duvarının iç kısmı ile dış çevre arasında, ozmotik basınç farkı yaratılarak, materyalin nemi azaltılmaya çalışılır. Kurutulacak materyal ozmotik basıncı yüksek bir eriyiğin içine daldırılarak, nemin azalması sağlanır. Ürünün içine daldırılacak ortam, çeşitli sıcaklık ve konsantrasyonlardaki şeker veya tuz çözeltisi olabilir (Toraman, 2015). Nemin dokulardan çözeltiye taşınması için itici güç, yüksek konsantrasyonlu çözeltinin daha yüksek ozmotik basıncı tarafından sağlanır. Nem difüzyonuna, çözünmüş maddenin ozmotik çözeltiden dokuya eşzamanlı difüzyonu eşlik eder. Maddenin taşınmasından sorumlu hücre zarı mutlak seçici olmadığı için hücrelerde bulunan diğer çözeltiler de ozmotik çözeltiye ulaşabilir. Ozmotik kurutma, çoğunlukla bir ürünün nem içeriğini azaltmak, depolama sırasında kalitesini iyileştirmek ve ozmotik kurutmaya kadar sonraki diğer işlemler için toplam enerji miktarını azaltmak için ön işlem olarak uygulanır. Çoğu kez konvektif kurutma için bir ön işlem olarak ozmotik kurutmanın uygulamanın faydalarından biri, faz değişimi olmaksızın nem taşınması nedeniyle enerji tasarrufunun sağlamasıdır (Radojčin vd., 2021). Ozmotik ön işlem uygulanarak, daha sonra termal kurutmaya tabi tutulacak maddenin nemi düşürülür, böylece kurutma yükü azaltılır. Bununla birlikte yapılan çalışmalar, çözünen madde çökelme ve gözeneklerde kristalleşmeye başladığında kurutma kinetiğinin de düştüğünü göstermiştir. Bu nedenle, toplam kuruma süresi, azalan kurutma yükünden beklendiği kadar olmayabilir. Ozmotik kurutma sırasında, çalışma koşulları (basınç, ozmotik ortamın konsantrasyonu, işlem süresi, boyut ve geometri, malzemenin spesifik yüzey alanı ve sıcaklık), numune-çözelti oranı, çözünen maddenin bileşimi ve çözeltinin çalkalanma durumu gibi çeşitli faktörler kütle transferini etkiler (Mujumdar ve Law, 2010).

f. Kızılötesi Kurutma Yöntemi

Kızılötesi ışınlarla kurutma, yaş materyalin üzerine yansıyan kızılötesi ışınların ısı enerjisine dönüştürülmesi ile suyun üründen uzaklaştırılması işlemidir. Bu yöntemde kızılötesi ışınlar kurutma materyalini yüzeysel olarak ısıtırken, kurutucu içerisindeki hava ısınıp etkilenebilir. Kızılötesi ışınlar kurutma materyalinin derinliklerine nüfuz etmez. Bu yüzden ince tabaka halindeki ürünlerin kurutulması için uygun bir yöntemdir. Gıdaların kızılötesi ışınlarla kurutulması esnasında 0.5-100 µm dalga boyu kullanımı uygun görülmektedir. Ürünlerin nem yoğunluğu ve ürün kalınlığı oldukça önemli bir parametre olup, kurutma kinetiğini belirleyici bir faktördür (Günaydın vd., 2022). Geleneksel kurutuculara göre birçok üstünlükleri vardır. Bunlar; enerji verimliliğinin yüksek (enerji kullanımı daha az), kuruma süresinin kısa, ürünlerde sıcaklık dağılımının homojen ve son ürünün kalitesinin yüksek olması şeklinde sıralanabilir (Hasan vd., 2019).

g. Kontakt kurutma

Bu yöntemde, kurutma için gerekli ısı enerjisi, kurutulacak materyale, ısıtılmış yüzeylerden kondüksiyon yoluyla iletilir. Kurutulan ürüne iletilen ısı, sıcak yüzeye değen yaş materyalin ısıl kondüktivitesine ve sıcak yüzeyin ısı iletim katsayısına bağlıdır (Toraman, 2015).

h. Vakumlu kurutma tekniği

Vakumlu kurutma yoluyla dehidrasyon, kolayca bozulabilen ısıya duyarlı ürünler için kullanılır. Daha düşük sıcaklıkta daha yüksek kuruma hızına ulaşılır ve daha az enerji kullanılır. Rehidrasyon kapasitesi yüksek, ürün rengi, tadı ve vitamin ve uçucu bileşenleri daha iyi korunmuş bir ürün elde edilir. Bu özellikler, son ürünün daha kaliteli ve besin değerinin daha yüksek olmasını sağlar. Bu teknik, oksidatif bozulmaların önlenmesi için de kullanılabilir (Rahman ve Perera, 2007; Hasan vd., 2019). Genel olarak, vakumla kurutulan ürünlerin rengi, dokusu ve aroması, havayla kurutulan ürünlere göre daha iyidir. Hatta bazen ürün, dondurularak kurutulmuş gıdaların kalitesiyle karşılaştırılabilecek niteliktedir (Rahman ve Perera, 2007).

i. Püskürterek kurutma

Püskürterek kurutma, serbest akan bir sıvı karışımından suyu ayırmak, toz formuna dönüştürmek için kullanılır. Kurutulacak sıvı ilk olarak bir nozul veya döner bir atomizer yoluyla pompalanarak atomize edilir. Böylece geniş yüzey alanına sahip

küçük damlacıklar oluşturulur. Damlacıklar hemen sıcak kurutma gazıyla, genellikle hava ile temas eder. Sıvı çok hızlı bir şekilde buharlaştırılır, böylece temas süresini ve ısı hasarını en aza indirir (Rahman ve Perera, 2007). Kurutma işlemi sadece birkaç saniye sürebilir. Düşük ürün sıcaklığı ve kısa kuruma süresi, aşırı derecede ısıya duyarlı malzemeleri işlemesine olanak tanır. İşlem sürekli ve kontrol edilmesi kolaydır ve aseptik/hijyenik kurutma koşullarını karşılar (Michailidis ve Krokida, 2015). Dezavantajlar arasında kurutma için gerekli ekipmanın boyutunu büyük olması, çok yağlı materyallerde atomizasyondan önce fazla yağ seviyelerini düşürmede özel hazırlık gerektirmesi sayılabilir (Rahman ve Perera, 2007).



3. MATERYAL VE METOT

3.1. Materyal

Taze ağaç domates meyveleri (Şekil 3.1), 2019 Nisan ayında Ruanda, Rulindo Bölgesinden toplanmış ve Ondokuz Mayıs Üniversitesi (Samsun-Türkiye) Gıda Mühendisliği laboratuvarlarına getirilmiştir. Kurutma işlemi ve analizlere kadar buzdolabında saklanmıştır. Kurutmadan önce renk ve boyut açısından meyveler sınıflandırılmıştır.



Şekil 3.1: Çalışmada kullanılan ağaç domatesi meyvelerinin görünümü

3.1.1. Meyvelerin Kurutulması

Kabuğu soyulmuş ağaç domatesi meyveleri enine 5 mm kalınlığında kesilmiş ve 3 farklı kurutma yöntemiyle kurutulmuştur. Kurutmada kullanılan ilk teknik konvektif kurutmadır. Bu amaçla laboratuvar ölçeğinde programlanabilir (Şekil 3.2) konvektif fırından (Eksis Industrial Drying Systems, Isparta, Türkiye) yararlanılmış ve farklı hava sıcaklığında (40, 50, 60, 70 ve 80°C) ve 1.5 m/s hava hızında son nem içeriği %14'ün altında olacak şekilde kurutma gerçekleştirilmiştir. İkinci kurutma işlemi (Şekil 3.3), programlanabilir ev tipi mikrodalga fırını (Arçelik MD 581, Türkiye) yardımıyla 3 farklı güç seviyesinde (350, 500 ve 650W) yapılmıştır. Üçüncü yöntemde ise taze meyve örnekleri dondurularak kurutulmuş (Şekil 3.4), bu amaçla liyofilizatörden (Labconco Freeze Dryer Freezone 6 Plus, Hollanda) yararlanılmıştır.



Şekil 3.2: Kurutmada kullanılan konvektif kurutucunun görünümü



Şekil 3.3: Kurutmada kullanılan mikrodalga fırının görünümü



Şekil 3.4: Kurutmada kullanılan liyofilizatörün görünümü

3.2. Metod

Taze ve kuru ağaç domatesi meyvelerinde fiziksel, kimyasal ve morfolojik birçok analiz yapılmıştır. Bu bölümde yer alan analizlerden çözünür katı maddede sadece yaş meyvede yapılmış diğer tüm analizler hem taze hem de kuru meyvelerde gerçekleştirilmiştir.

3.2.1. Kuru Madde Tayini: Darası alınan nikel kaplara kabuğu soyulmuş ve pulp haline getirilmiş taze meyvelerden belirli bir miktarda tartılıp 70°C de 100 mmHg basınçta sabit ağırlığa gelene kadar vakumlu etüvde (Nüve EV-018, Türkiye) kurutulmuştur (AOAC, 2000).

3.2.2. Suda Çözünür Katı Madde Tayini: Pulp haline getirilen taze meyveler, filtre kağıdından süzildükten sonra Abbe refraktometresiyle (Atago, Japonya) suda çözünür katı madde içeriği belirlenmiştir (Cemeroğlu, 1992). Daha önce de ifade edildiği gibi, bu analiz sadece yaş meyvede yapılmıştır.

3.2.3. pH Tayini Pulp haline getirilmiş ağaç domateslerinin üzerine belli oranda (1:10, meyve:su) damıtık su eklenerek homojenize edilip bir gece buzdolabında bekletildikten sonra pH metreyle okuma yapılmıştır (AOAC, 2000).

3.2.4. Renk Ölçümü

Meyvelerin renk analizi, kolorimetre (Konica Minolta CR-400, Japonya) ile belirlenmiş ve renk değerleri L (açıklık/koyuluk), a (kırmızılık/yeşillik) ve b (sarılık/mavilik) olarak ifade edilmiştir. Elde edilen bu parametrelerden gidilerek toplam renk farkı (ΔE), kroma ve hue açısı hesaplanmıştır (Pathare vd., 2013):

$$Kroma = \sqrt{(a)^2 + (b)^2} \quad (1)$$

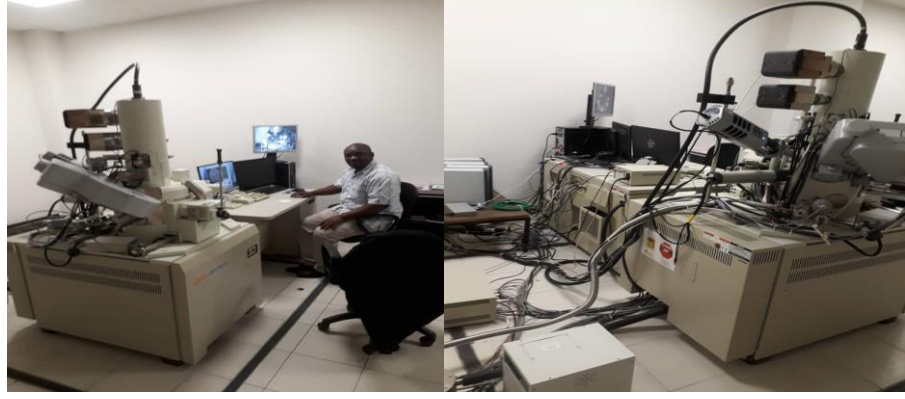
$$Hue = \arctan \frac{b}{a} \quad (2)$$

$$\Delta E = \sqrt{(L - L_0)^2 + (a - a_0)^2 + (b - b_0)^2} \quad (3)$$

L_0 , a_0 ve b_0 , kurutma öncesi renk değerleri; L , a , b kurutma sonrası renk değerleri

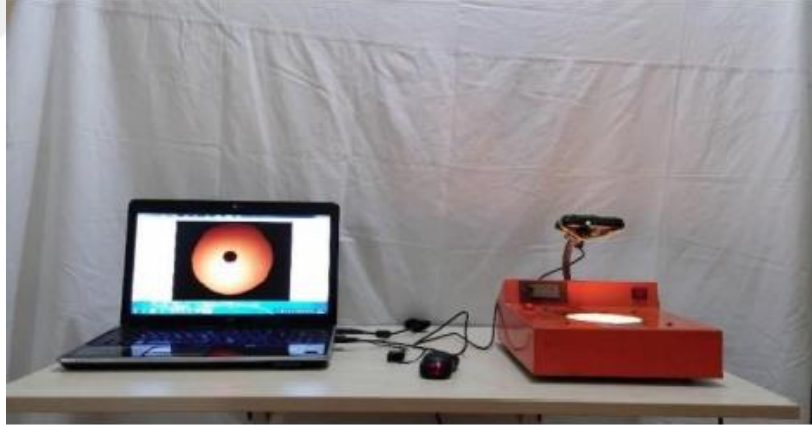
3.2.5. Su Aktivitesi: Taze meyvelerin su aktiviteleri Aqua Lab marka (Model: Dew Point Moisture Analyzer 4TE, ABD) su aktivitesi ölçüm cihazı ile belirlenmiştir.

3.2.6. Morfolojik Özelliklerin Belirlenmesi: Morfolojik özellikler, bir taramalı elektron mikroskopuyla (SEM, JEOL JSM-7001 F) ile 100x büyütmede belirlenmiştir (Şekil 3.5).



Şekil 3.5: Taramalı elektron mikroskobuna ait görüntü

3.2.7. Büzülme Analizi: Büzülme analizini yapmak için alttan aydınlatılmış, mikroorganizma sayım standı kullanılmış, projeksiyon alan ölçümü tekniğiyle yaş ve kuru meyvelerin alanları belirlenmiştir. Bunun için, üstten 10 cm yükseklikten meyvelerin fotoğrafları çekilip görüntüler bilgisayara aktarılıp (Şekil 3.6) AutoCAD paket programı yardımıyla alanları hesaplanmıştır (Çalışır ve Aydın, 2004). Bu analiz, hem taze ve hem de kuru meyvelerde yapıp taze meyvenin alanı/kuru meyvenin alanı birbirine oranlanarak büzülme oranı bulunmuştur.



Şekil 3.6: Ağaç domatesi meyvelerinde büzülme testi için kullanılan düzenek

3.2.8. Doğal Antioksidanlar ve Antioksidan Aktivitenin Belirlenmesi

3.2.8.1. Askorbik asit tayini: Askorbik asit analizi, Regnell (1976) tarafından bildirilen spektrofotometrik yöntemle belirlenmiştir. Yaş ve kuru meyveler, okzalik asit çözeltisiyle ekstrakte edilip süzölmüş, hazırlanan filtrattan 1 mL alınarak üzerine 9 mL 2,6 diklorofenol indofenol çözeltisi ilave edilmiş ve hazırlanan tanığa (1 mL filtrat + 9 mL damıtık su) karşı bir spektrofotometrede (Thermospectronic-Helios Gamma, İngiltere) 520 nm’de optik dansitesi saptanmıştır. Okunan optik dansite değeri, 1 mL okzalik asit + 9 mL damıtık suya karşı okunan değerden çıkartılmış ve bir seri askorbik asit çözeltisiyle hazırlanan standart eğriden gidilerek sonuç hesaplanmıştır.

3.2.8.2. Toplam fenolik madde tayini: Taze ve kuru meyvelerin toplam fenolik madde (TPC) içerikleri Folin-Ciocalteu yöntemine göre belirlenmiştir (Singleton vd., 1999). Metil alkolle ekstrakte edilip uygun oranda seyreltilmiş 50 µL ekstrakt, 1 mL Folin-Ciocalteu reaktifi (6 µmol) karıştırılıp 5 dakika sonra 600 µL doymuş Na₂CO₃ eklenip karıştırılmış ve oda sıcaklığında 2 saat karanlıkta bekletilip 760 nm’de bir spektrofotometre (Thermospectronic-Helios Gamma, Paisley-UK) optik dansitesi belirlenmiştir. Saf galik asit ile çizilmiş standart kalibrasyon eğrisi yardımıyla toplam fenolik madde miktarı hesaplanmıştır.

3.2.8.3. Toplam flavonoid tayini: Toplam flavonoidler Zhishen vd. (1999) tarafından bildirilen yöntem modifiye edilerek belirlenmiştir. 1 mL seyreltilmiş metanol ekstraktı alınarak üzerine 0.3 mL %5 NaNO₂ çözeltisi eklenip 5 dakika bekletilmiş, ardından 0.5 ml %5 AlCl₃ eklenip 5 dakika daha bekletilip üzerine 0.5 mL M NaOH eklenmiştir. 10 dakika inkübe edildikten sonra 510 nm’de bir spektrofotometrede (Thermo-spectronic-Helios Gamma, İngiltere) optik dansitesi belirlenmiştir. Epikateşin ile çizilen standart eğriden gidilerek toplam flavonoid miktarı hesaplanmıştır.

3.2.8.4. Toplam antosiyanin belirlenmesi

Toplam antosiyanin miktarı pH diferansiyel yöntemi kullanılarak belirlenmiş ve siyanidin-3-glukozit eşdeğeri olarak ifade edilmiştir (Lee vd., 2005). Meyveler pH 4.5 ve pH 1.0 tampon çözeltileri ile ekstrakte edilip filtre edilmiş ve bir spektrofotometrede 510 nm ve 700 nm’de optik dansitesi okunmuştur. Sonuçlar, g kuru madde ağırlığı başına mg siyanidin-3-glukozit eşdeğeri (CGE) olarak verilmiştir.

3.2.8.5. Toplam karotenoidlerin belirlenmesi: Toplam karotenoid bileşikleri, Hernández-Carrion vd. (2014)'in bildirdikleri yöntem modifiye edilerek belirlenmiştir. Homojenize taze ve kurutulmuş ağaç domates meyve örnekleri belli miktar soğuk aseton ile 3-4 kez ve meyvede renk kalmayınca kadar ekstrakte edilip filtre edilmiştir. Ekstraksiyon sonrası tüm filtrat birleştirilmiş 50 ml petrol eter içeren ayırma hunisine eklenip karıştırılmış üzerine NaCl (100 g/L) çözeltisi eklenmiş bir süre bekletildikten sonra organik faz ayrılmıştır. Kalan suyu ayırmak için susuz Na₂SO₄ kullanılmıştır. Daha sonra bir spektrofotometrede 450 nm'de optik yoğunluğu ölçülmüş ve β-karotenin petrol eterde ekstinksiyon katsayısı (2592) dikkate alınarak sonuçlar kuru maddede mg/g olarak hesaplanmıştır.

3.2.8.6. Demir indirgeme antioksidan gücü (FRAP): Metil alkolle ekstrakte edilen örnekler uygun oranda seyreltilerek; 10:1:1 (v:v:v) oranında 300 mM asetat tamponu: 20 mM FeCl₃: 10 mM TPTZ çözeltisi (40 mM HCl'de çözündürülmüş) karışımı ile karıştırılıp spektrofotometrede 593 nm de optik dansitesi belirlenmiştir. Toroloks ile çizilen kalibrasyon eğrisi yardımıyla antioksidan aktivite hesaplanmıştır (Benzie ve Strain, 1996).

3.2.8.7. DPPH serbest radikalini giderme etkisinin belirlenmesi

Örneklerin DPPH radikalini indirgeme etkisini belirlemede Zannou vd. (2020)'nin bildirdikleri yöntem modifiye edilerek kullanılmıştır. Metil alkolle ekstrakte edilen örnekler 15000 rpmde 20 dakika santrifüj edilerek bulanıklık giderilmiştir. Hazırlanan ekstrakttan 50 µL alınıp 1 mL 100 µM DPPH çözeltisi ile karıştırılıp 120 dakika sonra 517 nm dalga boyunda okuma yapılarak optik dansiteleri belirlenmiştir. Toroloks ile çizilen kalibrasyon eğrisi yardımıyla antioksidan aktivite hesaplanmıştır.

3.2.8.8. Bireysel antosiyanin ve fenolik bileşiklerin analizi

Bireysel fenolik bileşik ve antosiyaninlerin analizinde, Bosiljkov vd. (2017)'nin bildirdiği yöntem modifiye edilerek kullanılmıştır. Bunun için bir diode array detektöre (DAD) sahip yüksek performanslı sıvı kromatografisi (HPLC-DAD) sistemi (Agilent 1260; Agilent Technologies) kullanılmıştır. Fenolik bileşik ve antosiyaninler bir Inertsil ODS-4 kolonunda (3 µm, 4.6 x 50 mm; GL Sciences Kat No: 5020- 0404) 1 mL/dakika akış hızında ayrılmıştır. Mobil faz olarak (A) %94 2 mM sodyum asetat ve %6 asetik asit (v/v) (B) asetonitril kullanılmıştır. Analizde, solvent B'ye göre şu gradient elüsyon programı izlenmiştir: 0-20 dakika, %14-%23; 20-40 dakika, %23-35; 40-50 dakika, %40; 50-60 dakika, %60; 60-65 dakika, %95; 65-80 dakika, %100. Analiz sırasında

kolon sıcaklığı 30 °C'ye ayarlanmıştır. Bireysel fenolik bileşikler ve antosiyaninler, konsantrasyonu bilinen standart çözeltilerin alıkonma süreleriyle karşılaştırılarak tanımlanmıştır.

Taze ve kurtulmuş ağaç domatesi meyvelerinden belli miktar alınmış, HPLC saflığında %80 metil alkol (%0.1 HCL içeren) ile ekstrakte edilmiş ve 0.45 µ filtreden geçirilip HPLC'ye verilmiştir. Saf fenolik bileşikler ve antosiyaninlerin farklı konsantrasyondaki çözeltileri de HPLC'ye verilip alanları belirlenmiştir. Farklı konsantrasyonlara karşılık gelen alanlar kullanılarak herbir madde için standart eğri çizilerek regrasyon eşitliği saptanmıştır.

3.2.9. Uçucu Bileşiklerin Belirlenmesi

Uçucu bileşen analizinde, Gaz Kromatografisi (GC) yöntemi kullanılmıştır. Yöntem, gazların belirli sıcaklıkta ve taşıyıcı bir gazın akış hızında, çözünürlük farkları nedeniyle sıvı gazın içinde ayrılması esasına dayanmaktadır (Li vd., 2019). Bu analiz Çukurova Üniversitesi Merkez Laboratuvarında bulunan Agilent Marka 7890B GC, 7010B MS sistemi ile gerçekleştirilmiştir. Katı Faz Mikro Ekstraksiyon (SPME) yöntemiyle, 20 mL'lik vial içine 3.0 g meyve tartılıp 15 dakika boyunca 50 °C'de bekletildikten sonra Katı Faz Mikro Ekstraksiyon (SPME) aparatı 50/30 µm'lik Divinil benzen/Karboksen/Polidimetilsiloksan (DVB/CAR/PDMS) kaplı fiber ile uçucu bileşenler 30 dakika boyunca absorbe edilmiş, sonra DB-Wax (60 m x 0.25mm i.d x 0.25 µm, J&W Scientific-Folsom, USA) kapiler kolonuna 5 dakika boyunca desorbe edilerek enjekte edilmiştir. Enjeksiyon sıcaklığı 250 °C, kolon sıcaklığı 40 °C'de 4 dakika bekletildikten sonra dakikada 3 °C artırılarak 90 °C'ye, sonra dakikada 4 °C artırılarak 130 °C'ye çıkarılıp bu sıcaklıkta 4 dakika bekletilmiştir. Ardından, dakikada 5°C artırılarak, sıcaklık 240 °C'ye ayarlanmış ve 8 dakika tutulmuştur. Taşıyıcı gaz olarak helyum kullanılmıştır. Elektron enerjisi 70 eV ve kütle aralığı 30-600 m/z ve split oranı 1:10 dur. Enjeksiyon hacmi 1µL'dir. Nist kütüphane taraması gerçekleştirilerek uçucu bileşenler tanımlanmıştır.

3.3. Kurutma Kinetiğinin Matematiksel Modellemesi

Tepsili kurutucu ile 5 farklı sıcaklıkta (40, 50, 60, 70 ve 80°C) ve mikrodalga ile üç farklı üç 3 farklı güç seviyesinde (350, 500 ve 650W) kurutulan örneklerin kurutulmaları sırasında elde edilen nem oranı değerlerinin kuruma süresi ile değişimini içeren deneysel değerler 12 farklı kurutma modeline uyarlanmıştır. Yapılan

matematiksel modellemelere Tablo 3.1’de verilmiştir. Modeller MATLAB yazılımı (R2016d) kullanılarak kurutma verileri dikkate alınarak belirlenmiş, bunun için belirleme katsayısı (R^2), ki-kare (χ^2) ve ortalama hata karesi (RMSE) gibi istatistiksel parametreler kullanılmıştır.

$$MR = \frac{M_t}{M_0} \quad (3.4)$$

Denklemden; M_0 başlangıç nem içeriğini ve M_t zamanındaki başlangıç nem içeriğini ifade etmektedir.

Tablo 3.1: Ağaç domatesi meyvesinin kuruma kinetiğini belirlemede kullanılan matematiksel modeller

Model adı	Model denklemi	Referanslar
Wang ve Singh	$MR = 1 + at + bt^2$	Therdthai vd., 2011
Approximation of Diffusion	$MR = a \exp(-kt) + (1 - a) \exp(-kbt)$	Akpınar ve Bicer., 2008
Aghabashlo model	$MR = \exp(-kt/(1+gt))$	Aghabashlo vd., 2008
Page	$MR = \exp(-kt^n)$	Page, 1949
Two-term exponential	$MR = a \exp(-kt) + (1 - a) \exp(-kat)$	Sharaf-Eldeen vd., 1980
Logistic	$MR = b/(1 + a \exp(kt))$	Soysal vd., 2006
Newton	$MR = \exp(-kt)$	El-Beltagy vd., 2007
Logarithmic	$MR = a \exp(-kt) + b$	Rayaguru ve Routray, 2012
Modifiye Henderson ve Pabis	$MR = a \exp(-kt) + b \exp(-gt) + c \exp(-ht)$	Karathanos, 1999
Two-term	$MR = a \exp(-k(t^n)) + b \exp(-c(t^f))$	Sacilik, 2007
Midilli	$MR = a \exp(-kt^n) + bt$	Midilli vd., 2002
Henderson ve Pabis	$MR = a \exp(-kt)$	Henderson ve Pabis, 1961
Two-term exponential	$MR = a \exp(-kt) + (1-a) \exp(-kat)$	Dash vd., 2013

*Burada t, zaman, a, b, k, g, n modellerde kurutma sabitleridir ve k, kurutma hızı sabitidir.

3.4. Rehidrasyon Kapasitesinin Belirlenmesi ve Modellenmesi

Rehidrasyon testi oda sıcaklığındaki damıtık suyla gerçekleştirilmiştir. 5 g kuru meyve 500 mL damıtık su ile karıştırılıp bekletilmiş, 1 saat aralıklarla meyvenin ağırlığındaki değişim kaydedilmiştir. Toplam 6 saat boyunca gözlem devam etmiştir. Kuru meyvenin nem içeriğindeki değişim aşağıdaki denklem kullanılarak kuru bazda hesaplanmıştır (Ghellam ve Koca, 2020):

$$M_c = \frac{W_{st} - W_{dm}}{W_{dm}} \quad (3.5)$$

Denklemden;

M_c = herhangi bir zamandaki nem içeriğini,

W_{st} = herhangi t anındaki numune ağırlığını,

W_{dm} = meyvenin kuru madde içeriğini ifade etmektedir.

Kurutulmuş meyvenin rehidrasyon oranı (R_r) aşağıdaki formül yardımıyla hesaplanmıştır (Benseddik vd., 2019);

$$R_r = \frac{M_t - M_0}{M_e - M_0} \quad (3.6)$$

M_t = Herhangi bir andaki nem içeriği (g su/ g kurumadde)

M_0 =Rehidrasyon işleminden önceki nem içeriği (g su/ g kurumadde).

M_e = Denge anındaki nem içeriği (g su/ g kurumadde)

Ağaç domatesinin rehidrasyonu sırasında elde edilen nem oranı değerlerinin rehidrasyon süresi ile değişimini içeren deneysel veriler 6 farklı kurutma modeli ile modellenmiştir. Yapılan matematiksel modellemeler Tablo 3.2’de verilmiştir.

Tablo 3.2: Ağaç domatesi meyvesinin rehidrasyon kinetiğini tanımlamada kullanılan modeller

Modeller	Denklemler	Referanslar
Peleg	$M(t) = M_0 + \frac{t}{k_1 + k_2 t}$	Peleg, 1988
Weibull	$M(t) = M_e + (M_0 - M_e) \exp \left[- \left(\frac{t}{b} \right)^a \right]$	Goula ve Adamopoulos, 2009
First order	$M(t) = M_e + (M_0 - M_e) \exp (-kt)$	Apar vd., 2009
Exponential Model	$M(t) = M_e + (M_0 - M_e) \exp (-at^k)$	Saguy vd., 2005
Proposed Model	$M(t) = a \exp \left(- \frac{b}{(1+t)^k} \right)$	Vega-Gálvez vd., 2009
Exponential Related Equation	$M(t) = M_e (1 - \exp(-at))$	Noshad vd., 2012

Kurutulmuş ağaç domatesi meyvesinin rehidrasyon kinetiği verileri, MATLAB (R2016d) yazılımı kullanılarak ki-kare (χ^2), tahmini standart hata (RMSE) ve belirleme katsayısı (R^2) değerlerinin saptanmasıyla istatistiksel olarak analiz edilmiştir. Buna göre, kurutulmuş meyvenin rehidrasyon yeteneklerini yorumlamada en yüksek R^2 , en düşük χ^2 ve RMSE'ye sahip modeller optimum modeller olarak seçilmiştir.

$$R^2 = 1 - \frac{\sum_{i=1}^N (R_{re,i} - R_{rp,i})^2}{\sum_{i=1}^N (\bar{R}_{re,i} - R_{re,i})^2} \quad (3.7)$$

$$\chi^2 = \frac{\sum_{i=1}^N (R_{re,i} - R_{rp,i})^2}{N - n} \quad (3.8)$$

$$RMSE = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^N (R_{rp,i} - R_{re,i})^2}{N}} \quad (3.9)$$

Denklemlerde;

$R_{rp,i}$ = tahmini ayrılabilir nem oranı

$R_{re,i}$ = deneysel rehidrasyon oranları

$\bar{R}_{re,i}$ = deneysel rehidrasyon oranının ortalaması

N = deneysel veri sayısı

n = kullanılan modeldeki katsayı sayısını ifade etmektedir

3.5. İstatistiksel Analiz

Ağaç domatesi meyvelerinin kurutma ve rehidrasyon kinetiğinin modelleme analizleri, MATLAB yazılımı (R2016d) ile ANOVA kullanılarak yapılmış, bağımsız değişkenlerin istatistiksel farklılığını ve aralarındaki korelasyonu değerlendirmek için kullanılmıştır. Çalışmanın istatistiksel analizleri, SPSS 21 (SPSS Inc., Chicago, U.S.A) programında yapılmıştır. Kurutulan meyvelerin farklı kurutma yöntemlerinden elde edilen verilerine ve bunların interaksiyonlarına varyans analizi uygulanmış, verilerin ortalamaları $p < 0.05$ önem seviyesinde Duncan Çoklu Karşılaştırma Testi ile karşılaştırılmıştır.

4. BULGULAR VE TARTIŞMA

4.1. Taze Ağaç Domatesinin Meyve Özellikleri

Çalışmanın materyalini oluşturan taze ağaç domateslerine ait fiziksel, kimyasal ve antioksidan özellikler, Tablo 4.1'de verilmiştir.

Tablo 4.1: Taze ağaç domatesi meyvelerinin bazı özellikleri

Özellik	Ortalama±std. s.	Özellik	Ortalama±std.s
<i>L</i>	37.35±4.18	Bireysel fenolikler, mg/g**	
<i>A</i>	14.46±5.10	Gallik asit	0.919±0.023
<i>B</i>	15.45±2.24	Kateşin	1.724±0.078
Kuru madde, g/100g	13.79±0.56	Epikateşin	0.493±0.004
Çözünür katı madde, °B	7.10±0.10	p-kumarik asit	0.011±0.002
pH	3.66±0.06	Sinapik asit	0.054±0.002
Su aktivitesi	0.99±0.00	Kersetin-3-glukozit	0.567±0.024
<i>C</i> Vitamini, mg/g**	2.24±0.21	Salisilik asit	0.262±0.011
Toplam fenolik, mg/g**	6.33±0.25	Resveratrol	0.076±0.002
Toplam flavonoid, mg/g**	1.86±0.06	Bireysel antosiyaninler, mg/g**	
Toplam antosiyanin, mg/g**	2.65±0.30	Siyanidin klorit	0.139±0.013
Toplam karotenoid, mg/g**	0.41±0.05	Siyanidin-3-glukozit	0.523±0.025
DPPH, mmol trolox/g**	177.61±12.13	Pelargonidin-3-glukozit	5.884±0.281
FRAP, mmol trolox/g**	255.03±11.38		

* *Kuru maddede

Görüldüğü gibi meyvelerin renk değerleri ortalama *L*, *a* ve *b*; 37.35, +14.46 ve +15.45 olarak belirlenmiştir. Yeni Zelanda'da yetişen ağaç domateslerinde *L**, *a** ve *b** değerleri sırasıyla sarı çeşitte 61.8, 22.0, 53.2, kırmızı çeşitte 30.6, 27.8, 12.0 ve koyu kırmızı çeşitte 27.8, 28.7, 8.8 olarak saptanmıştır (Diep vd., 2020a). Ekvador'da ıslah çalışmaları için kullanılan 90 farklı özellikteki ağaç domateslerinde *L*, *a* ve *b* değerleri sırasıyla 33.54-77.35, 3.12-19.11 ve 3.65-55.99 arasında değişmiştir (Viera vd., 2022). Bu çalışmada varyasyonun fazla olduğu, dolayısıyla mevcut çalışma verilerin de bu sınırlar içinde olduğu görülmektedir. Kırmızı ağaç domatesi, hem karotenoidleri hem de antosiyaninleri içeren bir meyve olması nedeniyle meyvenin bazı kısımları kırmızı, bazı kısımları sarı renktedir. Meyve çekirdeğinin etrafı antosiyanince zengin, dolayısıyla kırmızı renktedir (Wrolstad ve Heatherbell, 1974). Meyvenin dış kısımlarına doğru karotenoidlerden kaynaklanan sarı renk hakimdir.

Taze meyvelerin ortalama kuru madde, çözünür katı madde, pH ve su aktivitesi değeri sırasıyla %13.79, 7.1 °B, 3.66 ve 0.99 bulunmuştur. Literatürde; kuru madde %8-14 (Vasco vd., 2009; Mutalib vd., 2017; Diep vd., 2020a; Diep vd., 2022a), çözünür katı madde % 8.80-12.50 (Vasco vd., 2009; Pantoja vd., 2009; Torres, 2012; Diep vd., 2020a), pH 3.2-4.1 (Vasco vd., 2009; Diep vd., 2020a; Chen vd., 2021) arasında rapor

edilmiş olup saptanan çözünür katı madde değeri literatürde bildirilenden daha düşüktür. Bu farklılık yetiştirme koşulları, çeşit, olgunluk düzeyi gibi birçok faktörden kaynaklanmış olabilir.

Kurutulmuş meyvelerde su içeriği 12.87 ± 1.41 , su aktivitesi 0.357 ± 0.05 'e kadar düşürülmüştür. Daha öncede ifade edildiği gibi, kurutmanın asıl hedefi su miktarı özellikle su aktivitesini düşürerek üründeki bozulmaları minimuma indirmektedir. En fazla su kaybı ve en düşük su aktivitesi değerleri dondurarak kurutmada elde edilmiştir. Ürünün su aktivitesinin 0.30'lara düşmesi lipid oksidasyonu, enzimatik olmayan esmerleşme, enzim aktivitesi ve çeşitli mikrobiyolojik bozulmalara karşı stabilite sağlamaktadır. Yüksek su aktivitesi, istenmeyen biyokimyasal değişikliklere ve mikrobiyolojik bozulma riskine yolaçmasından dolayı ürünlerin depolanma stabilitesini azaltır. Mikrobiyolojik ve biyokimyasal değişimleri sınırlandırmak için kuru meyvelerde su aktivitesi 0.600'ün altında olmalıdır (Barbosa-Canovas vd., 2020). Samoticha vd. (2016), farklı tekniklerle kurutulan (dondurarak, vakum, konvektif, mikrodalga ve kombine edilmiş) aronya meyvelerinde su aktivitesinin 0.126 ile 0.548 arasında değiştiğini saptamışlardır. Araştırmacılar, en düşük su aktivitesini dondurarak kurutulan meyvelerde saptarken mikrodalgada kurutulanların konvektif kurutulanlara göre daha yüksek su aktivitesi içerdiğini kaydetmişlerdir ki bildirilen durum bizim bulgularımızla uyumludur. Bu çalışmada, su aktivitesi mikrodalgayla kurutulanlarda 0.40-0.43; konvektif kurutulanlarda 0.30-0.39 arasında değişmiştir.

Ağaç domatesi doğal antioksidan maddelerce zengin bir meyvedir. Taze meyvelerde C vitamini ve toplam karotenoidler kuru maddede sırasıyla 2.24 mg/g ve 0.41 mg/g bulunmuştur. Literatürde ağaç domatesinin C vitamini içeriğinin 16-31 mg/100 g (taze ağırlıkta) arasında değiştiği bildirilmiştir (Vasco vd., 2009; Valente vd., 2011; Diep vd., 2022a). Bu çalışmadaki sonuçlar, bildirilenlerle uyumludur. Bilindiği gibi C vitamini güçlü bir antioksidan olup bu meyvenin antioksidan statüsüne katkı yapan maddelerdendir. Vasco vd. (2009), Ekvador'da yetiştirilen ağaç domatesi meyvelerinin beta karoten içeriklerini sarı çeşitlerde yaş ağırlıkta 3.4 mg/100g, pembe-kırmızı çeşitlerde 5.2 mg/100g; Mutalib vd. (2017) kuru maddede 4.80 mg/100 g olarak bildirmişlerdir. Bu çalışmada, bireysel karotenoidler değil toplam karotenoid içeriği saptanmış olup Vasco vd. (2009) ve Mutalib vd. (2017)'in bulgularından daha yüksektir.

Taze meyvelerde toplam fenolik madde, toplam flavonoid, toplam antosiyanin

kuru maddede sırasıyla 6.33, 1.86 ve 2.65 mg/g bulunmuştur. Görüldüğü gibi, en bol bulunan fenolik bileşik kateşin (1.724 ± 0.078 mg/g), ardından gallik asit (0.919 ± 0.023 mg/g)'tir. Vasco vd. (2009), Ekvador'da yetiştirilen ağaç domatesi meyvelerinin toplam fenolik madde içeriklerini sarı çeşitlerde 125 mg/100g ve mor-kırmızı çeşitlerde 187 mg/100 g, toplam antosiyanini kırmızı çeşitlerde 38 mg/100g, sarı ve kırmızı çeşitlerde sırasıyla 39 ve 61 mg/100g hidroksisinamik asit türevleri, 6 ve 4 mg/100 g kersetin ve 1.2 ve 1.4 mg/100g mirisetin olarak bulmuşlardır. Bu çalışmada saptanan toplam fenolik madde ve antosiyanin içeriği Vasco vd. (2009)'in bulgularından yüksektir. Pelargonidin-3-glukozit en bol bulunan antosiyanin (5.884 ± 0.281 mg/g) olup ardından siyanidin-3-glukozit (0.523 ± 0.025 mg/g) gelmiştir. Aguiar vd. (2020), ağaç domatesinde bireysel fenoliklerden sadece (+)-kateşin, gentisik asit ve vanilik asitin varlığını saptamışlardır. Araştırmacılar, ağaç domatesinde toplam fenolik maddeyi 1.10 mg/g, toplam flavonoidi 0.69 mg/g toplam antosiyanini 17.3 µg/g olarak bulmuşlardır ki bu sonuçlar mevcut çalışmanın sonuçlardan daha düşüktür. Diep vd. (2020a), kuru maddede toplam fenolik maddeyi 96.56-122.26 mg/100g, p-kumarik asiti 0.07-0.12 mg/100 g, gallik asiti 0.79-1.00 mg/100g, kateşini 0.30-3.91 mg/100g, epikateşin 1.34-2.31 mg/100g bulmuşlardır. Bulgular, mevcut çalışma sonuçlarından daha düşüktür. De Rosso ve Mercadante (2007), ağaç domatesi meyvelerinde toplam antosiyanini 8.5 mg/100 g olarak saptamışlar ve bireysel 3 antosiyanin içerdiğini, dominant pigmentin delfinidin 3-rutinosit olduğunu bildirmişlerdir. Aynı durumu Diep vd. (2020c), ağaç domatesi pulpu için rapor etmişlerdir. Espín vd. (2016), Ekvador'da yetiştirilen sarı ve mor ağaç domatesi çeşitlerinin fenolik bileşikleri ve antioksidan kapasitelerini araştırdıkları çalışmada, mor çeşitlerde ana antosiyaninlerin pelargonidin 3-O-rutinosit ve delfinidin 3-O-rutinosit olduğunu belirtmişlerdir. Mor çeşitlerde antosiyanini kuru maddede 168.9 mg/100 g olarak saptamışlardır. Mevcut çalışmada saptanan dominant antosiyanin ve toplam antosiyanin miktarı De Rosso ve Mercadante (2007) ile Espín vd. (2016)'in bulgularından daha yüksektir. Rohilla vd. (2022), mor ağaç domatesinde toplam fenolik maddeyi kuru maddede 16.12 mg/g ve toplam antosiyanini 0.62 mg/g olarak belirlemişler, bireysel fenolik asit olarak gallikasit, klorojenik asit, kafeik asit ve p-kumarik asit ve bireysel antosiyanin olarak delfinidin-3-O-rutinosit, siyanidin-3-O-rutinosid ve pelargonidin-3-O-rutinosidi saptamışlardır. Bildirilen toplam fenolik içeriği bu çalışmada bulunandan daha yüksek, antosiyanin ise daha düşüktür. Viera vd. (2022), Ekvador'da yetiştirilen ağaç domateslerinin kuru maddede polifenol içeriğini 5.11-16.59 mg/g, flavonoidleri 1.24-6.70 mg/g, karotenoidleri 50.39-460.72 µg/g,

antosiyani 1.06-240.49 mg/100 g, C vitamini 78.29- 420.16 mg/100 g arasında belirlemişlerdir ki C vitamini, polifenoller ve flavonoidler mevcut çalışma sonuçlarıyla uyumludur.

Taze ağaç domatesinin kuru maddede FRAP değeri 255.03 mmol/g, DPPH serbest radikal giderme etkisi 177.61 mmol/g olarak belirlenmiştir. Diep vd. (2020c), FRAP değerini ağaç domatesinin kabuk kısmında 52.23 µmol/g, pulp kısmında 72.14 µmol/g olarak belirlemişlerdir. Genel olarak bu çalışmada kullanılan meyvelerin antioksidan aktivitesi literatürde (Diep vd., 2020c) belirtilen değerlerden daha yüksektir.

Taze ağaç domatesinde toplam 45 uçucu bileşen saptanmış olup 39 tanesi teşhis edilebilmiştir (Tablo 4.2).

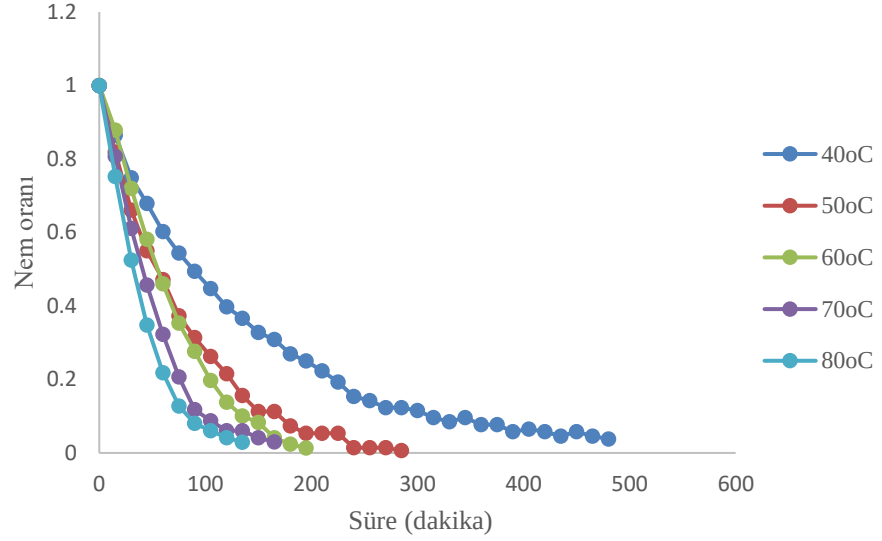
Uçucu bileşiklerden bütanoik asitin etil (452.50±108.78 µg/kg) ve metil (102.55±81.56 µg/kg) esterleri, heksanoik asitin metil (662.70±467.66 µg/kg) ve etilesterleri (359.53±167.50 µg/kg), n-amil asetat (72.13±69.04 µg/kg) ve okaliptolun (61.05±36.29 µg/kg) miktar olarak fazla oldukları görülmüştür. Torrado vd. (1995), taze ağaç domatesi pulpunda, ana uçucu bileşenlerin metil heksanoat, (E)-heks-2-enal, (Z)-heks-3-en-1-ol, ojenol ve 4-allil-2,6-dimethoksi fenol olduğunu; Garcia vd. (2016), kırmızı ağaç domatesinde ana uçucu bileşenlerin pentan-metilheksanoat, (E)-heks-2-enal, (Z)-heks-3-en-1-ol, öjenol ve 4-allil-2,6-dimetoksifenolden oluştuğunu, sarı çeşitte ise (Z)-heks-2-enal, 4-hidroksi-4-metil-2-pentanon, (Z)-heks-2-enol ve metilbütanoatın ana bileşenler olduğunu; Méndez vd. (2016) ise etil bütanoat, metil heksanoat, okaliptol ve etil heksanoat olduğunu rapor etmişlerdir. Görüldüğü gibi, mevcut çalışma sonuçları, Méndez vd. (2016)'ın bulgularıyla uyumludur.

Tablo 4.2: Taze ağaç domatesinin uçucu bileşen kompozisyonu (µg/kg)

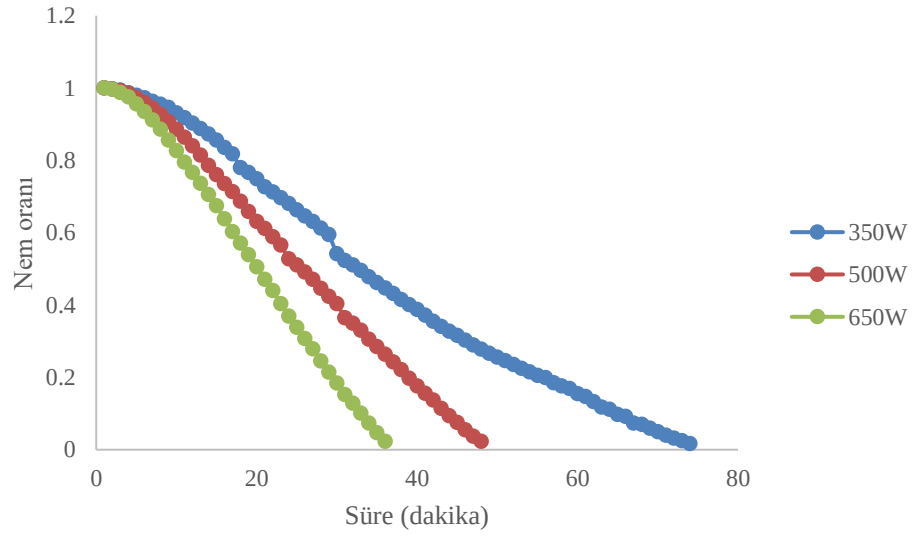
Bileşen	RT	Ortalama±Stdsapma
Karbon dioksit	2.88778	43.00±1.14
Asetaldehit	3.46492	21.96±5.97
Etilasetat	5.58617	22.67±10.72
1,4-Sikloheksadien, 1-metil-/1,3,5-Hekzatrien, 3-metil-, (Z)-	7.25918	31.91±18.25
Bütanoik asit, metil ester	8.20489	102.55±81.56
Dekan/Oksiran, 2-bütil-3-metil-, cis-	9.03348	2.99±2.43
1R-α-Pinen	9.50623	3.86±3.12
α-Fellandren	9.69963	14.21±10.54
Bütanoik asit, etil ester	10.0366	452.50±108.78
n-Amil asetat	13.6043	72.13±69.04
Benzeneetanamin, N-metil-	13.9205	3.00±1.36
.(-)-β-Pinen/.beta.-Mirsen	15.5198	3.55±1.17
4-Terpinenil asetat	16.1552	1.92±0.29
Hekzanoik asit, metil ester	16.4858	662.70±467.66
2,3-Dehidro-1,8-sineol	16.6924	8.21±7.43
D-Limonen	17.0362	4.25±1.34
Ökalyptol	17.5181	61.05±36.29
Hekzanoik asit, etil ester	18.6876	359.53±167.50
4-Karen, (1S,3R,6R)-(-)-.gamma.-Terpinen	19.1972	3.90±0.23
1,3,6-Oktatrien, 3,7-dimetil-, (Z)-	19.4427	4.57±3.60
p-Simen	20.2316	4.29±2.83
Asetik asit, heksil ester	20.4311	2.84±1.19
Oktanal	21.1	3.98±3.51
3-Hekzen-1-ol, asetat, (Z)-	22.3219	10.73±9.71
4-Nonanon	22.8038	8.35±1.79
Pirimidin-2,4(1H,3H)-dion, 5-amino-6-nitroso-	23.12	2.02±1.56
1-Hekanol	23.8812	19.11±8.40
3-Hekzen-1-ol, (E)-	24.2434	6.19±1.60
4-Hekzen-1-ol, (E)-	25.0507	13.72±9.73
Oktanoik asit, metil ester	25.3945	3.09±0.83
Nonanal	26.478	6.85±6.94
Oktanoik asit, etil ester	27.1502	3.05±0.34
Ethanon, 1-(2-furanil)-:	29.3787	4.10±0.24
Bütanedioik asit, metil-, dimetil ester	31.3431	2.26±0.13
trans-Sabinene hidrat	33.0251	2.25±0.95
Propanoik asit, 2-metil-, etil ester	35.4561	2.87±0.18
.alpha.-Terpineol	36.9018	12.35±5.29
p-Mentha-1,5-dien-8-ol	37.9024	1.47±0.72
Siklopentanasetik asit, 3-oxo-2-pentil-, metil ester	51.6984	1.64±0.29

4.2. Kuruma Kinetiğinin Belirlenmesi

Farklı kurutma yöntemleriyle kurutulan ağaç domatesinin nem içeriği ortalama %86.21±0.56'dan %10.19±1.02 ile %14.71±1.65'e kadar düşürülmüştür. En düşük nem içeriği liyofilize ürünlerde belirlenirken, en yüksek 500W'da mikrodalgada kurutmada olmuştur. Kurutma süresi konvektif kurutmada (Şekil 4.1) sıcaklığa bağlı olarak, mikrodalgada (Şekil 4.2) ise güce bağlı olarak değişmiştir.



Şekil 4.1: Farklı sıcaklıklarda konvektif olarak kurutulan ağaç domatesinin kuruma oranının süreye bağlı değişimi



Şekil 4.2: Farklı güçte mikrodalgayla kurutulan ağaç domatesinin kuruma oranının süreye bağlı değişimi

Şekil 4.1'den görüldüğü gibi, sıcaklık yükseldikçe kurutma süresi düşmüştür. 40 °C'de yapılan kurutma işleminde; nem içeriğinin 1 g su/g kuru maddeden yaklaşık 0.02 g su/g kuru madde değerine düşüşü ortalama 480 dakika, 50 °C'de yapılan kurutma 283 dakika 60 °C'de 195 dakika, 70 °C'de 165 dakika ve 80 °C'de 135 dakika sürmüştür. Mikrodalga kurutmada ise 350 W'da 72 dakika, 500W'da 47 dakika, 650 W'da ise 35 dakika sürmüştür (Şekil 4.2). Görüldüğü başlangıçta kuruma hızlı olup

ilerleyen zamanda hız yavaşlamaktadır. Bu durumu araştırmacılar (Gaware vd., 2010; Chin vd., 2015); ürün yüzeyinden havaya olan nem göçü ve buharlaşma hızı, ürün nemi azaldıkça düştüğünden kuruma hızının yavaşlamasına bağlamışlardır. Araştırmacılar, sıcaklık daha yüksek olduğunda kuruma süresinin kısaldığını, kuruma hızının yükseldiğini ve bu artışın hava ile ürün arasındaki ısı transfer potansiyelinin artmasından ve dolayısıyla üründen suyun buharlaşmasını kolaylaştırmasından kaynaklandığını bildirmişlerdir.

Gaware vd. (2010), 6 mm kalınlıktaki domates dilimlerini farklı kurutma teknikleri (mikrodalga, dondurarak, konvektif, ısı pompasıyla ve solar sistemle kabin kurutma) kullanarak aynı nem içeriğine kadar kuruttukları çalışmada; ürünün kuruma süresinin yöntemle ilgili olarak çok değiştiğini, en hızlı kurutmanın mikrodalgayla gerçekleştiğini kaydetmişlerdir. Araştırmacılar, mikrodalga ile ısıtma sırasında, ürün içinde üretilen ısı hızla kütle transferine yol açtığını ve ürünün merkezi ile yüzeyi arasında yüksek bir buhar basıncı farkı oluşup kuruma süresinin çok kısalmasına neden olduğunu bildirmişlerdir. Chin vd. (2015), 0.3 ve 0.6 cm kalınlıkta dilimledikleri kivileri 40, 50 ve 60°C'de kurutmuşlardır. Kurutma sıcaklığının artmasının kivi dilimlerinin kuruma hızını artırdığını, çünkü daha yüksek kurutma sıcaklığının daha yüksek ısı transfer hızına katkıda bulunduğu ve nemin içeriden yüzeye buharlaşma için difüzyonu uyardığını bildirmişler ve kurutma boyunca serbest nem içeriğinin azalmasıyla kuruma hızının düştüğünü kaydetmişlerdir. Darıcı ve Şen (2015), 4 ve 6 mm kalınlıkta dilimleyip 50-80°C'de farklı hava hızlarında konvektif kuruttukları kivilerde kurutma sıcaklığı arttıkça kuruma süresinin kısaldığını bildirmişlerdir. Polatoğlu ve Vildan Beşe (2017), farklı sıcaklık (50, 60 ve 70°C) ve hava hızında (0.4, 0.7 ve 1.0 m/s) konvektif kurutulan kızılcığın kuruma süresinin, hava sıcaklığı ve hızından çok etkilendiğini, sıcaklık arttıkça sürenin kısaldığını bildirmişlerdir. Aynı sonuç kuşburnunda çalışan diğer araştırmacılar (Ochoa vd., 2002; Ohaco vd., 2005; Márquez vd., 2006; Bicer ve Kar, 2013; Pashazadeh vd., 2021) tarafından da bildirilmiştir. Lokhande vd. (2017), 60°C konvektif ve mikrodalga (350, 500, 750 ve 1000W) ile üzüm kuruttukları çalışmada; konvektif kurutmayla %24.22 neme düşüncüye kadar 180 dakika geçtiğini, oysa mikrodalgada güce bağlı olarak 5-20 dakika arasında nem düzeyi %12.54-14.96'a kadar indiğini, güç arttıkça sürenin azaldığını kaydetmişlerdir. Farklı kalınlıkta dilimledikleri trabzon hurması meyvelerini farklı güce (120, 350, 460 ve 600W) ayarlı mikrodalgada kurutan Çelen (2019) de mikrodalga gücü arttıkça, kurutma hızının da arttığını

saptamıştır. Mikrodalga ile kurutmanın daha hızlı olmasının nedenini; mikrodalga enerjisi ile kurutmanın temelinin geleneksel kurutma yöntemlerinden farklı mekanizmaya sahip olmasına bağlamıştır. Araştırmacı, geleneksel kurutmada kademeli bir kurutma olduğunu, sıcak yüzeyle daha soğuk iç yüzey arasındaki sıcaklık farkından dolayı ısıнын maddenin yüzeyinden iç kısma iletildiğini, ancak mikrodalga kurutmada elektromanyetik alan materyali bir bütün olarak etkileyerek materyaldeki su moleküllerinin saniyede milyonlarca kez titreşmesine neden olduğunu, bu titreşim ile ortaya çıkan enerjinin ise nemin çok hızlı buharlaşmasını yol açtığını bildirmiştir. Tüm bu çalışmalardan görüleceği gibi mevcut çalışma sonuçları, bu konuda çalışma yapan birçok araştırmacının bulgularıyla uyumludur.

Tepsili kurutucu ile 5 farklı sıcaklıkta (40, 50, 60, 70 ve 80 °C) ve mikrodalgayla üç farklı güçte (350, 500 ve 600 W) işlem gören meyvelerin kurutulması sırasında elde edilen nem oranı değerlerinin kuruma süresi ile değişimini içeren deneysel veriler 12 farklı kurutma modeline uyarlanmıştır. Yapılan matematiksel modellemelerin sonuçları Tablo 4.3'te verilmiştir.

Tablo 4.3: Ağaç domatesi meyvelerinin deneysel kurutma verilerine uygulanan farklı kurutma modelleri ve istatistiksel analiz sonuçları

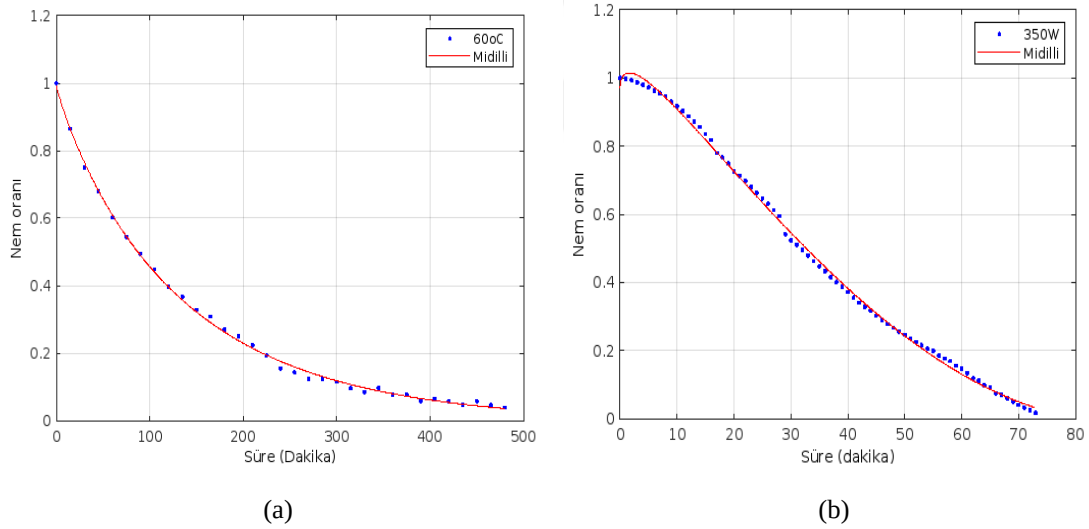
Kurutma Yöntemi	Model adı	R ²	RMSE	χ^2	Model sabitleri
KK40	Wang ve Singh	0.9550	0.0562	0.0032	a =-0.0053277, b =7.3281 x10 ⁻⁶
	Approximation of Diffusion	0.9960	0.0152	0.0002	a =0.97328, b =-1.8879, k =0.0080888, t =-0.063569
	Aghabashlo model	0.9970	0.0131	0.0002	g =0.0005226, k =0.0082773
	Page	0.9980	0.0103	0.0001	k =0.01199, n =0.90861
	Logistic	0.9970	0.0140	0.0002	a=6176.5024, b =5923.1842, k =0.0071994
	Newton	0.9950	0.0181	0.0003	k =0.0075218
	Logarithmic	0.9978	0.0123	0.0002	a =0.95111, b =0.017749, k =0.007637
	Modifiye Henderson ve Pabis	0.9980	0.0110	0.0001	a =0.093635, b =-0.029989, c =0.93626, g =0.42977, h =0.0070239, k =0.68143
	Henderson ve Pabis	0.9970	0.0138	0.0002	a =0.95884, k =0.0071989
	Two-term	0.9980	0.0094	0.0001	a =0.086489, b =0.91475, g =0.0068822, k =0.063163
	Midilli	0.9980	0.0105	0.0001	a =0.99223, b =-6.7951x10 ⁻⁶ , k =0.011644
	Two-term exponential	0.9970	0.0129	0.0002	a=0.45989, k =0.011856
KK50	Wang ve Singh	0.9727	0.0500	0.0025	a =-0.009057, b =2.0474x10 ⁻⁵
	Approximation of Diffusion	0.9987	0.0120	0.0001	a =1.0244, b =0.28934, k =0.012554, t=0.17719
	Aghabashlo model	0.9984	0.0120	0.0001	g =-0.0005864, k =0.012501
	Page	0.9979	0.0140	0.0002	k =0.01118, n =1.0392
	Logistic	0.9981	0.0130	0.0002	a =3.9452, b =4.889, k =0.014931
	Newton	0.9975	0.0150	0.0002	k =0.013363
	Logarithmic	0.9987	0.0110	0.0001	a =1.0196, b =-0.026337, k =0.012411
	Modifiye Henderson ve Pabis	0.9975	0.0170	0.0003	a =1.0114, b =-0.42239, c =0.41103, g =0.92233, h =0.77091, k =0.013511
	Henderson ve Pabis	0.9975	0.0150	0.0002	a =1.0051, k =0.013429
	Two-term	0.9982	0.0140	0.0002	a =7.8287, b =-6.8287, g =0.017776, k =0.01709
	Midilli	0.9987	0.0110	0.0001	a =0.99661, b =-9.1545x10 ⁻⁵ , k =0.013237, n =0.99226
	Two-term exponential	0.9974	0.0150	0.0002	a =7.8287, b =-6.8287, g =0.017776, k =0.01709
KK60	Wang ve Singh	0.9983	0.0140	0.0002	a =-0.01057, b =2.862 x10 ⁻⁵
	Approximation of Diffusion	0.9952	0.0262	0.0007	a =1.1643, b =0.38353, k =0.010506, t=0.59385
	Aghabashlo model	0.9987	0.0126	0.0002	g =-0.0028497, k =0.010551
	Page	0.9994	0.0083	0.0001	k =0.0036577, n =1.311

	Logistic	0.9994	0.0089	0.0001	a =0.56602, b =1.5717, k =0.024079
	Newton	0.9805	0.0462	0.0021	k =0.014361
	Logarithmic	0.9966	0.0211	0.0004	a =1.1703, b =-0.13451, k =0.01144
	Modifiye Henderson ve Pabis	0.9945	0.0313	0.0010	a =0.38008, b =-0.55442, c =1.1743, g =0.80106, h =0.016742, k =0.93246
	Henderson ve Pabis	0.9863	0.0404	0.0016	a =1.0687, k =0.015293
	Two-term	0.9945	0.0280	0.0008	a =1.1744, b =-0.17456, g =1.8094, k =0.016743
	Midilli	0.9997	0.0060	0.0000	a =1.001b =-0.00010944, k =0.0043431, n =1.2636
	Two-term exponential	0.9989	0.0117	0.0001	a =1.8681, k =0.020829
KK70	Wang ve Singh	0.9965	0.0205	0.0004	a =-0.014266, b =5.2133 x10 ⁻⁵
	Approximation of Diffusion	0.9919	0.0349	0.0012	a =1.0667, b =0.095315, k =0.016787, t=0.076291
	Aghabashlo model	0.9965	0.0205	0.0004	g =-0.0030186, k =0.015397
	Page	0.9983	0.0141	0.0002	k =0.0069671, n =1.2503
	Logistic	0.9986	0.0139	0.0002	a =0.72394, b =1.7259, k =0.030412
	Newton	0.9872	0.0375	0.0014	k =0.019482
	Logarithmic	0.9931	0.0304	0.0009	a =1.0866, b =-0.054181, k =0.017779
	Modifiye Henderson vePabis	0.9962	0.0277	0.0008	a =-1.1508, b =1.1639, c =0.98731, g =0.022466, h =0.63652, k =2.0033
	Henderson ve Pabis	0.9899	0.0349	0.0012	a =1.0474, k =0.020337
	Two-term	0.9962	0.0240	0.0006	a =1.1647,b =-0.1647,g =3.8461, k =0.02248
	Midilli	0.9988	0.0134	0.0002	a =0.99352, b =0.00012149, k =0.0055669, n =1.3119
	Two-term exponential	0.9984	0.0137	0.0002	a =1.8115, k =0.02737
KK80	Wang ve Singh	0.9958	0.0232	0.0005	a =-0.017517, b =7.843 x10 ⁻⁵
	Approximation of Diffusion	0.9953	0.0283	0.0008	a =1.0542, b =0.2484, k =0.021324, t=0.3862
	Aghabashlo model	0.9981	0.0154	0.0002	g =-0.0030478, k =0.019954
	Page	0.9995	0.0079	0.0001	k =0.010811, n =1.2059
	Logistic	0.9995	0.0084	0.0001	a =0.96641, b =1.9708, k =0.035016
	Newton	0.9920	0.0302	0.0009	k=0.024143
	Logarithmic	0.9959	0.0244	0.0006	a =-0.017517, b =7.843x10 ⁻⁵
	Modifiye Henderson ve Pabis	0.9987	0.0181	0.0003	a =0.96641, b =1.9708, k =0.035016
	Henderson ve Pabis	0.9935	0.0288	0.0008	a =1.0542, b =0.2484, k =0.021324, t =0.3862
	Two-term	0.9996	0.0081	0.0001	a =0.99799, b =0.00011632, k =0.009422, n =1.2477, h =0.042048, k =1.6709
	Midilli	0.9998	0.0062	0.0000	a =0.99799, b =0.00011632, k =0.009422, n =1.2477, h =0.042048, k =1.6709
	Two-term exponential	0.9996	0.0071	0.0000	g =-0.0030478, k =0.019954

MD350	Wang ve Singh	0.9864	0.0376	0.0014	$a = -0.015746, b = 2.388 \times 10^{-5}$
	Approximation of Diffusion	0.9938	0.0258	0.0007	$a = 2.188, b = -2.6626, k = 0.0094144, t = -2.8685$
	Aghabashlo model	0.9920	0.0288	0.0008	$g = -0.010219, k = 0.013523$
	Page	0.9980	0.0143	0.0002	$k = 0.0017301, n = 1.7232$
	Logistic	0.9974	0.0165	0.0003	$a = 0.1775, b = 1.2061, k = 0.063576$
	Newton	0.9157	0.0930	0.0086	$k = 0.024532$
	Logarithmic	0.9938	0.0256	0.0007	$a = 2.1816, b = -1.0988, k = 0.0094554$
	Modifiye Henderson ve Pabis	0.9954	0.0224	0.0005	$a = 4.4329, b = 0.050152, c = -3.4873, g = 21.1399, h = 0.071076, k = 0.051678$
	Henderson ve Pabis	0.9553	0.0682	0.0047	$a = 1.1785, k = 0.029352$
	Two-term	0.9601	0.0653	0.0043	$a = -0.20165, b = 1.2017, g = 0.029975, k = 20.4124$
	Midilli	0.9984	0.0129	0.0002	$a = 0.97272, b = -0.053816, k = -0.091877, n = 0.6355$
	Two-term exponential	0.9929	0.0272	0.0007	$a = 2.1307, k = 0.042673$
MD500	Wang ve Singh	0.9928	0.0272	0.0007	$a = -0.01716, b = -9.6673 \times 10^{-5}$
	Approximation of Diffusion	0.9965	0.0193	0.0004	$a = 8.1429, b = -1.824, k = 0.0029664, t = 1.9164$
	Aghabashlo model	0.9959	0.0206	0.0004	$g = -0.016926, k = 0.015618$
	Page	0.9954	0.0217	0.0005	$k = 0.0016625, n = 1.8959$
	Logistic	0.9957	0.0213	0.0005	$a = 0.10328, b = 1.1102, k = 0.10125$
	Newton	0.8882	0.1058	0.0112	$k = 0.032232$
	Logarithmic	0.9969	0.0180	0.0003	$a = 73.5186, b = -72.4614, k = 0.00030639$
	Modifiye Henderson ve Pabis	0.9839	0.0425	0.0018	$a = 0.79472, b = 1.6568, c = -1.2823, g = 0.0061167, h = -0.012923, k = 0.035219$
	Henderson ve Pabis	0.9332	0.0827	0.0068	$a = 1.1761, k = 0.039049$
	Two-term	0.9835	0.0420	0.0018	$a = -41.5435, b = 42.5677, g = 0.075412, k = 0.077389$
	Midilli	0.9982	0.0138	0.0002	$a = 0.99761, b = -0.023706, k = -0.052838, n = 0.17678$
	Two-term exponential	0.9824	0.0424	0.0018	$a = 2.1606, k = 0.058609$
MD650	Wang ve Singh	0.9936	0.0260	0.0007	$a = -0.020247, b = -0.00025716$
	Approximation of Diffusion	0.9943	0.0253	0.0006	$a = 9.9362, b = 1.7107, k = 0.0032205, t = 1.7342$
	Aghabashlo model	0.9967	0.0187	0.0003	$g = -0.023495, k = 0.019019$
	Page	0.9951	0.0227	0.0005	$k = 0.001962, n = 2.0056$
	Logistic	0.9961	0.0207	0.0004	$a = 0.075871, b = 1.0735, k = 0.14375$
	Newton	0.8744	0.1133	0.0128	$k = 0.041554$
	Logarithmic	0.9954	0.0223	0.0005	$a = 94.5642, b = -93.4931, k = 0.00031942$

Modifiye Henderson ve Pabis	0.9948	0.0248	0.0006	$a = -0.34855, b = 0.070345, c = 1.368, g = -0.009929, h = 0.017132, k = -0.025522$
Henderson ve Pabis	0.9207	0.0914	0.0083	$a = 1.1756, k = 0.050473$
Two-term	0.9817	0.0453	0.0021	$a = 40.417, b = -39.4192, g = 0.10865, k = 0.10533$
Midilli	0.9988	0.0114	0.0001	$a = 0.99494, b = -0.03611, k = -0.057308, n = 0.39814$
Two-term exponential	0.9770	0.0492	0.0024	$a = 2.1813, k = 0.076869$

Ağaç domatesinin kuruma kinetiğini tanımlayan en iyi model en yüksek regresyon katsayısı (R^2), en düşük tahmini standart hata (RMSE) ve khi-kare (χ^2) değerlerine göre seçilmiştir. Test edilen tüm modeller incelendiğinde; R^2 'nin 0.8744 ile 0.9998, RMSE'nin 0.0062 ile 0.1133 ve χ^2 değerlerinin 0.0000 ile 0.1133 arasında değiştiği görülmektedir (Tablo 4.3). Hem konvektif hem de mikrodalga kurutma için en uygun modelin en yüksek R^2 , en düşük RMSE ve en düşük χ^2 değerlerine sahip *Midilli* modeli olduğu tespit edilmiştir. *Midilli* modeline göre optimum kurutma noktasının kinetiğini gösteren grafikler incelendiğinde; *Midilli* modeline göre hesaplanan tahmini değerlerle gerçek değerlerin birbirine çok yakın olduğu görülmektedir (Şekil 4.3). Bu çalışmanın sonuçlarına benzer olarak birçok bitkisel ürününün kuruma eğrilerinin modellenmesinde *Midilli* kullanılmıştır (Mengeş vd., 2005; Hii vd., 2009; Doymaz ve Karasu, 2018; Pashazade vd., 2020; Pashazadeh vd., 2021; Goztepe vd., 2022). Darıcı ve Şen (2015), farklı kalınlıktaki kivilerin kurutma kinetiğini en iyi *Midilli* modeline uyduğunu saptamışlardır.



Şekil 4.3: En uygun *Midilli* modeli ile optimum kurutma noktasının kinetiği (a, konvektif; b, mikrodalga)

Kurutma teknolojisinin kritik derecede önemli bir yönü, kurutma işlemlerinin matematiksel olarak modellenmesidir. Kurutmada matematiksel modeller, yeni kurutma sistemlerinin tasarlanmasında veya mevcut kurutma sistemlerinin iyileştirilmesinde, hatta kurutma işleminin kontrolünde yararlı bilgiler sunmaktadır. Günümüze kadar, kurutma sürecini açıklamada birçok matematiksel model önerilmiştir. Bu modeller teorik, yarı teorik ve ampirik olarak kategorize edilebilir (Kaveh vd., 2018). Genel olarak klasik kurutma sürecini tanımlayabilen, kurutmaya ait dört aktarım olgusu vardır. Bunlar iç ve dış ısı transferi ve iç ve dış kütle

aktarımıdır. Ampirik modeller, ortalama nem içeriği ile kuruma süresi arasında doğrudan bir ilişki kurmaktadır (Simal vd., 2005).

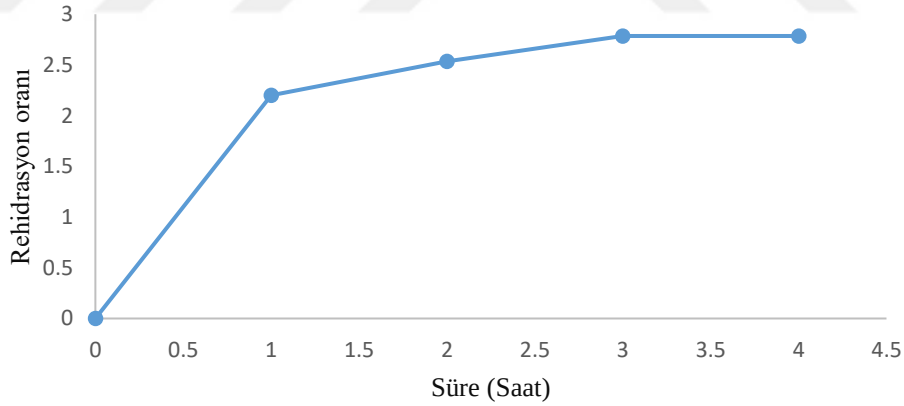
Günümüze kadar değişik meyve ve sebzelerin kurutma kinetiğiyle ilgili birçok çalışma yapılmıştır. Arslan ve Özcan (2011), domates dilimlerinin kurutma kinetiğini modellemede 8 farklı model kullanmışlar ve bunlardan Page, modified Page ile Midilli ve Küçük tarafından önerilen modellerin yüksek R^2 'ye sahip olduğunu, güneşte kurutma yönteminin ise two-term modele uyduğunu rapor etmişlerdir. Orikasa vd. (2014), 10 mm kalınlıkta dilimlenmiş kivi dilimlerini konvektif (50, 60 ve 70°C'de 0.3 m/s) ve aynı sıcaklıkta vakumda kurutmuşlardır. Kurutma kinetiğinin konvektif kurutulanlarda exponential modelle, vakum kurutmada ise Page ve exponential model kombinasyonu ile uyumlu olduğunu bildirmişlerdir. Chin vd. (2015), 0.3 ve 0.6 cm kalınlıkta dilimledikleri kivileri 40, 50 ve 60°C'de kurutmuşlar, kuruma kinetiğini değerlendirmede 9 farklı model kullanmışlar, en yüksek R^2 (0.9980-0.9999), en düşük RMSE (0.0052-0.0255) ve χ^2 değerlerinin (9.275×10^{-5} - 6.72×10^{-4}) "Approximation of Diffusion" modeliyle sağlamışlardır. Ergün vd. (2016), kivinın dondurarak kurutulması sırasında elde edilen kurutma eğrisini 12 modele (Lewis, Page, Modified Page I, Henderson ve Pabis, Modified Henderson ve Pabis, Logarithmic, Midilli, Modified Midilli, Two-term, Two-term Exponential, Modified Two-term Exponential, Wang ve Singh) uyarladıklarında, en uygununun "Two-term Exponential modeli" olduğunu görmüşlerdir. Su alma kinetiğini ise Peleg, Weibull ve first-order modellerine uyarladıklarında en uygunun Peleg ($R^2=0.9958$ - 0.9989) olduğunu tespit etmişlerdir. Görüldüğü gibi dilimlenmiş meyvelerin tek katmanlı kurutma kinetiğinin modellenmesinde meyveye ve kurutma tekniklerine göre farklı modeller önerilmiştir ki bunlar mevcut çalışmanın sonucundan farklıdır.

4.3.Rehidrasyon Oranları ve Modelleme Çalışması

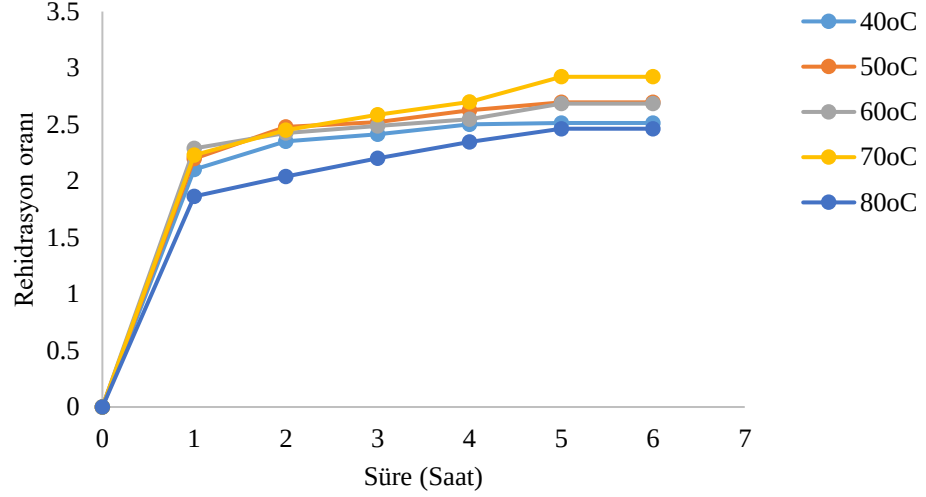
Kurutulmuş gıdaların çoğu doğrudan kullanıma uygun olmadığından kullanımdan önce rehidrasyon yapılmalı ve tüketiciler için kabul edilebilir bir ürün için rehidrasyon koşulları üreticiler tarafından belirlenmelidir. Kurutulmuş ürüne orijinal malzemeye çok benzer özellikler sağlamak için rehidrasyon davranışı iyi izlenmelidir. Dondurularak kurutulmuş bir ürün için bu daha önemlidir, çünkü dondurularak kurutulmuş malzemeler, elastikiyet kaybı ve yüksek gözeneklilik nedeniyle yapısal olarak daha kırılgandır. Dehidrasyon ve rehidrasyon kinetiklerinin tanımlanması, bu proseslerin tasarımında ve optimizasyonunda önemlidir. İşleme ve mühendislik

açısından bakıldığında, yalnız suyun desorpsiyonunun ve absorpsiyonunun ne kadar hızlı gerçekleştirilebileceğini bilmek değil, aynı zamanda işleme değişkenlerinden nasıl etkileneceğini ve belirli koşullar altında kuruma ve ıslatma süresinin nasıl değişebileceğini bilmek de gereklidir (Ergün vd., 2016).

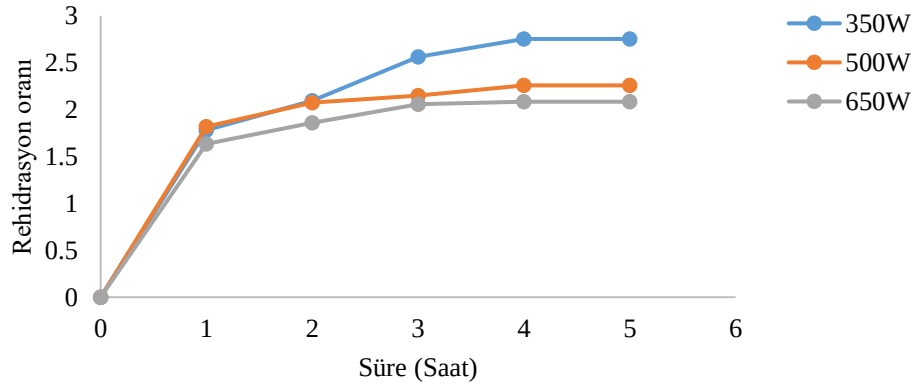
Farklı tekniklerle kurutulmuş ağaç domatesi dilimlerinin rehidrasyon davranışının belirlenmesi için su içerisinde bekletilen kuru meyvenin ağırlığındaki artışın zamanla değişimi izlenmiştir. Rehidrasyonun başlangıcında numunelerin su alımının hızlı olduğu, ancak kademeli olarak yavaşladığı görülmüştür (Şekil 4.4-4.6). Zamanla su alım hızının değişmesi, Ergün vd. (2016) tarafından da bildirildiği gibi, muhtemelen meyve dilimlerinin yüzeyindeki kılcal damarların dolmasından kaynaklanmaktadır. Su emilimi devam ettikçe, serbest kılcal damarların ve hücreler arası boşlukların suyla dolması, rehidrasyon oranının düşmesine neden olur. Rehidrasyon sonuçları diğer araştırmalarla (Krokida ve Marinos-Kouris, 2003; Marques vd., 2009; Noshad vd., 2012; Ergün vd., 2016) uyumludur. Marques vd. (2009), ananas, mango ve papaya gibi dondurularak kurutulmuş tropikal meyvelerin rehidrasyonunda hızlı su almanın işlemin ilk 20 dakikasında (25 °C'de) meydana geldiğini bildirmişlerdir.



Şekil 4.4: Dondurarak kurutulan meyvelerin süreye bağlı olarak rehidrasyon oranındaki değişim



Şekil 4.5: Konvektif kurutulan meyvelerin süreye bağlı olarak rehidrasyon oranındaki değişim



Şekil 4.6: Mikrodalgada kurutulan meyvelerin süreye bağlı olarak rehidrasyon oranındaki değişim

Rehidrasyon, kurutulmuş ürün tarafından suyun absorbe etmesi ve çözünür maddenin difüzyonu olmak üzere iki eş zamanlı karmaşık süreci kapsar (Cunningham vd., 2008). Rehidrasyon kapasitesi, hücresel yapı ve su tutma kapasitesi gibi fiziko-kimyasal değişiklikleri gösterebileceği için kurutulmuş ürünler için önemli kalite özelliklerinden biridir (Zielinska ve Markowski, 2016). Hızlı ve tam rehidrasyon, kurutulmuş ürünlerde kalite kriteridir ve rehidrasyon, kurumanın neden olduğu materyal yaralanmalarının bir ölçüsü olarak kabul edilir. Kurutma havası ya kurutmaya tabi tutulan materyalden buharlaşan suyun yerini alır ya da numunenin hacmi azalır. Genellikle her iki işlem de gerçekleşir, ancak aralarındaki oran materyalin türü ve kuruma derecesine göre değişir. Birçok araştırmacı, kurutma maddesinin hacmindeki değişikliğin buharlaşan suyun hacmine eşdeğer olduğunu bildirmektedir. Bazı

durumlarda, büzülme tüm kurutma işlemi boyunca buharlaşan su miktarıyla ilişkili olmaz. Yüzey tabakalarının kuruması mekanik stabiliteyi arttırır ve malzemenin büzülmesine yol açar. Oluşturulan büzülme gerilmeleri hücre duvarlarını parçalayabilir ve i yapıda hasar görülür. Ek olarak, suyun buharlaşması nedeniyle artan hücre özü konsantrasyonu, düşük moleküler ağırlıktaki bileşenlerin kristalleşmesini teşvik edebilir, ancak diğerk yandan artan viskozite, kristalleşmeyi önleyebilir ve dolayısıyla kurutulmuş malzemede amorf bir durum oluşabilir. Kristalleşme rehidrasyon işleminde engelleyici bir faktör olup, nem absorbe etme izoterm eğrisinin tipini belirler. Çok çeşitli kurutulmuş gıdaların kalite spesifikasyonlarını belirleme, enerji tasarrufu sağlama ve süreci optimize etmek için rehidrasyon sürecinin tam olarak anlaşılması gerekir ki bu amaçla rehidrasyon kinetiklerini modellemek en doğru yaklaşımdır. Rehidrasyon için farklı tipte modeller kullanılmıştır ki bunlardan iki ana (Peleg ve Weibull modelleri) yaklaşım çok yaygındır (Goula ve Adamopoulos, 2009). Peleg denklemi, nem absorbe etme eğrilerinin tanımı için iki parametrelili, üstel olmayan ve ampirik bir modeldir. Bu model, basitliği nedeniyle yaygın olarak kullanılmaktadır ve çeşitli gıda maddelerinin rehidrasyon davranışını yeterince tanımladığı düşünülmektedir (Ergün vd., 2016).

Farklı yöntemlerle kurutulan meyvelerin rehidrasyonu süresince kazanılan suyun zamana karşı değişimini içeren deneysel veriler; Peleg, First Order Kinetic, Exponential related equation, Exponential Model, Weibull ve proposed modellere uyarlanmıştır. Yapılan modellemelere ait sonuçlar Tablo 4.4'te verilmiştir.

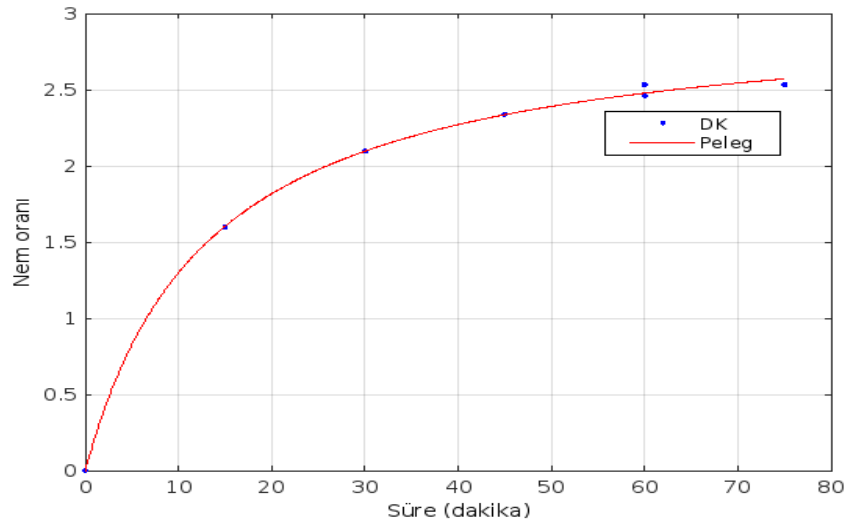
Tablo 4.4: Rehidrasyon verilerinin modellemesinin istatistiksel analizinin sonuçları

Kurutma Yöntemi	Modeller	R ²	RMSE	χ^2	Model sabitleri
KK 40°C	Peleg	0.9925	0.0856	0.0073	a =7.1384;b =0.33209
	First order kinetic	0.9939	0.0689	0.0048	a =0.053432
	Exponential related equation	0.9939	0.0689	0.0048	a =0.053436
	Exponential model	0.9989	0.0322	0.0010	a =0.023934; k =1.2509
	Weibull	0.9989	0.0322	0.0010	a =1.2509; b =19.7649
	Proposed model	0.9993	0.0310	0.0010	a =2.4424; b =5.6454; k =0.80338
KK 50	Peleg	0.9990	0.0312	0.0010	a =4.4036; b =0.33034
	First order kinetic	0.9977	0.0435	0.0019	a =0.062878
	Exponential related equation	0.9977	0.0435	0.0019	a =0.062878
	Exponential model	0.9982	0.0429	0.0018	a =0.078015; k =0.93188
	Weibull	0.9982	0.0429	0.0018	a =0.93198; b =15.446
	Proposed model	0.9943	0.0757	0.0057	a =-1.7573; b =9.8455; k =0.88535
KK 60	Peleg	0.9976	0.0459	0.0021	a =5.1648; b =0.35887

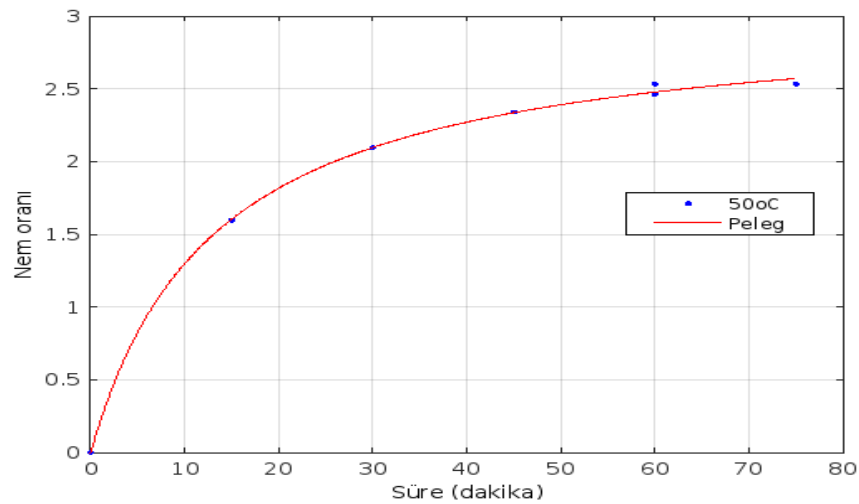
	First order kinetic	0.9909	0.0810	0.0066	a =0.054242
	Exponential related equation	0.9909	0.0810	0.0066	a =0.054239
	Exponential model	0.9954	0.0634	0.0040	a =0.098519; k =0.81803
	Weibull	0.9954	0.0634	0.0040	a =0.81798; b =16.9966
	proposed model	0.9977	0.0996	0.0500	a =3.0861; b =4.7291 k =0.65556
KK70	Peleg	0.9972	0.0559	0.0031	a =0.078447; b =0.36599
	First order kinetic	0.9155	0.2798	0.0783	a =1.1495
	Exponential related equation	0.9155	0.2798	0.0783	a =1.1496
	Exponential model	0.9986	0.0390	0.0015	a =1.4928; k =0.26928
	Weibull	0.9986	0.0390	0.0015	a =0.26928; b =0.22584
	proposed model	0.9921	0.1048	0.0110	a =2.584; b =4.5262; k =5.067
KK 80	Peleg	0.9976	0.0428	0.0018	a =5.4771; b =0.38464
	First order kinetic	0.9903	0.0781	0.0061	a =0.055002
	Exponential related equation	0.9903	0.0781	0.0061	a =0.055003
	Exponential model	0.9947	0.0634	0.0040	a =0.099774; k =0.81698
	Weibull	0.9947	0.0634	0.0040	a =0.81717; b =16.7975
	proposed model	0.9978	0.0451	0.0020	a =2.8519; b =4.8603; k =0.67151
MD 350	Peleg	0.9856	0.1069	0.0114	a =5.9582; b =0.37274
	First order kinetic	0.9886	0.0868	0.0075	a =0.057467
	Exponential related equation	0.9886	0.0868	0.0075	a =0.057466
	Exponential model	0.9895	0.0912	0.0083	a =0.041472; k =1.1014
	Weibull	0.9895	0.0912	0.0083	a =1.1019; b =17.9891
	proposed model	0.9879	0.1097	0.0120	a =2.438; b =19.0225; k =1.204
MD 500	Peleg	0.9829	0.0666	0.0044	a =10.1066; b =0.62977
	First order kinetic	0.9928	0.0399	0.0016	a =0.052314
	Exponential related equation	0.9928	0.0399	0.0016	a =0.052315
	Exponential model	0.9949	0.0361	0.0013	a =0.028411; k =1.1927
	Weibull	0.9949	0.0361	0.0013	a =1.1934; b =19.7981
	proposed model	0.9982	0.0238	0.0006	a =1.3466; b =168.7216 k =1.9786
MD 650	Peleg	0.9982	0.0327	0.0011	a =2.4679; b =0.44546
	First order kinetic	0.9955	0.0485	0.0023	a =0.092312
	Exponential related equation	0.9955	0.0485	0.0023	a =0.092313
	Exponential model	0.9986	0.0295	0.0009	a =0.21323; k =0.71353
	Weibull	0.9986	0.0295	0.0009	a =0.71379; b =8.7242
	proposed model	0.9984	0.0339	0.0012	a =2.1926; b =7.598 k =1.1675
DK	Peleg	0.9990	0.0427	0.0018	a =0.13338; b =0.32209
	First order kinetic	0.9973	0.0609	0.0037	a =1.491
	Exponential related equation	0.9973	0.0609	0.0037	a =1.491
	Exponential model	0.9984	0.0549	0.0030	a =1.5407; k =0.80783
	Weibull	0.9984	0.0549	0.0030	a =0.80837; b =0.58589
	proposed model	0.9966	0.0964	0.0093	a =2.7692; b =4.3711; k =4.1696

* t, zaman, a, b, k, g, n modellerde kurutma sabitleridir ve k, kurutma hızı sabiti

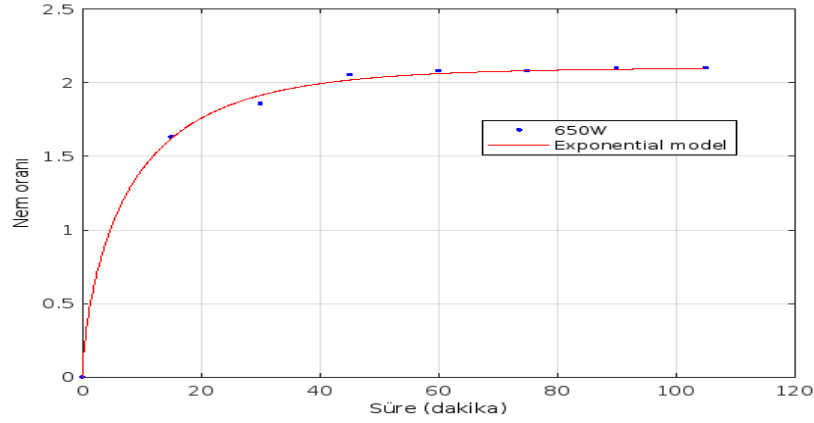
Bu çalışmanın sonuçlarına göre kurutulan ağaç domates meyvelerinin rehidrasyon kinetiğinin kurutma tiplerine göre farklılık gösterdiği tespit edilmiştir. Kurutma kinetiğinde de ifade edildiği gibi, en uygun modelin hangisi olduğunu bulmak için en yüksek R^2 , en düşük RMSE ve χ^2 değerleri saptanmıştır. Bu değerler incelendiğinde; her kurutma yöntemi hatta koşulunda farklı bir yol izlediği görülmektedir. Genel olarak konvektif kurutmada Weibull ve Peleg modellerine uyarken, mikrodalgada Exponential ve dondurarak kurutmada Peleg modeline uyduğu saptanmıştır (Şekil 4.7, Şekil 4.8 ve Şekil 4.9).



Şekil 4.8: Dondurarak kurutulan meyvelerde Peleg modeli ile optimum rehidrasyon kinetiği



Şekil 4.9: Konvektif kurutulan meyvelerde Peleg modeli ile optimum rehidrasyon kinetiği



Şekil 4.10: Mikrodalga kurutulan meyvelerde Exponential model ile optimum rehidrasyon kinetiği

Goula ve Adamopoulos (2009), 4 farklı sıcaklıkta (25, 40, 60 ve 80°C) konvektif kurutulan domates dilimlerinin su alma kinetiğinin Weibull ve Peleg modellerine uyarlamışlar ve Peleg modelinin daha uyumlu olduğunu bildirmişlerdir. Gaware vd. (2010), farklı kurutma teknikleri (mikrodalga, dondurarak, konvektif, ısı pompasıyla ve solar sistemle kabin kurutma) kullanarak kuruttukları domates dilimlerini 2 ayrı sıcaklıkta rehidre etmişler ve rehidrasyon kinetiğinin Peleg modeline uyumlu olduğunu saptamışlardır. Ergün vd. (2016), dondurarak kurutulan kivi'nin su alma kinetiğini Peleg, Weibull ve first-order modellerine uyarladıklarında, en uygunun Peleg olduğunu tespit etmişlerdir. Wang vd. (2018), Weibull modelinin farklı sıcaklıklarda darbeli vakumlu kurutucu kullanılarak kurutulmuş dilimlenmiş limonun rehidrasyon kinetiğini, iyi bir şekilde modelleyebileceğini ortaya koymuşlardır. Görüldüğü gibi, çalışma sonuçları literatürde bildirilenlerle uyumludur.

4.4. Kurutulmuş Meyvelere Ait Özellikler

4.4.1. Renk Sonuçları

Renk, kurutulmuş meyvelerin en önemli kalite parametrelerinden biri olup tüketicinin ürünü tercih etmesindeki en kritik faktörlerdendir. Farklı kurutma yöntemleriyle kurutulan ağaç domatesinin renk sonuçları, Tablo 4.5 'da verilmiştir. Meyveler kurutulmadan önce dış kabuk renklerine, boyutlarına göre bir sınıflandırma yapılmasına rağmen kabukları soyulduğunda iç kısımlarındaki pigmentler homojen dağılmadığı için renk açısından meyveler arasında büyük varyasyonlar olmuştur. Bunun için kurutma sırasındaki net renk değişimini belirlemede zorluk yaşanmıştır.

Tablo 4.5: Farklı yöntemlerle kurutulan meyvelerin renk özellikleri

Yöntem	L	a	b	ΔE	Hue Açısı	Kroma
Dondurarak						
	27.71±0.39b	8.31±0.17c	8.29±0.22b	13.49±0.27e	44.93±1.61b	11.74±0.08c
Konvektif						
40	28.07±2.58a	15.70±2.52a	8.04±2.41b	11.12±2.15f	26.56±6.70e	17.71±3.83ab
50	25.04±0.42bc	3.34±1.67g	4.66±0.59e	19.82±1.82b	56.85±12.10a	5.82±1.78g
60	24.72±1.65cd	9.41±1.42bc	6.85±0.74cd	16.19±1.41bc	36.22±1.66d	11.64±1.56c
70	21.03±1.25c	8.89±0.30c	2.77±0.39f	21.42±1.14a	17.26±2.18f	9.31±0.49e
80	29.52±2.84a	10.10±0.56b	9.10±1.70a	14.48±1.00d	41.56±5.06b	13.63±1.86b
Mikrodalga						
M-350	20.58±1.07d	6.86±1.38e	4.28±1.20e	21.56±2.25a	31.51±6.73d	8.12±2.04f
M-500	23.37±3.66cd	7.34±1.38d	5.86±2.54d	20.66±1.51ab	36.92±10.65d	9.51±3.00e
M-650	21.66±0.27d	6.63±0.18e	7.73±0.53bc	19.16±0.43b	49.33±1.98ab	10.19±0.59d

* Aynı sütunda, aynı harfle gösterilen ortalamalar arasında istatistiksel fark yoktur ($p>0.05$).

Yaş meyvelerin ortalama L 37.35±4.18, a 14.46±5.10, b değerleri 15.45±2.24 olarak saptanmıştır. Kurutmada renk değerleri önemli derecede değişmiştir ($p<0.01$). Tüm kurutma yöntemlerinde aydınlık değeri az veya çok düşüş göstermiş, kurutma süresince kırmızılık değeri ise dondurarak kurutma, mikrodalga ile konvektif kurutmada kullanılan bazı koşullarda düşüş gösterirken, 40, 60 ve 80°C'lerde kurutulanlarda artış göstermiştir. Bu artışın muhtemelen nedeni düşük sıcaklıkta kurutma süresinin uzun olması nedeniyle oksidasyon olması, enzimlerin çalışmasının teşvik edilmesidir. Yüksek sıcaklıklarda ise muhtemelen enzimatik olmayan esmerleşme reaksiyonudur. Sarılık değerinde genel olarak tüm meyvelerde (80°C hariç) azalış kaydedilmiştir. Özellikle 70°C'de kurutulanlarda sarılık değeri çok düşmüştür. Genel olarak mikrodalgada kullanılan 3 farklı güçte de meyvelerin renk değerlerindeki azalışlar birbirine yakın olmuştur.

Farklı tekniklerle (ultrason kontakt kurutma, konvektif kurutma ve dondurarak kurutma) elma dilimleri kurutan Kahraman vd. (2021), L değerinin konvektif kurutmaya düşüğünü, a , b ve kroma değerlerinin arttığını kaydetmişlerdir. Kurutma sırasındaki renkteki değişimlerin Maillard reaksiyonu, pigment bozulması, enzimatik esmerleşme ve askorbik asit oksidasyonu gibi çeşitli faktörlerden kaynaklanabileceğini bildirerek uzun bir kuruma süresi ve faktörlerin kombinasyonun aydınlığın azalmasına, kırmızılığın ve sarılığın artmasına sebep olduğunu bildirmişlerdir. Araştırmacıların bulguları genel olarak bu çalışmanın sonuçlarından farklıdır.

Dondurarak ve konvektif olarak 2 sıcaklıkta (30 °C ve 70°C) yeşil biber ve kabağı kurutan Guiné ve Barroca (2012), liyofilize edilen kabaklarda L değerinde artış, a , b ve kroma değerlerinde düşüş, tersine konvektif kurutulanlarda L değerinde düşüş, a , b ve kroma değerinde artış kaydetmişlerdir. 30°C'de kurutulan örneklerin renk

stabilitesinin daha fazla olduğunu 70 °C'de kurutulduğunda sebzenin renk yoğunluğunda hafif sarı bölgeye doğru kayarak bir azalma olduğunu, bunu da ısının karotenoidlerin bozunmasına yol açmasıyla ilişkili olduğunu bildirmişlerdir.

Taze meyvelerin hue açısı 48.08 ± 10.45 , kroma değeri 21.47 ± 4.00 olarak belirlenmiştir. Hue açısının 50°C'de kurutulanlar hariç tüm meyvelerde düştüğü, kroma değerinin de tüm örneklerde düştüğü görülmüştür. Hue açısı rengin yoğunluğunu ifade etmektedir. Kuru meyvelerde Hue açısı 17 ile 56 derece arasında değişmektedir. Bu değerler, genel olarak kuru meyvelerin kırmızıdan sarıya döndüğü anlamına gelmektedir. Chroma (Doygunluk), ton parametresinin gücü veya baskınlığı olarak da tanımlanır (Patras vd., 2011). Bu çalışmanın sonuçlarına göre, kurutma ile kroma değeri önemli ölçüde değişmiştir ($p > 0.05$). Buna göre konvektif fırında 40°C'de kurutulan meyvelerde 17.71 ± 3.83 ile yüksek renk doymunluğu gözlenmiştir. Bu çalışmanın sonuçlarına göre, 40°C'de kurutulan ağaç domatesi meyvelerinin, değerinden de anlaşılabacağı gibi, daha yüksek sıcaklıkla muamele edilenlere kıyasla orijinal rengini koruduğu bulunmuştur (Tablo 4.5).

Toplam renk değişikliği (ΔE), işlemde ürünün renginin ne kadar etkilendiğini gösteren bir parametredir ve ne kadar düşükse taze meyveye o kadar yakın özellikte olduğu anlamına gelmektedir. Çalışmada ΔE , konvektif kurutmada ortalama 11.12-21.42, mikrodalgada 19.16-21.56 arasında değişirken, dondurarak kurutmada 13.49 olarak saptanmıştır. Buna göre en az değişim 40°C'de kurutulanlarda olmuştur. Şekil 4.11'da meyvelerin genel görünüşleri verilmiştir.



Şekil 4.11: Taze ve kurutulmuş ağaç domatesi meyvelerinin görünümü

Guiné ve Barroca (2012), konvektif (30 ve 70 °C) ve dondurarak kuruttukları yeşil dolmalık biber ile balkabağının renk ve tekstüründeki değişimi inceledikleri çalışmada; 30 °C'de kurutulan biberlerde renk değişiminin çok az olduğunu, balkabağının kroma değerinin dondurarak kurutmada önemli ölçüde azaldığını, toplam renkteki değişimler karşılaştırıldığında, dondurarak kurutulan balkabağının daha fazla değişime uğradığını kaydetmişlerdir. Çelen ve Kahveci (2013), mikrodalga kullanarak farklı güçlerde (90, 180, 360 ve 600 W) kuruttukları domates dilimlerinde mikrodalga gücü arttıkça hue ve a değerlerinin önemli ölçüde arttığını, 90 W'da kurutulan domatesin renk özelliklerinin tazesine çok daha yakın olduğunu bildirmişlerdir. Orikasa vd. (2014), konvektif olarak (50, 60 ve 70°C'de 0.3 m/s) ve aynı sıcaklıklarda vakumda kuruttukları kivilerde, vakumda kurutulanlarda renk değişiminin daha az olduğunu belirken, sıcaklığın etkisini net belirleyememişlerdir. Aral ve Beşe (2016), farklı sıcaklık (50, 60 ve 70°C) ve hava hızlarında (0.5, 0.9 ve 1.3 m/s) konvektif kuruttukları alıçların renklerinin en fazla düşük sıcaklıkta kurutulanlarda değiştiğini bildirmişlerdir. Correia vd. (2017) ise farklı sıcaklıkta (50, 60, 70 ve 80°C) kurutulan kivilerin

renklerinin düşük sıcaklıkta daha az değiştiğini ve sıcaklık arttıkça renkteki değişimin arttığını saptamışlardır. İzli vd. (2018), dondurarak, konvektif (60, 70, 80 ve 90°C) ve mikrodalga (120 ve 350W) yöntemleri kullanarak kuruttukları ananaslarda, en az renk değişimini dondurarak kurutulanlarda belirlemişler ve konvektif kurutmada sıcaklık artışıyla renkteki değişim de artmıştır. Farklı kalınlıktaki trabzon hurmasını mikrodalgada (120, 350, 460 ve 600W) kurutan Çelen (2019), mikrodalga gücü arttıkça renkte istenmeyen değişimlerin olduğunu, daha düşük mikrodalga gücü daha düşük bir kurutma sıcaklığına ve daha düşük kurutma hızına neden olabildiğini, bununla renge olumlu katkı yaptığını bildirmiştir. Tüm bu çalışmalardan görüldüğü gibi, mevcut araştırma sonuçları literatürle uyumlu değildir. Bunun nedeni meyvelerin çok farklı bileşim ve özellikte olmasıdır. Çalışmada en açık renk ısıtma işlem uygulanmaması nedeniyle dondurarak kurutulanlarda elde edilse de toplam renkteki değişim değeri çok da düşük olmamıştır (Şekil 4.11).

Krokida ve Maroulis (1999), kurutma sırasında materyalin renginin sadece yüzey suyunun buharlaşması nedeniyle değil, aynı zamanda enzimatik esmerleşme, enzimatik olmayan esmerleşme ve esmerleşme reaksiyonları gibi belirli reaksiyonlar nedeniyle de değiştiğini bu reaksiyonların da birçok üründe istenmediğini bildirerek kurutma sırasında rengin kontrolü için, belirli aralıklarda sıcaklık kontrolü, aralıklı kurutma, renk koruyucu maddelerin (örn. kükürt dioksit) kullanımı gibi çeşitli uygulamaları önermiştir.

4.4.2. Kurutmanın Büzülme Üzerine Etkisi

Büzülme, kurutma sırasında meydana gelen önemli olaylardan biridir. Materyalden nemin buharlaşması sonucu oluşur. Hücresel bir yapıya ısı transferinin bunu takiben hücreden nem transferi üründe strese neden olur, bu da şekil ve boyutta değişime, küçülmeye ve istenmeyen değişikliklere yol açar (Kaveh vd., 2007). Büzülme numunenin kuruma kinetiği kadar kuruma hızını da etkiler (Udomkun vd., 2016).

Farklı yöntemlerle kurutulan ağaç domatesi meyvelerinde meydana gelen değişimler Tablo 4.6'da verilmiştir.

Tablo 4.6'dan görüldüğü gibi, en az büzülme dondurarak kurutulanlarda gerçekleşmiş, onu mikrodalga kurutma izlemiştir. Konvektif ve mikrodalga kurutma tekniğinde sıcaklık ve kurutma gücü arttıkça büzülme değerleri de artmıştır. Bunun nedeni hücreler arası boşluğun azalması olabilir. Su molekülleri buharlaşarak meyve dokusunun küçülmesine neden olmaktadır.

Tablo 4.6: Kurutulan meyvelerin büzülme değerleri

Yöntem	Büzülme, %
Dondurarak	14.34�0.94g
Konvektif	
40	32.58�1.10cd
50	30.94�1.64de
60	33.95�1.82b
70	31.03�0.96de
80	35.32�0.72a
Mikrodalga	
M-350	29.11�3.01e
M-500	31.67�0.57cd
M-650	25.19�0.94f

* Aynı sütunda, aynı harfle gösterilen ortalamalar arasında istatistiksel fark yoktur (p>0.05).

Farklı sıcaklıkta konvektif olarak papaya kurutan Udomkun vd. (2016), kurutma sıcaklığının 50  C'den 80  C'ye artışının büzülmeyi %4.5 artırdığını bildirmişlerdir. Bunun nedenini, gıdadan hızlı su buharlaşmasının gıda maddesi matrisinde daha fazla strese yol açması şeklinde açıklamışlardır. Büzülme davranışının, matrisin mekanik mukavemetinin yanı sıra camsı geçiş, boşluk basıncı gibi çeşitli mekanizmalarla ilişkili olduğunun da altını çizmişlerdir. Lokhande vd. (2017), mikrodalga kurutmanın, hızlı kurumaya yol açması ve enerji absorpsiyonuna bağlı olarak, nem içeren i kısımlarının dış kısımlarından etkilemeden seçici olarak ısıtılması onu geleneksel kurutma tekniklerinden farklı kıldığını bildirmişlerdir. Mikrodalga kurutmada, hacimsel ısıtma nedeniyle buhar içeride üretildiğini ve suyu dışarıya zorlayan bir i basınç gradyanı geliştiğini, böylece bu teknikle kurutmada gıda maddelerinin büzülmesinin  nlendiğini rapor etmişlerdir. Havuç ve elma cipslerini 4 farklı teknikle (dondurarak, konvektif, mikrodalga, mikrodalga+vakum kurutma) kurutan Cui vd. (2008), en az büzülmeyi dondurarak kurutmada, en fazla konvektif ve mikrodalgada saptamışlardır ki bu bizim sonuçlarla uyumludur. Araştırıcılar, uzun kuruma süresinin sıcak havayla kurutmada en yüksek b z lmeye yol atıldığını, yavaş s blimleşmeden dolayı dondurarak kurutma yönteminde büzülmenin en az olduğunu, ama uygun olmayan koşullar altında dondurarak kurutmada da genellikle camsı geçişle ilgili b z lmeler olabileceğini ve kombine kurutma tekniklerinin daha az b z lmeye sebep olduğunu rapor etmişlerdir. Mikrodalga kurutma ile kurutulan numunelerde daha yüksek ve hızlı bir büzülme olmasının nedenini, dokudan suyun uzaklaştırılmasını hızlandıran ve numunede matrisin çökmesine neden olan yoğun ısı üretimine bağlamışlardır.

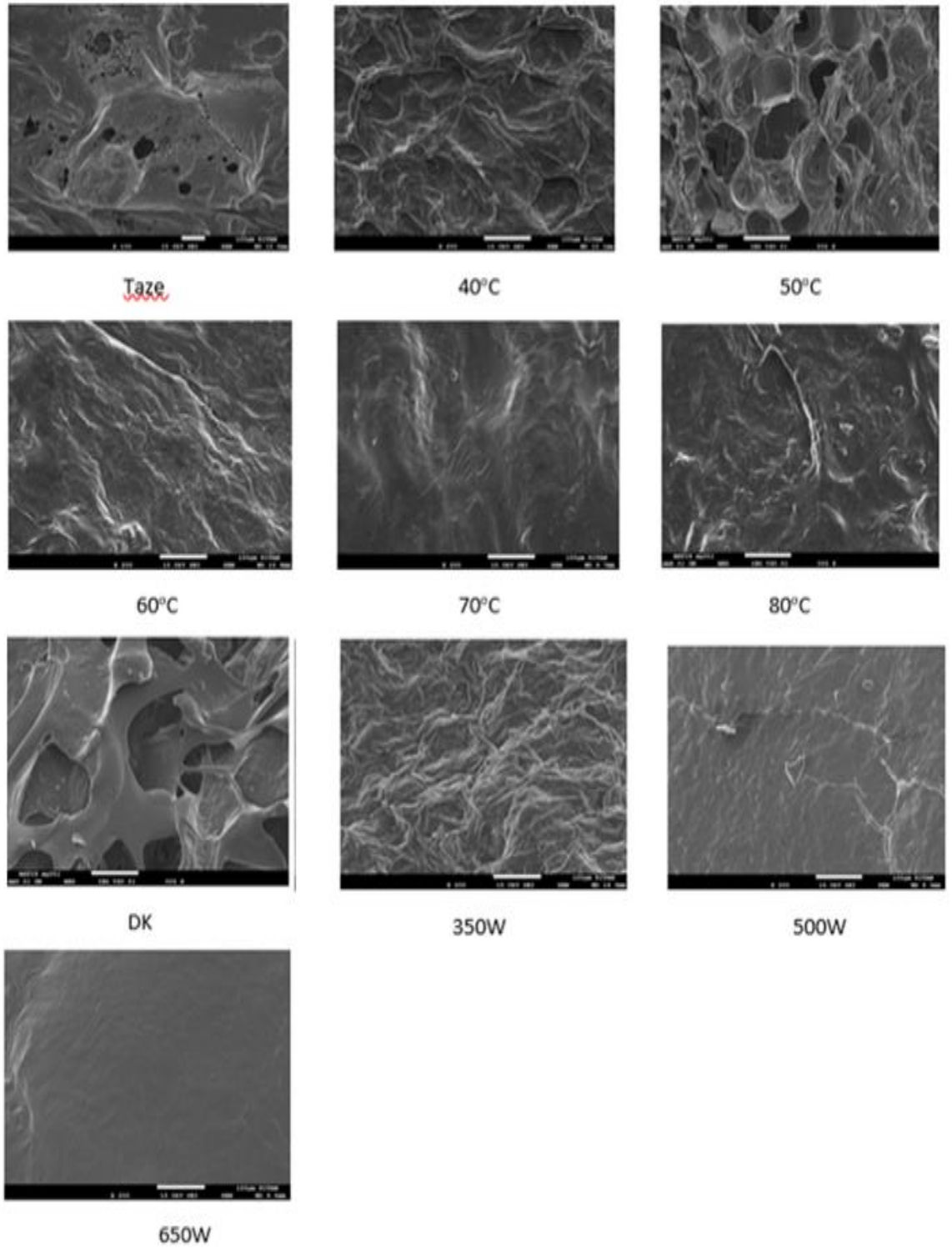
Koç vd. (2008), ayvanın kurutmasında %25.80-62.40 arasında b       saptamışlar ve b        n  n kurutma yönteminden çok etkilendi    n   bildir  m    lerdir. Maskan (2001) mikrodalga, sıcak hava ve sıcak hava-mikrodalga ile kurutulan kivilerde sırasıyla %85, %81 ve %76 oranında b         belirlemi    lar ve b        n  n sıcaklıkla arttığını rapor etmi    tir. Radojcin vd. (2021), düşük sıcaklıkta kurutmada b         artarken, yüksek sıcaklıkların hacmi sabitleyen g    nekli sert d     kabuk olu    muna yol açtığını bildir  m    lerdir. Mevcut   alı  ma sonuçları, Maskan (2001) ve Cui vd. (2008)'in bildirdikleriyle uyumludur.

4.4.3. Meyvelerin Morfolojik   zellikleri

Farklı yöntem ve koşulların kurutulmuş ağaç domatesi dilimlerinin yapısı üzerindeki etkisi SEM yardımıyla g  zlenlenmi    tir (  ekil 4.12).

Şekil 4.12'den görüldüğü gibi, yüksek sıcaklık ve mikrodalga kurutmanın, ağaç domates meyve örneklerinin morfolojik özelliklerini dondurarak kurutma tekniğinden daha fazla etkiledi    n   ortaya koymu    tur. Yüksek sıcaklıkta konvektif kurutulanlarda taze meyvede görülen kılcal damarların kayboldu    , çökmelerin oldu     gözlenmektedir. Dondurarak kurutma işleminde, su molek    leri önce buz haline gelmesi ve daha sonra katı formda buharlaşması, belirgin delik olu    muna yol açmıştır ki bu durum birçok araştırmacı tarafından da bildirilmi    tir (Hawleder vd., 2006; Ma vd., 2021). Mikrodalga enerjisinin numunelerin i   kısımlarında hızlı bir şekilde ısıya d  n        r  lmesi, numuneleri büyük ölçüde etkileyen i   basın  a yol a  ması nedeniyle daha fazla yüzey çökmesi g  zlenmi    tir.

Brokoli, karalahana ve ısıpana  ı 3 farklı yöntem ile kurutan Vargas vd. (2022), konvektif kurutulan sebzelerin pürüzlü bir yüzey morfolojisine sahip oldu    n  , kırılma penceresi kurutma tekniğiyle kurutulanların yüzeylerinin nispeten pürüzsüz oldu    n  , dondurularak kurutulmu    ların hücre yapılarını korudu    n   bildir  m    lerdir.



Şekil 4.12: Taze ve kuru meyvelerin SEM görüntüleri

3 farklı sıcaklıkta (50, 60 ve 70 °C) domates kurutan Moreno ve Díaz-Moreno (2017), son ürünün morfolojik özelliklerini; 50°C'de kurutulan domatesin mezokarpına göre yapısal hasarın olmadığını ancak 60 ve 70°C'de, endokarp ve mezokarpın sertleştiğini ve bu sıcaklıklarda daha fazla kırılabilirliğe yol açan güçlü bükülmeler görüldüğünü şeklinde belirlemişlerdir. Yaptıkları doku testlerinde, kırılabilirliği en çok

etkileyen sıcaklığın 60°C olduğunu ve bunu mikrofotografların doğrulandığını bildirmişlerdir. Bu sıcaklıkta mezokarptaki kıvrımların sayıca daha fazla olduğunu ve daha belirgin olduklarını rapor edip bunun, diferansiyel geçirgenlik kaybından, hücrelerdeki turgor basıncının kaybindan ve kurutma sırasında proteinlerin denatürizasyonundan protoplazmik zarın etkilenmesinden kaynaklanabileceğini bildirmişlerdir. Mikrodalga ve konvektif olarak kivi dilimlerini kurutan Tian vd. (2015), konvansiyonel sıcak havayla kurutulmuş örneklerin mikrodalga ile kurutulanlara göre daha az açık yapıya ve daha az gözeneklere sahip olduğunu, bu da hava ile kurutma sırasında ciddi doku büzülmesine ve çökmeye işaret ettiğini bildirmişlerdir. Mikrodalgayla kurutulanların daha kısa süren kuruma süresi, maruz kalınan daha düşük kuruma sıcaklığı ve iç su buharından kaynaklanan doku genişlemesi sonucu, daha düşük büzülme seviyelerine rastlanıldığını rapor etmişlerdir. Ma vd. (2021), konvektif, ısı pompası yardımıyla kurutma ve dondurarak kurutma yöntemlerinin elma kabuğunun mikro yapısı üzerindeki etkilerini incelemişlerdir. Dondurarak kurutulan numunelerin, ince gözenek duvarlı, poröz bir yapı sergilediğini ve bu yöntemin bitki dokusunun gözenekli hücresel yapısının korunmasında olumlu bir rol oynadığını, gözenekli mikro yapının, hücresel büzülme ve dış kuvvetlerden çökme olmadan vakum ortamında buzun süblimleşmesinden kaynaklandığını bildirmişlerdir. Konvektif ve diğer yöntemle kurutulan numunelerde, suyun buharlaşması sırasında hücrelerin büzülmesi ve çökmesine atfedilen dondurarak kurutulanlara göre daha kalın gözenek duvarları ve çok daha yoğun yapılar olduğunu belirtmişlerdir.

4.4.4. Kuru Ağaç Domateslerinin Biyoaktif Bileşenleri ve Antioksidan Aktivitesi

Ağaç domatesi içerdiği askorbik asit, fenolikler, flavonoidler, antosiyanin ve diğer hidrofilikler veya karotenoidler gibi hidrofobik antioksidanlar nedeniyle güçlü elektron donörleri olup ve serbest radikalleri daha kararlı ürünlere dönüştürerek radikal zincir reaksiyonlarını sonlandırabilirler. Diğer ifadeyle ağaç domatesi güçlü antioksidan aktivite gösteren bir meyvedir. Antioksidanlarca zengin meyvenin farklı tekniklerle kurutulması sırasında meydana gelen değişimler Tablo 4.7'de verilmiştir.

Tablo 4.7: Kuru ağaç domateslerinin antioksidan bileşenleri ve antioksidan aktivitesi

	Askorbi k asit (mg/g)	Karoten oid (mg/g)	Toplam Fenol (mg/g)	Toplam flavonoid (mg/g)	Antosiya nin (mg/g)	FRAP (mmol /g)	DPPH (mmol/g)
Dondurarak	1.67±0.0	0.48±0.0	3.79±0.02	0.95±0.0	0.85±0.02	71.69±1.1	46.14±1.3
ak	2b	05a	6cd	5f	a	3de	9cd
Konvekti f							
40	1.54±0.0	0.24	3.39±0.01	0.98±0.1	0.62±0.01	79.59±1.6	44.93±1.0
	8c	±0.00b	9e	0f	c	8ab	5cd
50	1.74±0.0	0.24±0.0	4.15±0.01	1.24±0.0	0.77±0.02	71.50±1.3	51.66±1.6
	8a	0b	5b	5de	b	4de	1b
60	1.31±0.0	0.21±0.0	3.72±0.01	1.30±0.0	0.56±0.01	74.65±0.7	43.45±0.9
	2d	0c	2de	4de	c	7cd	9d
70	1.26±0.0	0.19±0.0	3.97±0.01	1.13±0.0	0.41±0.02	74.60±0.7	45.63±2.2
	5e	0cd	7cd	8ef	d	7cd	5cd
80	1.26±0.0	0.18±0.0	4.38±0.00	1.33±0.0	0.32±0.04	76.83±2.0	43.26±2.2
	7e	0de	9a	7cd	ef	6bc	5d
Mikrodal ga							
350	1.58±0.0	0.25±0.0	2.37±0.03	1.56±0.1	0.12±0.00	71.11±0.4	51.50±1.7
	2c	1b	4g	0b	g	4de	4b
500	1.15±0.0	0.17±0.0	2.09±0.03	1.26±0.0	0.11±0.01	81.34±3.3	48.09±1.1
	7f	1e	1g	9de	g	5a	1bc
650	1.77±0.0	0.15±0.0	2.90±0.04	1.82±0.4	0.25±0.04	35.17±1.1	57.48±0.9
	4a	1f	2f	0a	f	1f	0a

* Aynı sütunda, aynı harfle gösterilen ortalamalar arasında istatistiksel fark yoktur (p>0.05).

Tablo 4.7'den görüldüğü gibi, kurutmayla birlikte karotenoidler dışında diğer antioksidan özelliklerde kayıplar olmuştur. Askorbik asit, toplam flavonoid ve DPPH değerlerinin korunumu açısından 650W'da mikrodalga kurutma, toplam karotenoid, toplam antosiyanin açısından dondurarak kurutma, toplam fenolik madde açısından ise 80°C'de konvektif kurutma en etkili kurutma yöntemleri olmuştur.

Askorbik asit, suda çözünen bir vitamin olup, meyve ve sebzelerin işlenmesi sırasında gıda kalitesindeki değişikliklerin bir göstergesi olarak kullanılır. Mevcut çalışmada askorbik asit 1.15 mg/g (500 W mikrodalga)- 1.77 (650 W mikrodalga) arasında değişmiştir. Bu kadar yüksek güçte korunmasının en büyük nedeni işlem süresinin kısıtlıdır. Havuç ve elma cipslerini 4 farklı teknikle (dondurarak, konvektif, mikrodalga, mikrodalga+vakum kurutma) kurutan Cui vd. (2008), kuru havuçlarda en fazla karotenoid ve askorbik asit kaybını konvektif kurutulanlarda saptamışlardır. Konvektif kurutmayı mikrodalga izlemiştir. Bizim çalışmamızda, gerek askorbik asit gerekse karotenoidlerin kaybı hem konvektif hem de mikrodalgada kurutulanlarda yüksek olmuştur. Orikasa vd. (2014), konvektif (50, 60 ve 70°C'de 0.3 m/s) ve vakumda kuruttıkları kivi dilimlerinde askorbik asit kalıntı oranını konvektif kurutulanlarda 0.75-0.88, diğerinde 0.90-0.99 arasında belirlemişlerdir. Askorbik asidin enzimatik

(askorbik oksidaz ile) veya enzimatik olmayan koşullardan etkilendiğini örneğin oksidasyonla parçalandığını ve bu parçalanmanın yüksek sıcaklıklarda daha da hızlandığını bildirmişlerdir ki bu sonuç bizim bulgularımızla uyumludur. Lokhande vd. (2017), konvektif (60°C) ve mikrodalgada (350, 500, 750 ve 1000W) kurutulmuş üzümlerde, en yüksek askorbik asiti konvektif kurutulanlarda bulmuşlardır ki bu bizim bulgularımızla uyumlu değildir. Chin vd. (2015), farklı kalınlıkta dilimledikleri (0.3 ve 0.6 cm) kivileri farklı sıcaklıkta (40, 50 ve 60°C) konvektif olarak kuruttukları çalışmada, askorbik asit içeriğinin artan kurutma sıcaklığı ile azaldığı, yüksek kurutma sıcaklığının askorbik asitin oksidasyon reaksiyon hızını da arttırdığı, 40°C'de 0.3 cm'lik dilim kalınlığındaki kivide askorbik asit içeriği 7.38 mg/g iken, 50 ve 60°C'ye çıkarıldığında sırasıyla 7.19 ve 6.59 mg/g'a düştüğünü saptamışlardır. Correia vd. (2017), farklı sıcaklıkta (50, 60, 70 ve 80°C) konvektif kurutulan kivi dilimlerinin askorbik asit, fenolik bileşikler ve antioksidan aktivitedeki değişimlerini inceledikleri çalışmada; askorbik asiti taze kivide kuru maddede 5.34 mg/g bulurken, kurutma sıcaklığına paralel olarak düşüş (50, 60, 70 ve 80 °C'de sırasıyla 1.42, 1.31, 1.14 ve 0.99 mg/g) gösterdiğini saptamışlardır. Bhat vd. (2022), konvektif (50, 55 ve 60°C), mikrodalga (100, 200 ve 300W) ve hibrit kurutma teknikleriyle kuruttukları kivi dilimlerinin C vitamini, toplam fenolik madde ve antioksidan aktivite içeriklerinin tazeye göre çok düştüğünü saptamışlardır. En fazla kaybı, konvektif kurutulanlarda belirlemişler, sıcaklık arttıkça düşüşün daha fazla olduğunu kaydetmişlerdir. Araştırmacıların belirlediği gibi bizim çalışmamızda da sıcaklık arttıkça askorbik asit kaybı artmıştır.

Karotenoidler, ısı işlem ve ışıklandırılmış ortamda izomerizasyona ve oksidasyona meyilli, uzun bir konjuge karbon-karbon çift bağları zinciri ile karakterize edilen pigmentlerdir. Gıdaların işlenmesi sırasında karotenoidlerin değişimi veya kaybı, geometrik izomerizasyon ve enzimatik veya enzimatik olmayan oksidasyon yoluyla gerçekleşir. Karotenoidler, gıda işleme sırasında bozulmaya eğilimlidir; bozunmayı etkileyen ana faktörlerin başında ısı, ışık ve oksijen gelir (Albanese vd., 2014).

Hernández-Ortega vd. (2013), mikrodalga ve konvektif (60°C) kurutulan havuç dilimlerinde taze ürüne göre mikrodalga kurutulanlarda toplam karotenoidler ve beta karotenin daha az kayba uğradığını bildirmişlerdir. Bu çalışmada ise konvektif ve mikrodalga kurutma arasında çok önemli fark yoktur.

Konvektif (50 ve 80°C), akışkan yatak (50°C) ve dondurarak kurutma

yöntemleriyle domates kabuğunun kurutulması sırasında karotenoidlerdeki kayıpları inceleyen Albanese vd. (2014), karotenoidlerin korunumunda en iyi tekniğin dondurarak ve takiben 50 °C'de konvektif kurutma olduğunu bildirmişlerdir. 50 °C'de kurutulmuş domates kabuklarından elde edilen karotenoidler, ışık veya ısı ile işleme tabi tutulduğunda farklı bir davranış sergilediğini, ışıktaki bekletilenlerin 100 °C'de ısıtma işleminden daha fazla toplam karotenoid kaybına neden olduğunu bulmuşlardır. Moreno ve Díaz-Moreno (2017), farklı sıcaklıklarda (50, 60 ve 70 °C) konvektif olarak kuruttıkları domates dilimlerinde, tazesine göre karotenoidlerde artış, toplam fenolikler ve antioksidan aktivitede ise sıcaklığın artışına paralel olarak düşüş kaydetmişlerdir. de Ancos vd. (2008), dondurarak ve konvektif kurutulan mango pulplarında karotenoidlerini korumak için en iyi yöntemin dondurarak kurutma olduğunu, ancak mango kabukları için sıcak havada kurutmanın daha uygun olabileceğini tespit etmişlerdir. Araştırmacılar literatürde, karotenoidlerin stabilitesi için çelişkili sonuçlar olduğunu, bunları içeren gıda matrisinin önemli olduğunu, bu nedenle gıdadaki pigmentin davranışını tahmin etmeden önce ilgili numuneler üzerindeki deneysel verilerin gerekli olduğunu bildirmişlerdir. Bu çalışmada, Moreno ve Díaz-Moreno (2017)'in bildirdikleri gibi özellikle dondurarak kurutulanlarda taze meyveye göre artış, konvektif kurutulanlarda Albanese vd. (2014)'inin tespit ettiği gibi artan sıcaklıkla birlikte azalış kaydedilmiştir. Macura vd. (2019), dondurularak kurutulmuş havuçlarda karotenoidlerin çok daha kararlı olduğunu, konvektif kurutulanlarda karotenoid kaybının fazla olduğunu bildirmişler ve dondurularak kurutulmuş ürünlerde, luteinin daha kararlı olduğunu, α -karoten ve β -karoten kayıplarının fazla olduğunu saptamışlardır.

Kurutma sırasında toplam fenolik bileşiklerde önemli kayıplar olmuştur. Daha yüksek sıcaklık ve daha kısa süre koşulları (80°C), diğer kurutma yöntem ve koşullarına göre daha fazla fenolik bileşiklerin korunmasını sağlamıştır (Tablo 4.8). Bu sıcaklıkta toplam fenolik madde içeriği, test edilen diğer kurutma yöntemlerine göre önemli ölçüde yüksektir ($p<0.05$). Bu çalışma konvektif kurutma yönteminin toplam fenolikleri dondurarak kurutma ve mikrodalga kurutma yöntemlerine göre daha iyi koruduğunu ortaya koymuştur. Bu sonuçlar, mikrodalga gücünün ve kurutma sıcaklığının artmasıyla toplam fenolik ve flavonoid maddenin arttığını bildiren Hayat vd. (2019)'nin verileriyle uyumludur.

Fenolik bileşiklerin bir alt grubu olan flavanoidler ve antosiyaninlerde taze meyveye göre önemli düşüş olmuştur. Bu düşüş antioksidan aktivitede tespit edilmiştir. Flavonoidler en yüksek mikrodalga kurutmada (650 W), en az dondurarak kurutmada korunmuştur. Antosiyaninler ise tersine en iyi dondurarak kurutmada korunmuştur. Suda çözünen bir pigment olan antosiyaninler, en fazla kayba mikrodalga kurutmada uğramıştır. Mikrodalga kurutma sırasında dilimlerden çok hızlı suyun ayrıldığı ve henüz bunlar buharlaşmadan kurutma kabında biriktiği gözlenmiştir. Ayrılan su buhar şeklinde değilde sıvı fazla üründen ayrılmasından dolayı pigment kaybı fazla olmuştur. Buna karşın antioksidan aktivite kurutma yöntemlerinden çok etkilenmemiştir (650W'da kurutulanlar hariç).

Hernández-Ortega vd. (2013), mikrodalga ve konvektif (60°C) kurutulan havuç dilimlerinde taze ürüne göre mikrodalga kurutulanlarda toplam fenoliklerin daha fazla kayba uğradığını, bireysel fenoliklerden kateşin ve ferulik asitin mikrodalga kurutmada, epikateşin ve gallik asitin konvektif kurutmada daha iyi korunduğunu bildirmişlerdir. DPPH inhibisyonunun mikrodalga kurutma ile %8.2 azaldığını, konvektif kurutmada ise kaybın %10'a ulaştığını kaydetmişlerdir. Orikasa vd. (2014), konvektif ve vakumda kuruttukları kivi dilimlerinde kurutmadan önceki ve kurutulduktan sonraki biyoaktif bileşikler ve antioksidan aktivite değerlerini oranladıkları çalışmada, konvektif ve vakumla kurutma sırasında numunelerdeki antioksidan aktiviteyi sırasıyla 4.5–5.5 ve 4.3–5.2 olarak hesaplamışlar ve kuru meyvelerde antioksidan aktivitenin yaklaşık beş kat daha fazla olduğunu saptamışlardır. Kurutma sırasındaki ısı enerjisinin, kovalent kompleksin moleküler yapılarını parçaladığı ve flavonoidler, karoten, likopen, tanen, askorbat, flavoprotein ve polifenol polimerleri gibi bazı antioksidan bileşikler serbest bıraktığını bu da antioksidan aktivitede artışa yol açtığını bildirmişlerdir. Sıcak havayla kurutmanın, enzimatik olmayan ve enzimatik oksidatif reaksiyonlara atfedilebilen, meyve ve sebzelerde çözünür fenoliklerin kaybına neden olduğu bildirilmiştir. Chin vd. (2015), farklı kalınlıkta dilimledikleri kivileri konvektif olarak kuruttukları çalışmada toplam fenolik madde içeriğinin hem kurutma sıcaklığından hem de dilimlerinden kalınlığından etkilendiğini gözlemlemişlerdir. 40°C kurutma sıcaklığında, kuru kivi dilimlerinin toplam fenolik içeriğinin 8.63 mg/g iken 50°C'de 7.51 mg/g'a düştüğünü, ancak 60°C'ye çıkarıldığında 9.59 mg/g'a yükseldiğini bulmuşlardır. 60°C'de fenolik bileşiklerin yüksek olmasının nedenini, fenolik molekülleri arasındaki enzimatik olmayan karşılıklı dönüşüm yoluyla açığa çıkan fenolik moleküllerin öncüllerinden kaynaklanabildiğini veya hızlı kuruma nedeniyle oksidasyona uğramamasından

kaynaklandığını bildirmişlerdir. Zielinska ve Michalska (2016), konvektif, vakumlu mikrodalga ve bunların kombinasyonu ile kuruttukları maviyemişlerde, kurutmayla toplam polifenol içeriğinin %69 ve antioksidan kapasitesinin %77 azaldığını, en yüksek toplam polifenollerin 80 °C'de kurutulanlarda olduğunu kaydetmişlerdir. Düşük hava sıcaklığı ve uzun süre oksijene maruz kalma, polifenollerin ve antioksidan kapasitenin daha fazla bozulmasına yol açtığını bildirmişlerdir. Kurutmanın antosiyanin içeriğinde önemli bir azalmaya (% 70'ten 95'e) yol açtığını saptamışlardır. Correia vd. (2017), konvektif kurutulan kivi dilimlerinin toplam fenolik madde ve antioksidan aktivite değerlerinde kurutma sıcaklığına paralel olarak düşüş saptamışlardır. Taze kivide toplam fenolik madde 33.76 mg/g iken kuru kivilerde 2.44-9.37 mg/g'ye; antioksidan aktivite 61.59 mol/g iken 1.84-14.91 mol/g'a kadar düştüğünü belirlemişlerdir. Araştırmacılar, düşük sıcaklığın son ürünün antioksidan gücünün daha iyi korunmasına yol açtığını bildirerek askorbik asitin, gıda matrisine, nem içeriğine ve kurutma sıcaklığına göre belirli bir dereceye kadar parçalanabilen ısıya duyarlı bir vitamin olduğunu kaydetmişlerdir. Antioksidan aktiviteye sahip bileşiklerin bozunmasını, yüksek sıcaklığa maruz kalma ile ilişkilendirmişler ve bu bileşiklerin bozunması, denatürasyon ve ekstraksiyon özelliklerindeki değişikliğe bağlı olabileceğini, örneğin kuruma çok hızlı olduğunda istenmeyen büzülme meydana gelebileceğini ve bu da bazı bileşiklerin verimli bir şekilde ekstrakte edilmesini önleyebileceğini belirtmişlerdir. Stephen vd. (2022), farklı kurutma yöntemleriyle (güneşte kurutma, konvektif kabin ve dondurarak kurutma) kurutulan ağaç domatesi meyvelerinin biyoaktif bileşenleri ve antioksidan özellikleri (antioksidan aktivite, toplam fenoller, karoten, askorbik asit) ile diğer özelliklerini (renk değeri, mineral madde) karşılaştırmışlardır. Dondurularak kurutulan meyvelerin diğer tekniklere göre daha yüksek antioksidan aktivite (13.82 mg/g), karoten (15.97 mg/100 g), askorbik asit (217.1 mg/100 g) içeriğine sahip olduklarını saptamışlardır. Üç kurutma yöntemi arasında güneşte kurutmanın, önemli mikro besin kaybıyla sonuçlandığını ve kurutma işlemi sırasında kontrolsüz sıcaklık kullanımı nedeniyle düşük antioksidan aktivite sergilediğini bildirmişlerdir.

Literatür incelendiğinde; hem fenolik bileşik hem de antioksidan aktivitede meydana gelen değişimler arasında tutarsızlıklar olduğu görülmektedir. Bazı araştırmacılar konvektif kuruma nedeniyle fenoliklerin kayba uğradığını bildirerek, uzun kuruma sürelerinin antioksidan bileşiklerin bozunmasını ve Maillard ürünlerinin oluşumunu (Yang vd., 2010; İzli, 2017) destekleyebileceğini rapor etmişlerdir. Bununla birlikte, bazı araştırmacılar sıcak hava ile kurutulan numunelerdeki toplam fenolik içeriğinde artış

kaydetmişlerdir. Chang vd. (2006), taze örneklerle karşılaştırıldığında domateslerin konvektif kurutulmasından sonra fenoliklerde %13-29'luk bir artış bildirmişler, fenoliklerdeki artışı kurutma sırasında gıda matrisinden polifenolik bileşiklerin salınmasıyla ilişkilendirmişlerdir. Tersine İzli (2017), yüksek sıcaklıkların kurutulmuş hurmalarda toplam fenolik içeriği ve antioksidan aktiviteyi azalttığını bildirmiştir. Yang vd. (2010), sıcak havayla patateslerin kurutulması sırasında fenolik içerikte bir düşüş bildirmişlerdir.

Bu çalışmada kurutma işleminden sonra antioksidan aktivitedeki azalma, askorbik asit, toplam fenolik madde ve antosiyanin içeriklerdeki azalma ile ilişkilendirilebilir. Askorbik asit, fenolik bileşiklerden kateşin, epikateşin, gallik asit ve özellikle antosiyaninler güçlü antioksidan bileşikler olup antioksidan aktiviteye etki ederler.

4.4.5. Kuru Meyvelerin Bireysel Fenolik Bileşik Dağılımı

Bu çalışmada, kurutulmuş ağaç domateslerin fenolik bileşik dağılımı HPLC-DAD ile analiz edilmiştir. Meyvelerde gallik asit, p-kumarik asit, sinapik asit, kersetin-3-glukozit, salisilik asit ve resveratrolun varlığı tespit edilmiştir (Tablo 4.8). Kurutmaya birlikte gallik asit, kateşin, salisilik asit, resveratrol ve kersetin-3 glukozitte önemli kayıplar meydana gelmiştir. Mikrodalga ile kurutulanların diğer kuru meyvelere göre daha fazla gallik asit ve kateşin içerdikleri görülmüştür.

Tablo 4.8: Kuru ağaç domateslerinin fenolik bileşik dağılımı (mg/kg)

K.Y	Gallik asit	p-kumarik asit	Sinapik asit	Salisilik asit	Resveratrol	Kersetin-3 glukozit	Kateşin
DK	105.12±2.94d	1.20±0.16c	41.65±5.63a	57.66±1.83bc	11.99±0.16a	122.44±7.96a	158.14±13.34f
Konvektif							
40°C	126.87±2.25c	1.49±0.25c	7.42±0.32e	36.10±1.04d	10.53±0.23bcd	78.28±3.27b	237.81±10.80f
50°C	152.61±6.05c	1.96±0.33b	9.57±4.77de	32.34±1.43d	12.11±0.69a	110.84±6.74a	251.00±11.58e
60°C	146.14±2.06c	1.26±0.03c	7.75±0.53e	16.85±1.25e	11.25±0.44ab	79.93±12.05b	251.09±23.40e
70°C	134.52±2.24c	1.11±0.08c	9.68±0.50cde	11.57±0.20e	10.62±0.05bc	78.55±0.70b	293.28±46.74e
80°C	163.51±0.00c	1.52±0.16c	8.89±1.19de	7.00±0.05e	11.69±0.08a	80.85±1.68b	500.61±53.97d
Mikrodalga							
350W	601.65±79.61a	2.71±0.45b	12.12±0.18cd	63.17±4.47ab	8.60±0.11e	57.21±0.25c	1070.95±39.46b
500W	443.94±39.39b	2.74±0.02b	13.74±1.82c	30.26±3.85d	9.98±0.20cd	80.50±2.58b	808.37±25.99c
650W	649.41±4.64a	12.53±1.19a	37.72±6.77b	73.57±8.60a	8.60±0.08e	37.71±9.56c	1448.07±6.24a

* Aynı sütunda aynı harfle gösterilen ortalamalar arasında istatistiksel olarak fark yoktur (p>0.05).

Macura vd. (2019), konvektif ve dondurularak kurutulan havuçların hem antosiyanin hem de toplam fenolik bileşiklerinin konvektif kurutulanlarda çok kayba uğradığını belirlemişlerdir. Bireysel antosiyaninlerden, ferulik asit siyanidin 3-ksilosil glukozil galaktozitin çalışılan havuç çeşitlerinde dominant antosiyanin olduğunu, konvektif kurutmada önemli ölçüde kayba uğradığını, aynı eğilimi diğer antosiyanin çeşitlerinde de olduğunu bildirmişlerdir. Havuçta klorojenik asitin baskın fenolik bileşiklerden olduğunu ve konvektif kurutmaya miktarının azaldığını saptamışlardır.

4.4.4.3. Kuru ağaç domateslerinin antosiyanin kompozisyonu

Antosiyaninler, kırmızı ağaç domatesi meyvelerinin çekici renginden sorumludur. Renklendirici özelliklerine ek olarak, biyolojik, farmakolojik, antiinflamatuvar, antioksidan ve kemoprotektif özelliklere de sahiptirler. Birçok kronik hastalığa karşı da faydalıdır. Antosiyaninlerin stabilitesi pH, sıcaklık, ışık varlığı, metal iyonları, oksijen enzimleri, askorbik asit, şekerler ve bunların bozunma ürünleri, proteinler ve kükürt dioksitten etkilenir (Robert ve Fredes, 2015).

Farklı yöntemlerle kurutulan ağaç domateslerinde en yüksek antosiyanin içeriğine dondurarak kurutucuda kurutulan ürünlerde rastlanmıştır (Tablo 4.8). Diğer kurutma yöntemlerine kıyasla en yüksek miktarda antosiyanin içerdiği saptanmıştır. Kuru ağaç domateslerinin bireysel antosiyanin dağılımı yüksek performanslı sıvı kromatografisi (HPLC-DAD) ile belirlenmiştir (Tablo 4.9).

Tablo 4.9. Kurutulmuş ağaç domateslerinin antosiyanin profili (mg/kg)

Kurutma yöntemi	Siyanidin klorit	Siyanidin-3-glukozit	Pelargonidin-3-glukozit
DK	19.34±0.84a	99.28±1.51a	1223.82±5.96a
Konvektif			
40°C	19.25±1.23a	72.14±2.37b	811.40±27.44c
50°C	17.96±0.46ab	92.41±4.29a	928.91±44.25b
60°C	16.33±0.97b	66.19±1.18b	710.46±2.06e
70°C	11.22±0.38c	45.65±1.54c	511.15±18.22f
80°C	7.58±0.34d	31.12±0.39d	323.28±17.19e
Mikrodalga			
350W	2.62±0.01e	8.79±0.22e	71.51±1.26g
500W	2.34±0.00e	11.02±0.03e	124.29±0.38g
650W	2.31±0.01e	16.11±0.86e	251.28±3.40f

* Aynı sütunda aynı harfle gösterilen ortalamalar arasında istatistiksel olarak fark yoktur (p>0.05).

Tablo 4.9'da görüldüğü gibi, ağaç domatesi antosiyaninleri kurutmaya bozulmaktadır. Sıcaklık arttıkça antosiyanin içeriği de azalmıştır. Taze meyvelerde olduğu gibi pelargonidin-3-glukozit en bol bulunan antosiyanin olup, bunu siyanidin-3-

glukozit takip etmiştir. En yüksek pelargonidin-3-glukozit içeriği dondurarak kurutulanlarda (1223.82 ± 5.96 mg/kg), en düşük ise 350W mikrodalgada (71.51 ± 1.78 mg/kg) kurutulanlarda saptanmıştır. Siyanidin-3-glukozit artan kurutma sıcaklığı ile azalmış ve dondurarak kurutulanlarda en yüksek, 350W'da kurutulanlarda en düşük değer belirlenmiştir. Isıl işlemin antosiyaninlerde kayba yol açtığıyla ilgili birçok çalışma vardır (Méndez-Lagunas vd., 2017; Bustos vd., 2018; Sarthak vd., 2021).

Martín-Gómez vd. (2020), farklı sıcaklıklarda (30, 40 ve 50°C) konvektif olarak kurutulmuş maviyemişlerden elde edilen sular ısıl işlem uygulanmamış meyvelerden elde edilenlerle karşılaştırdıkları çalışmada; kurutma sıcaklığın artışıyla antosiyanin konsantrasyonunda da artış kaydetmişlerdir. 50 °C'de kurutulan meyvelerden elde edilen meyve suyunun, kurutulmamış meyve suyundaki konsantrasyondan 2.67 kat daha fazla olduğunu belirlemişlerdir. Araştırmacılar, malvidin, peonidin, petunidin, siyanidin ve delfinidin galaktozidlerinin, malvidin, peonidin ve siyanidin glukozitlerinin, malvidin, petunidin, siyanidin ve delfinidin arabinozitleriyle malvidin ve siyanidin aglikonlarının 50 °C'de kurutulan meyvelerde daha yüksek olduğunu saptamışlar, bu yüksekliğin sebebinin antosiyaninlerin ve fenolik bileşiklerin oksidasyonunu sağlayan polifenol oksidaz (PPO) varlığının sıcaklıkla aktivitesinin düşmesine bağlamışlardır.

Mikrodalga kurutma yöntemi, test edilen ağaç domateslerinin antosiyanin içeriğini olumsuz etkilemiştir. Mikrodalga kullanarak kurutma nedeniyle antosiyanin önemli ölçüde azalmasını gösteren bu çalışma ile aynı eğilimde olan çalışmalar vardır. Arora vd. (2021), mikrodalga metodolojisini kullanarak pirinci kavururken antosiyaninin önemli ölçüde azaldığını ortaya koymuşlardır.

4.4.5. Kurutulmuş Ağaç Domateslerinin Uçucu Bileşik Profili

Taze meyvelerin tüketiciler tarafından kabulünü sağlayan esasen meyvenin olgunluk düzeyine bağlı olan tadı, aroması, dokusu, kimyasal bileşenleri ve antioksidan özellikleridir.

Tablo 4.10. Kurutulmuş ağaç domatesi meyvelerinin uçucu bileşikleri (µg/kg)

Bileşikler	40°C	50°C	60°C	70°C	80°C	350 W	500W	650W	DK
Alkoller									
1-Octyn-4-ol	Nd	Nd	Nd	3.99±0.63a	nd	nd	Nd	Nd	Nd
3-Decyn-2-ol	3.20±0.88b	Nd	3.83±0.76b	4.44±0.87b	nd	nd	Nd	Nd	33.62 ± 1.54a
alpha-Terpineol	5.67±3.51d	17.02±4.15c	17.28±1.71c	29.54±4.33b	28.65±3.41b	3.13±0.21d	Nd	Nd	Nd
Benzene methanol	Nd	Nd	Nd	9.91±1.60b	18.99±1.20a	5.50±0.54b	5.47±0.80b	Nd	Nd
cis-3-Hexen-1-ol	2.32±0.51b	Nd	3.34±0.41a	4.87±1.35a	nd	nd	Nd	Nd	Nd
Dodekanol	2.98±2.78a	Nd	Nd	Nd	nd	nd	Nd	nd	6.12 ± 1.87a
Etanol	1079.44±535.42b	2389.60±21.01b	1200.94±15.60b	964.74±507.56b	4706.95±53.76a	1693.08±15.23b	1132.73±43.59b	1527.63±24.45b	1540.53±34.84b
Okaliptol	160.48±80.85	215.75±18.97a	53.46±1.14b	124.72±16.09ab	418.46±179.97ab	213.84 ±80.94a	b47.48 ±0.74b	54.35 ± 0.27b	63.58 ± 2.46b
Hidroksisitronellol(3,7-dimetil-1,7-oktandiol)	2.53±0.08b	6.73±0.63a	Nd	Nd	Nd	nd	Nd	Nd	nd
Oktadien-2,6-diol	Nd	Nd	Nd	2.78±0.59a	Nd	nd	Nd	Nd	nd
p-Mentha1,5-dien-8-ol	22.68±10.43d	49.68±11.34bc	42.86±1.89c	68.43±11.09b	103.10±7.43ab	11.46 ±0.24c	12.26 ±1.87c	9.82 ±0.40c	25.82 ±7.22c
Dehidro-1-8-sineol	21.93±12.48a	23.39±9.25a	6.08±1.25b	4.86±2.72b	11.48±3.88ab	nd	1.71±1.41b	Nd	7.43±2.67b
3,7-dimetil-1,7-oktandiol	Nd	Nd	Nd	Nd	nd	nd	Nd	Nd	29.86± 0.00 a
Furanmetanol	Nd	Nd	Nd	Nd	nd	7.03 ± 0.23 a	8.34 ± 0.22 a	7.46 ± 0.67 a	nd
Asitler.									
Bütanoik asit, 4-heksenil	1.76 ±0.02a	Nd	Nd	2.20±2.20a	Nd	nd	Nd	Nd	nd
Oksaloasetik asit	Nd	Nd	4.84±0.91a	5.05±0.42a	Nd	nd	Nd	Nd	nd
Siklopentilasetik asit	2.61±0.64b	Nd	7.73±0.38a	3.05±0.46b	Nd	nd	Nd	Nd	nd
Piridin karboksilik asit	Nd	Nd	Nd	Nd	Nd	5.62 ± 0.57a	Nd	4.17 ± 0.41a	nd
Siklopentilasetik asit	Nd	Nd	Nd	Nd	Nd	nd	6.28 ± 0.71a	5.15 ± 1.18 a	nd
Esterler.									
Amil asetat	6.29±3.28ab	8.87±4.00ab	13.38±2.90ab	32.12±22.88ab	15.94±7.56ab	nd	2.21 ± 0.46ab	2.99 ± 2.99ab	nd
Benzoik asit, metil ester	11.54±7.86b	42.47±1.92ab	19.89±0.90b	71.94±6.84a	77.66±0.78a	nd	1.79 ± 1.79c	5.02 ± 0.48b	18.19 ± 0.42b

Bütandioik asit, metil-, dimetil-ester	4.42±0.08b	Nd	5.82±0.73b	18.27±5.25a	Nd	17.84±17.84a	4.56±0.36b	Nd	nd
Bütanoik asit, 4-heksenil ester	1.88±0.59a	Nd	Nd	Nd	Nd	30.47±5.22a	47.11±7.70a	51.43±40.58a	7.18±0.88a
Etil asetat	15.36±6.44a	Nd	4.62±0.73ab	5.66±1.69ab	Nd	nd	Nd	Nd	12.75±0.44a
etil bütirat	90.49±56.82ab	270.97±41.24ab	243.49±8.55ab	626.49±21.53ab	871.03±46.70a	30.47±1.83ab	47.11±7.70ab	51.43±40.58ab	7.18±0.88b
etil oktanoat	5.75±0.14cd	6.84±3.25c	6.10±0.20c	18.55±7.63b	18.86±3.37b	nd	Nd	Nd	nd
Etil-beta-hidroksibütirat	3.73±0.62d	8.39±0.57c	Nd	7.81±7.81c	15.60±1.25b	nd	Nd	Nd	nd
Heksanoik asit, metil ester	267.70±9.09ab	285.40±50.84ab	78.23±11.26b	117.58±23.86b	456.02±223.97a	49.28±0.21b	37.26±23.84b	35.87±25.06b	135.28±1.00ab
heksenil izobütirat	Nd	Nd	Nd	Nd	nd	nd	Nd	Nd	nd
metil bütirat	16.84±10.94e	22.15±1.95d	22.83±0.09d	37.89±9.00c	102.72±5.69a	nd	Nd	Nd	nd
metil salisilat	Nd	Nd	Nd	6.97±0.55a	nd	nd	Nd	Nd	nd
Propanoik asit, 2-metil-, metiletil ester	1-2.58±1.29a	Nd	4.50±0.30a	8.51±7.65a	28.18±0.01a	5.09±0.51a	6.26±0.47a	4.06±2.46a	nd
Propanoik asit, 2-metil-, etil ester	Nd	Nd	4.90±1.12a	4.68±0.55a	nd	5.09±0.51a	6.26±0.47a	4.06±2.46a	nd
Terpinil Asetat	Nd	Nd	Nd	3.28±1.07c	13.46±5.65b				
Oktanoik asit-etil-ester	Nd	Nd	Nd	Nd	nd	5.16 ± 1.94b	2.30 ± 1.31c	5.33 ± 4.16b	12.72± 6.27a
Heksanoik asit etil ester	59.50±26.32b	48.57±8.75b	36.25±1.45b	114.56±31.41a	190.49±97.23a	11.48±6.36c	20.07±9.53c	17.53±6.86c	4.04±0.28c
Terpenler									
1,3,6-Oktatrien, 3,7-dimetil-, (Z)	Nd	Nd	Nd	3.78±1.34c	16.28±0.55b	nd	Nd	Nd	nd
2-Metil-1,3,5-hekzatrien	8.89±6.06f	27.54±6.23d	17.98±10.52e	33.63±24.75c	61.66±4.99b	nd	Nd	Nd	nd
Beta-cis-Ocimene-1R-alpha-Pinene	3.97±3.38a	Nd	Nd	Nd	nd	nd	2.15±1.86a	Nd	nd
Carene-1S-3R-6R-gamma-Terpinen	7.73±4.57c	Nd	4.93±0.81c	6.13 ±6.13c	35.06±11.72b	4.25 ± 2.92c	8.37 ± 5.84c	nd	5.97 ± 0.79c
D-Limonen	13.04±6.86b	26.65±5.10b	9.37±0.93b	11.74±3.26b	48.76±17.55b	11.77 ± 2.16b	14.25 ± 10.02b	11.39 ± 6.66b	17.25 ± 2.49b
limonen oksit	3.390.48a	Nd	Nd	Nd	nd	nd	Nd	Nd	nd
Oktan-2-metil-N-N-Dimetil piperazin	3.73±2.14ab	Nd	Nd	Nd	19.06±7.72ab	5.24 ± 1.71ab	1.39 ± 0.74b	4.82 ± 3.31ab	7.40 ± 7.40ab
p-simen	11.06±1.16c	17.66±3.34c	12.65±0.36c	35.95±6.87b	78.96±6.84b	38.16 ± 0.93b	30.87 ± 5.51b	35.79 ± 7.09b	27.99 ± 1.88b
felandren	3.63±1.96b	5.86±1.78b	8.36±0.61a	9.49±1.62a	17.47±5.39a	nd	2.61 ± 0.55b	nd	nd
α-Pinen	Nd	Nd	Nd	7.88±2.17c	12.89±3.41b	nd	Nd	Nd	nd
β-Pinen/beta mirsen	5.86±3.65b	10.72±2.01b	3.51±0.31b	7.51±2.39b	19.37±6.44b	nd	4.48 ± 2.95b	5.08 ± 3.60b	3.70 ± 0.08b
Aldehitler ve ketonlar.									
asetaldehit	8.10±4.13ab	12.47±0.21ab	7.33±0.42ab	19.13±1.83a	22.90±0.61a	8.77±0.76ab	9.12±0.01ab	8.02±0.08ab	21.73±16.77a
TATP Bütanal	3.79±1.57cd	Nd	4.88±0.38d	7.77±1.65bcd	15.42±0.16bc	8.22±0.70bcd	14.29±1.59bc	17.00±0.91ab	nd

Pentanal	Nd	Nd	4.75±2.07ab	2.95±2.95ab	nd	nd	13.82±6.36a	12.20±1.90ab	nd
Heptanal	5.86±1.76a	Nd	Nd	Nd	nd	nd	1.45 ± 0.86b	nd	nd
Oktanal	3.33±0.87a	Nd	Nd	Nd	nd	nd	10.68 ± 6.77a	nd	1.84±1.84b
nonanone	1.43±0.21a	Nd	Nd	Nd	nd	nd	2.97 ± 1.92b	nd	19.61±9.61a
Sülkaton (6-metil-5-hepten-2-on)	1.85±0.67a	Nd	Nd	Nd	nd	nd	14.78 ± 11.61a	nd	4.64±0.01b
Nonanal	29.32±1.76b	18.90±0.88c	11.94±0.62c	11.00±1.41c	22.83±2.30bc	11.25 ± 2.35c	29.90 ± 4.62b	12.92 ± 0.75c	48.35 ± 6.69a
Dekanal	6.97±1.34a	Nd	5.05±0.19b	5.25±0.14b	nd	7.57 ± 0.84ab	9.26 ± 0.10a	9.04 ± 0.44 a	nd
Furfural	Nd	Nd	Nd	130.37±34.54c	nd	389.60±1.95ab	419.98±52.98a	433.5± 14.96a	26.81± 5.45d
Etanon	Nd	Nd	Nd	3.63±0.26d	nd	17.95 ± 1.03a	17.67 ± 0.84a	15.73 ± 4.11b	13.39 ± 0.45c
İzovaleraldehit (3-metilbutanal)	Nd	Nd	Nd	Nd	nd	53.24 ± 5.62b	55.04 ± 36.46b	98.43 ± 16.99a	nd
5-Etoksidihidro-2(3H)-furanon	Nd	Nd	Nd	Nd	nd	52.24 ± 0.87c	65.51 ± 7.21b	72.41 ± 3.30 a	nd
5-Metil-2(5H)-furanon	Nd	Nd	Nd	Nd	nd	6.28 ± 0.21ab	7.45 ± 0.70a	6.36 ± 0.48ab	nd
2-furan karboksaldehit 5-metil	Nd	Nd	Nd	Nd	nd	44.08 ± 1.04b	53.70 ± 4.94a	53.55 ± 7.42a	6.17 ± 2.10c
H-pirol-2-il-Etanon	Nd	Nd	Nd	Nd	nd	31.07 ± 8.79c	37.25 ± 2.02a	33.57 ± 11.51b	nd
Piran-4-bir	Nd	Nd	Nd	Nd	nd	19.31 ± 8.84a	2.89 ± 2.89c	16.24 ± 6.10ab	nd
Hidroksimetilfurfural (HMF)	Nd	Nd	Nd	Nd	nd	75.74 ± 6.63a	22.63± 1.31c	45.69 ± 11.16b	nd
2,5-Furandikarboksaldehit	Nd	Nd	Nd	Nd	nd	12.07 ± 3.14a	6.40 ± 6.40b	11.72 ± 4.11a	1.91 ± 1.91c
sikloheksenon	Nd	Nd	Nd	Nd	nd	nd	Nd	Nd	9.50±5.52a
benzofuranon	Nd	Nd	Nd	Nd	nd	nd	nd	Nd	6.60±4.53a
Diğerleri.									
Karbon dioksit	10.71± 4.36c	18.86±2.07bc	16.43±0.58c	39.54±1.72bc	58.78±3.90b	42.00±0.21bc	41.12±1.56bc	44.25± 5.15bc	14.20±7.52c
Boran metil sülfür kompleksi	Nd	Nd	Nd	17.07±5.33d	35.30±4.22b	5.35 ± 0.30e	12.63 ± 0.54c	6.61 ± 0.69e	nd
Oksiran, 2-bütil-3-metil-, cis-tetradekan	10.36±7.38c	9.55±0.52c	12.15±0.78c	29.50±6.21b	57.06±10.48a	nd	nd	Nd	nd
benzenpropanamin	21.52±0.56bc	17.23±3.11d	19.17±4.77d	28.95±1.39bc	41.57±8.49a	30.97±10.35b	16.83±0.06d	23.63±1.55bc	34.76±12.03b
2,2,4,6,6-pentametil heptan	Nd	Nd	Nd	Nd	nd	nd	nd	4.64 ± 0.56b	17.96± 6.20a
	Nd	Nd	Nd	Nd	nd	nd	nd	Nd	45.10±3.06a

* Aynı satırda aynı harfle gösterilen ortalamalar arasında istatistiksel fark yoktur (p>0.05).

Kurutulmuş ağaç domatesi meyvelerinin uçucu bileşikleri Tablo 4.10'da sunulmuştur. Bu çalışmada kuru meyvelerde 74 uçucu bileşik tanımlanmış ve alkol, organik asit, ester terpenler, aldehitler, ketonlar vd olarak gruplandırılmıştır. Uçucu bileşiklerin bir kısmı kurutma sırasında meydana gelirken bir kısmı ise kurutmada kayba uğramıştı.

Tablo 4.10'dan görüldüğü gibi, alkollerden sadece etanol, ökaliptol ve p-mental 1,5-dien-8-ol, yapılan konvektif kurutmada, mikrodalgada ve dondurarak kurutmada saptanmıştır. Yapılan konvektif kurutmada her üç bileşikte 80°C' de en yüksek miktarda oluşmuştur. Furanmetanol sadece mikrodalga ile yapılan kurutmada oluşmuştur. Dehidro-1-8-cineol bileşiği taze meyvede miktarı daha yüksekken (Tablo 4.2), dondurarak kurutma ve mikrodalga ile kurutma işlemi sonrası bu miktarda azalma olduğu gözlenmiştir. Hidroksicitronellol (3,7-dimetil-1,7-oktandiol) konvektif kurutmada 50°C'ye kadar bir artış göstermiş, daha sonraki sıcaklık artışlarında ve diğer kurutma işlemlerinde rastlanmamıştır. Cis-3-hekzen-1-ol, dodecanol, hidroksicitronello (3,7-dimetil-1,7-oktandiol), oktadien-2,6-diol ve 3,7-dimetil-1,7-oktandiol bileşiklerine mikrodalga kurutmada rastlanmamıştır. 3,7-dimetil-1,7-oktandiol sadece dondurarak kurutmada oluşmamıştır. Furan metanol en yüksek 500W mikrodalga kurutmada elde edilmiş, diğer kurutma tekniklerinde oluşmamıştır.

Dondurarak kurutulanlarda asit oluşumuna rastlanmamış, butanoik asit, 4-heksenil, okzaloasetik asit ve siklopentil asetik asite sadece konvektif kurutulanlarda, piridin karboksilik asit ve siklopentilasetik asite ise sadece mikrodalgada kurutulanlarda rastlanmıştır.

Esterlerden etil butirat, hekzanoik asit, metil ester ve hekzanoik asit etil ester miktarları en yüksek 80°C'de konvektif kurutulanlarda saptanmıştır. Dondurarak kurutmada bazı esterler saptanamazken, hekzanoik asit, metil esterce zengin olduğu gözlenmiştir. Etil asetat, etil oktanoat, etil-beta-hidroksibütirat, hekzenil isobutirat, metil salisilat mikrodalga kurutulanlarda bulunmamıştır. Metil salisilat sadece 70°C'de konvektif kurutulanlarda belirlenmiştir. Butandioik asit metil-, dimetil esterin dondurarak kurutmada varlığı saptanamazken, konvektif kurutmada 70°C'de, mikrodalga 350W kurutmada yüksek sonuç vermiştir. Yapılan kurutma işlemlerinin etil asetatın taze meyve halindeki miktarına göre azaldığı saptanmıştır. Propanoik asit, 2-metil-, 1-metiletil ester dondurarak kurutulanlarda saptanmamış, mikrodalga ile

yapılan kurutmada taze meyvedekine göre artış olduğu belirlenmiştir. Octanoik-asit-etil-ester, mikrodalgada yapılan kurutmada en yüksek 650W'da tespit edilmiştir.

Konvektif kurutmada terpenlerden 2-metil-1,3,5-hekzatrien, D-limonen ve p-simene'nin 80°C'de en yüksek sonuç verdiği saptanmıştır. Mikrodalga ile kurutmada ve dondurarak kurutmada 2-metil-1,3,5- hekzatrien'in varlığına ulaşılamamıştır. Limonen oksit sadece konvektif kurutmada 40°C'de, beta-cis-ocimene-1r-alpha-pinen ise sadece mikrodalga ile kurutmada 500W'da sonuç vermiştir. Taze ağaç domatesindeki D-limonen ve p-simenen miktarı, kurutma ile artış göstermiştir. Limonen oksit sadece 40°C'de konvektif kurutulanlarda tespit edilmiştir.

Asetaldehit ve Triaseton triperoksit (TATP) bütanal, 80°C'de konvektif kurutmada yüksek sonuç vermiştir. Nonanol'un konvektif kurutmada 40°C'den, 70°C'ye kadar bir azalış gösterirken, 80°C'de artış göstermiş, dondurarak kurutmadaki miktarı, mikrodalga kurutmaya göre daha yüksek olmuştur. Triaseton triperoksit (TATP) bütanal, pentanal, heptanal, dekanal, siklohekzenon ve benzofuranon dondurarak kurutmada belirlenememiştir. Asetaldehit'in dondurarak yapılan kurutma işlemi sonrası taze meyveye göre değişme olmadığı gözlenmiştir. Oktanal ve sulkaton (6-metil-5-hepten-2-on) en yüksek 500W'da mikrodalgayla kurutulanlarda saptanmıştır. Tüm aldehit ve ketonlar arasında en yüksek miktarda furfural olduğu, en yüksek sonucu 600W'da mikrodalga kurutulanlarda olduğu tespit edilmiştir.

Taze ağaç domatesinde saptanan karbondioksit miktarına göre, uygulanan konvektif kurutmada (80°C hariç) karbondioksit miktarında azalma olduğu görülmüştür. Oksiran, 2-butil-3-metil-, cis- mikrodalga ve dondurarak kurutmada belirlenememiştir. 2,2,4,6,6-pentametil heptan sadece dondurarak kurutulanlarda belirlenmiştir.

Kurutulmuş ağaç domatesi meyvelerinde en bol bulunan uçucu bileşiklerden biri olan okaliptol miktarı, kurutma sıcaklığının artmasıyla artmıştır (Tablo 4.10). Çeşitli çalışmalar, solunum yolu hastalığı, pankreatit, kolon hasarı ve alkolsüz steatohepatit gibi çeşitli hastalıklara karşı anti-inflamatuar ve antioksidan etkiler gösteren okaliptol gibi kurutulmuş domateslerde bulunan belirli uçucu bileşiklerin sağlık yararlarını göstermiştir (Seol vd., 2016). Diğer çalışmalar ayrıca, işlenmiş portakal sularında aroma arttırıcı olarak kullanılan önemli bir bileşen olan etil bütirat gibi bu çalışmada bulunan uçucu bileşiklerin kullanımına işaret etmiştir (Belitz vd.,

2009). Kurutulmuş ağaç domatesi meyvelerinde bulunan bir diğer önemli bileşik, çalışmaların hoş ananas kokusunu gösterdiği heksanoik asit etil esterdir (Czerny vd., 2008).

Okalıptol, kurutulmuş ağaç domates meyvelerinde analiz edilen en bol aroma bileşiklerinden biri iken, 350W'da mikrodalgada kurutulan örneklerde çoğunlukla yüksek miktarda bulunmuştur. Kurutma sırasında bazı kimyasal reaksiyonlara bağlı olarak yeni aroma bileşiklerinin oluştuğu saptanmıştır. Bunlar, şekerlerin karamelize olmasıyla meydana gelen bazı aldehit ve ketonlardır. Bunlardan biri olan furfuraldır. D-limonen varlığı, kurutulmuş ağaç domates meyvelerine hoş limon benzeri koku (Lothabad vd., 2020; Akhavan-Mahdavi vd., 2022) oluşumuna katkı sağlamıştır. Kurutulmuş ağaç domatesi ayrıca ot, çam ve odunsu aromayı oluşturan p-simenen, miresen, α -pinenen, carene-1s-3r-6r-gamma-terpinen ve fellandrene gibi başka kimyasal bileşiklere de sahiptir. Dondurularak kurutulmuş ağaç domates meyvelerinde rastlanan aromatik bileşik olan linalool'ün varlığı Letizia vd. (2003)'ün de bildirdiği gibi, çok güzel ve belirgin bir kokuya sahiptir.

Méndez vd. (2016), ultrason destekli konvektif olarak kurutulan ağaç domateslerinde ultrason uygulamasının meyvelerin aromasına etkisi olmadığını, taze meyvelerde en önemli bileşiklerin etil butanoat, metil heksanoat, okalıptol ve etil heksanoat olduğunu, kurutmaya birlikte bunların önemli kısmının kaldığını, ancak etil heksanoatın nispi bolluğunun arttığını kaydetmişlerdir. Diep vd. (2021), dondurularak kurutulmuş kırmızı ağaç uçucu bileşiklerini belirledikleri çalışmada kuru meyvelerin uçucu bileşenlerinin çoğunu koruduğunu, bazılarının su kaybıyla daha konsantre olduğunu kaydetmişlerdir.

5. SONUÇ VE ÖNERİLER

Ağaç domatesi çoğunlukla tropik ülkelerde yetişen salatalarda, bebek maması, püre, sos gibi ürünlerde kullanılan bir meyvedir. Bu çalışmada, ağaç domatesi meyvelerinin farklı yöntemlerle kurutulması sırasında meydana gelen bazı fiziksel, kimyasal ve antioksidan özelliklerdeki değişimler araştırılmıştır. Bunun için meyveler 1.5 m/s hava hızında farklı sıcaklıklarda (40, 50, 60, 70 ve 80 °C) konvektif, farklı güçlerde (350, 500 ve 650 W) mikrodalgada ve dondurarak kurutulmuştur.

Kuruma süresince su kaybı izlenerek kuruma kinetiği, 12 farklı matematiksel modele uyarlanmıştır. Kuruma kinetiğini tanımlayan en iyi model, en yüksek regresyon katsayısı (R^2), en düşük tahmini standart hata (RMSE) ve khi-kare (χ^2) değerlerine göre seçilmiştir. Genel olarak, konvektif ve mikrodalga kurutma için en uygun modelin *Midilli* olduğu tespit edilmiştir. Rehidrasyon sırasında su alma oranları Peleg, First Order Kinetic, Exponential related equation, Exponential Model, Weibull ve proposed modellere uyarlandığında kurutma yöntemlerine göre farklılık olduğu belirlenmiştir. Genel olarak konvektif kurutulanların Weibull ve Peleg modellerine uyarken, mikrodalgada kurutulanların Exponential ve dondurarak kurutulanların Peleg modeline uyduğu saptanmıştır.

Kurutulan meyvelerin aydınlık değerleri genel olarak çok düşüş göstermiş, kırmızılık değeri ise dondurarak kurutma, mikrodalga ile konvektif kurutmada 40°C'de kurutulanlar hariç düşüş göstermiştir. Sarılık değerinde genel olarak tüm meyvelerde azalış saptanmıştır. Hue açısının 50°C'de kurutulanlar hariç tüm kurutma koşullarında düştüğü, kroma değerinin de tüm örneklerde düştüğü belirlenmiştir. Meyvenin kurutmada ne kadar etkilendiğini gösteren toplam renk değişikliği (ΔE), konvektif kurutmada, sıcaklıklara göre çok farklı olurken mikrodalgada kurutulanlar birbirine yakın özellikte olmuştur. Renkte en az değişim 40°C'de kurutulanlarda olmuştur.

Taze meyve ile kuru meyvenin hacminin oranlanmasıyla saptanan ve dilim boyutlarındaki küçülmeyi ifade eden büzülme, en fazla % 35.32 azalma ile 80°C'de konvektif kurutulanlarda, ardından 33.95 ile 60°C'de konvektif kurutulanlarda görülmüştür. Dondurarak kurutmayla, ortalama %25.19 büzülme olduğu yani diğer yöntemlere göre boyutu çok fazla etkilemediği belirlenmiştir. Konvektif ve mikrodalga kurutma tekniğinde sıcaklık ve kurutma gücü arttıkça, büzülme değerleri de artmıştır. SEM ile yapılan görüntülemelerde yüksek sıcaklıkta konvektif ve

mikrodalga kurutulanların morfolojik özelliklerinin çok değiştiği gözlenmiştir.

Doğal antioksidanlarca zengin olan ağaç domatesinde kurutma yöntemlerine göre antioksidan özellikler az veya çok değişikliğe uğramıştır. Taze meyvelere göre dondurarak kurutulanlarda toplam karotenoidlerde artış kaydedilirken diğer koşullarda %63'e varan kayıp belirlenmiştir. Gıda işlemede en hassas değişken olarak bilinen güçlü antioksidanlardan olan askorbik asitte %21-49 kayıp belirlenmiştir. Askorbik asitte en az kayıp 650W'da mikrodalga, 40°C konvektif ve dondurarak kurutulanlarda olmuştur. Kurutmayla toplam fenolik maddede %31-67, toplam flavonoidde %2-49 ve toplam antosiyaninde %68-96 kayıp belirlenmiştir. Toplam fenolik madde açısından 80°C'de konvektif kurutma en etkili kurutma yöntemi olurken toplam antosiyanin açısından dondurarak kurutma, flavonoid ve DPPH serbest radikal giderme açısından 650W'da mikrodalga kurutma, FRAP değerleri açısından 500W mikrodalga kurutma olmuştur.

HPLC-DAD ile yapılan bireysel fenolik ve antosiyanin dağılımında taze meyvelerde en bol bulunan fenolik bileşiğin kateşin ardından gallik asit, antosiyaninin ise pelargonidin-3-glukozit ardından siyanidin-3-glukozit olduğu belirlenmiştir. Kurutmayla gallik asit, kateşin, salisilik asit, resveratrol ve kersetin-3 glukozitte önemli kayıplar meydana gelmiştir. Mikrodalga ile kurutulanların diğer kuru meyvelere göre daha fazla gallik asit ve kateşin içerdikleri görülmüştür.

Ağaç domatesi antosiyaninleri, kurutmayla önemli ölçüde degradasyona uğramıştır. Sıcaklık arttıkça antosiyanin içeriği azalmıştır. En yüksek pelargonidin-3-glukozit içeriği dondurarak kurutulanlarda en düşük ise 350W mikrodalgada kurutulanlarda saptanmıştır. Siyanidin-3-glukozit artan kurutma sıcaklığı ile azalmış ve dondurarak kurutulanlarda en yüksek, 350W'da kurutulanlarda en düşük değer belirlenmiştir.

Taze ağaç domatesinde toplam 39 uçucu bileşen teşhis edilebilmiştir. Taze meyvelerde bütanoik asitin etil ve metil esterleri, hekzanoik asitin metil ve etil esterleri, n-amil asetat ve okaliptolun yüksek oldukları görülmüştür. Kuru meyvelerde 54 uçucu bileşik izole edilmiştir. Uçucu bileşiklerin bir kısmı kurutma sırasında meydana gelirken bir kısmı ise kurutmada kayba uğramıştır.

Sonuç olarak, farklı yöntemlerle kurutulan ağaç domatesi meyvelerinde fiziksel,

antioksidan ve uçucu bileşiklerin iyi korunması için öncelikle dondurarak kurutma ardından mikrodalga ve düşük sıcaklıkta konvektif kurutma tercih edilmelidir. Diğer meyvelere nazaran hem lipofilik hemde hidrofilik antioksidan kaynağı olan bu meyvenin kurutulmasında mikrodalga kurutma tercih edilmesi durumunda vakum veya konvektif kurutma tekniğı ile birleştirilmesi özellikle renk ve antosiyanin kaybını minimize edecektir.



KAYNAKLAR

- Abad, J., Valencia-Chamorro, S., Castro, A., & Vasco, C. (2017). Studying the effect of combining two nonconventional treatments, gamma irradiation and the application of an edible coating, on the postharvest quality of tamarillo (*Solanum betaceum* Cav.) fruits. *Food Control*, 72, 319–323.
- Abbaspour-Gilandeh, Y., Kaveh, M., Fatemi, H., Hernández-Hernández, J.L., Fuentes-Penna, A., Hernández-Hernández, M. (2020). Evaluation of the changes in thermal, qualitative, and antioxidant properties of terebinth (*Pistacia atlantica*) fruit under different drying methods. *Agronomy*, 10, 1378. <https://doi.org/10.3390/agronomy10091378>.
- Abdul Kadir, N. A., Rahmat, A., & Jaafar, H. Z. (2015). Protective effects of tamarillo (*Cyphomandra betacea*) extract against high fat diet induced obesity in Sprague-Dawley rats. *Journal of Obesity*, 846041.
- Achicanoy, D. D., Benavides, A. H., & Martínez-Correa, H. A. (2018). Study of supercritical CO₂ extraction of tamarillo (*Cyphomandra betacea*) seed oil containing high added value compounds. *Electrophoresis*, 39, 1917–1925.
- Acosta-Quezada, P. G., Raigon, M. D., Riofrío-Cuenca, T., García-Martínez, M. D., Plazas, M., Burneo, J. I., et al. (2015). Diversity for chemical composition in a collection of different varietal types of tree tomato (*Solanum betaceum* Cav.), an Andean exotic fruit. *Food Chemistry*, 169, 327–335.
- Aghabashlo, M., Kianmehr, M.H., & Khani, S. (2008). Mathematical modeling of carrot thin layer drying using new model. *Energ. Convers Manage*, 49: 201-212
- Aguiar, J., Gonçalves, J.L., Alves, V.L., & Camara, J.S. (2020). Chemical fingerprint of free polyphenols and antioxidant activity in dietary fruits and vegetables using a non-targeted approach based on QuEChERS ultrasound-assisted extraction combined with UHPLC-PDA. *Antioxidants*, 9, 305. doi:10.3390/antiox904030.
- Akhavan-Mahdavi, S., Sadeghi, R., Esfanjani, A.F, Hedayati, S., Shaddel, R., Dima, C., Malekjani, N., Boostani, S., & Jafari, S.M. (2022). Nanodelivery systems for d-limonene; techniques and applications. *Food Chemistry*: 132479.
- Akpinar, E. K., & Bicer, Y. (2008). Mathematical modelling of thin layer drying process of long green pepper in solar dryer and under open sun. *Energy Conversion and Management*, 49(6), 1367-1375.
- Albanese, D., Adiletta, G., D' Acunto, M., Cinquanta, L., & Di Matteo, M. (2014). Tomato peel drying and carotenoids stability of the extracts. *International Journal of Food Science & Technology*, 49(11), 2458-2463.
- Álvarez, R., Méndez, J. M., Materano, W., & Valera, A. (2009). Caracterización química y sensorial del vino artesanal de tomate de árbol (*Cyphomandra betacea* (Cav.) Sendtn). *Revista Científica UDO Agrícola*, 9(2), 436-441.
- Amadou, N. M., Waingeh, N. C., Che, N. S., Yunenyui, M. P., & Helène, I. (2020). Physicochemical and sensory properties of tree tomato (*Cyphomandra betacea* (Cav.) Sendtn) drink. *World Journal of Advanced Research and Reviews*, 6(2), 009-016.
- Amit, S.M., Uddin, M., Islam, S.M.R., & Khan, M.S. (2017). A review on mechanisms and commercial aspects of food preservation and processing. *Agric & Food Secur.*, 6:51.

- Angelica, C., Pangestu, O. O., Kurniawan, J., Meindrawan, B., & Hutabarat, D. J. C. (2021). Design formula and product prototype of beverage made from tamarillo (*Solanum betaceum*) fruit and sappan wood (*Caesalpinia sappan*) using Kano method. In IOP Conference Series: Earth and Environmental Science, 715, 012070.
- AOAC. (2000). Official method of analysis (17th ed.). Gaithersburg, MD, USA: Association of Official Analytical Chemists (No. 967.21 Ascorbic acid in vitamin preparation and juices).
- Apar, D.K., Demirhan, E., Özbek, B., Dadali, G. (2009). Rehydration kinetics of microwave-dried okras as affected by drying conditions. *Journal of Food Processing and Preservation*, 33, 618–634.
- Aral, S., & Beşe, A. V. (2016). Convective drying of hawthorn fruit (*Crataegus* spp.): Effect of experimental parameters on drying kinetics, color, shrinkage, and rehydration capacity. *Food Chemistry*, 210, 577-584.
- Arora, S., Virdi, I. K., Sharanagat, V. S., Kheto, A., Dhua, S., Suhag, R., ... & Patel, A. (2021). Roasting of black rice (*Oryza sativa* L.): Change in physico-functional, thermo-pasting, antioxidant and anthocyanin content. *Journal of Food Measurement and Characterization*, 15(3), 2240-2250.
- Arslan, D., & Özcan, M. M. (2011). Drying of tomato slices: changes in drying kinetics, mineral contents, antioxidant activity and color parameters. *CyTA-Journal of Food*, 9(3), 229-236.
- Atiqah, N.A. A. K., Maisarah, A. M. & Asmah, R. (2014). Comparison of antioxidant properties of tamarillo (*Cyphomandra betacea*), cherry tomato (*Solanumly copersicum* var. *cerasiform*) and tomato (*Lyopersicon esulentum*). *International Food Research Journal* 21(6): 2355-2362.
- Bakshi, P., Kour, G., & Ahmed, R. (2016). Tamarillo (*Cyphomandra betacea*). *Underutilized Fruit Crops: Importance and Cultivation* (1st ed.). (SN Ghosh, Ed.), 1271-1294.
- Barbosa-Cánovas, G. V., Fontana Jr, A. J., Schmidt, S. J., & Labuza, T. P. (Eds.). (2020). *Water activity in foods: fundamentals and applications*. John Wiley & Sons. Technology and Engineering, 640 pages.
- Bariah, H., Yusak, Y., & Zaidar, E. (2020). Comparison of vitamin c, β -carotene, and water content from tamarillo (*Solanum betaceum* Cav.) fruit and tamarillo jam. *Journal of Chemical Natural Resources*, 2, 1, 32 -37.
- Belitz, H.D., Grosch, W., & Schieberle, P. (2009). *Coffee, tea, cocoa. Food chemistry* (4th rev. and extended ed.). Berlin: Springer. 938-977 p.
- Benseddik, A., Azzi, A., Zidoune, M., Khanniche, R., & Besombes, C. (2019). Empirical and diffusion models of rehydration process of differently dried pumpkin slices. *Journal of the Saudi Society of Agricultural Sciences*, 18(4), 401-410. doi: 10.1016/j.jssas.2018.01.003
- Benzie, I.F.; Strain, J.J. (1996). The ferric reducing ability of plasma (FRAP) as a measure of “antioxidant power”: The FRAP assay. *Anal. Biochem.* 239, 70–76.
- Bhat, T. A., Hussain, S. Z., Wani, S. M., Rather, M. A., Reshi, M., Naseer, B., ... & Khalil, A. (2022). The impact of different drying methods on antioxidant activity, polyphenols, vitamin C and rehydration characteristics of Kiwi fruit. *Food*

Bioscience, 101821.

- Bicer, A., & Kar, F. (2013). Experimental investigation of drying behavior of rosehip in a cyclone-type dryer. *International Journal of Nutrition and Food Engineering*, 7(6), 419-423.
- Bohs, L. (1989). Ethnobotany of the genus *Cyphomandra* (Solanaceae). *Economic Botany*, 43, 143–163.
- Bosiljkov, T., Dujmić, F., Bubalo, M. C., Hribar, J., Vidrih, R., Brnčić, M., ... & Jokić, S. (2017). Natural deep eutectic solvents and ultrasound-assisted extraction: Green approaches for extraction of wine lees anthocyanins. *Food and Bioproducts Processing*, 102, 195-203.
- Boyes, S., & Strübi, P. (1997). Organic acid and sugar composition of three New Zealand grown tamarillo varieties (*Solanum betaceum* (Cav.)). *New Zealand Journal of Crop and Horticultural Science*, 25:1, 79-83, DOI: 10.1080/01140671.1997.9513990.
- Bustos, M. C., Rocha-Parra, D., Sampedro, I., de Pascual-Teresa, S., & León, A. E. (2018). The influence of different air-drying conditions on bioactive compounds and antioxidant activity of berries. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 66(11), 2714-2723.
- Çalışır, S., & Aydın, C. (2004). Some physico-mechanic properties of cherry laurel (*Prunus lauracerasus* L.) fruits. *Journal of Food Engineering*, 65(1), 145-150.
- Castro-Vargas, H. I., Benelli, P., Ferreira, S. R., & Parada-Alfonso, F. (2013). Supercritical fluid extracts from tamarillo (*Solanum betaceum* Sendtn) epicarp and its application as protectors against lipid oxidation of cooked beef meat. *The Journal of Supercritical Fluids*, 76, 17-23.
- Çelen, S. (2019). Effect of microwave drying on the drying characteristics, color, microstructure, and thermal properties of Trabzon persimmon. *Foods*, 8(2), 84.
- Çelen, S., & Kahveci, K. (2013). Microwave drying behaviour of tomato slices. *Czech Journal of Food Sciences*, 31(2), 132-138.
- Cemeroğlu, B., 1992. Meyve ve Sebze İşleme Endüstrisinde Temel Analiz Metodları. Biltav Yayınları, 380 s, Ankara.
- Chang, C. H., Lin, H. Y., Chang, C. Y., & Liu, Y. C. (2006). Comparisons on the antioxidant properties of fresh, freeze-dried and hot-air-dried tomatoes. *Journal of Food Engineering*, 77(3), 478-485.
- Chen, X., Fedrizzi, B., Kilmartin, P. A., & Quek, S. Y. (2021). Development of volatile organic compounds and their glycosylated precursors in tamarillo (*Solanum betaceum* Cav.) during fruit ripening: A prediction of biochemical pathway. *Food Chemistry*, 339, 128046.
- Chin, S. K., Siew, E. S., & Soon, W. L. (2015). Drying characteristics and quality evaluation of kiwi slices under hot air natural convective drying method. *International Food Research Journal*, 22(6).
- Clifford, M.N. (2000). Anthocyanins-nature, occurrence and dietary burden. *Journal of the Science of Food and Agriculture* 80, 1063-1072.
- Correia, P., Guiné, R. P., Correia, A. C., Gonçalves, F., Brito, M., & Ribeiro, J. (2017). Physical, chemical and sensorial properties of kiwi as influenced by drying

- conditions. *Agricultural Engineering International: CIGR Journal*, 19(3), 203-212.
- Correia, S. I., & Canhoto, J. M. (2012). Biotechnology of tamarillo (*Cyphomandra betacea*): From in vitro cloning to genetic transformation. *Scientia Horticulturae*, 148, 161–168.
- Cui, Z. W., Li, C. Y., Song, C. F., & Song, Y. (2008). Combined microwave-vacuum and freeze drying of carrot and apple chips. *Drying Technology*, 26(12), 1517-1523.
- Cunningham, S. E., Mcminn, W. A. M., Magee, T. R. A., & Richardson, P. S. (2008). Experimental study of rehydration kinetics of potato cylinders. *Food and Bioproducts Processing*, 86(1), 15-24.
- Czerny, M., Christlbauer, M., Christlbauer, M., Fischer, A., Granvogl, M., Hammer, M., ... & Schieberle, P. (2008). Re-investigation on odour thresholds of key food aroma compounds and development of an aroma language based on odour qualities of defined aqueous odorant solutions. *European Food Research and Technology*, 228(2), 265-273.
- Darıcı, S., & Şen, S. (2015). Experimental investigation of convective drying kinetics of kiwi under different conditions. *Heat and Mass Transfer*, 51(8), 1167-1176.
- Dash, K. K., Gope, S., Sethi, A., & Doloi, M. (2013). Study on thin layer drying characteristics star fruit slices. *Int. J. Agric. Food Sci. Technol*, 4(7), 679-686.
- de Ancos, B., Sánchez-Moreno, C., Zacarías, L., Rodrigo, M. J., Sáyago-Ayerdí, S., Blancas Benítez, F. J., ... & González-Aguilar, G. A. (2018). Effects of two different drying methods (freeze-drying and hot air-drying) on the phenolic and carotenoid profile of ‘Ataulfo’ mango by-products. *Journal of Food Measurement and Characterization*, 12(3), 2145-2157.
- de Rosso, V. V., & Mercadante, A. Z. (2007). HPLC–PDA–MS/MS of anthocyanins and carotenoids from dovyalis and tamarillo fruits. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 55(22), 9135-9141.
- Deng, L-Z., Yang, X-H., Mujumdar, A. S., Zhao, J-H., Wang, D., Zhang, Q., Wang, J., Gao, Z-J., Xiao, H-W. (2018). Red pepper (*Capsicum annuum* L.) drying: Effects of different drying methods on drying kinetics, physicochemical properties, antioxidant capacity, and microstructure. *Drying Technology*, 36:8, 893-907. DOI: 10.1080/07373937.2017.1361439.
- Diep, T. T., Pook, C., & Yoo, M. J. Y. (2020a). Physicochemical properties and proximate composition of tamarillo (*Solanum betaceum* Cav.) fruits from New Zealand. *Journal of food composition and analysis*, 92, 103563.
- Diep, T., Pook, C., Yoo, M., Rush, E., Yoo, MJY. (2020b). Quantification of carotenoids, alpha-tocopherol, and ascorbic acid in Amber, Mulligan, and Laird’s Large cultivars of New Zealand tamarillos (*Solanum betaceum* Cav.). *Foods*, 9,6, 10.3390/foods9060769.
- Diep, T., Pook, C., Yoo, M.J.Y, (2020c). Phenolic and anthocyanin compounds and antioxidant activity of tamarillo (*Solanum betaceum* cav.). *Antioxidants*, 9 (2), 169.
- Diep, T., Yoo, M.J.Y., Pook, C., Sadooghy-Saraby, S., Gite, A., & Rush, E. (2021). Volatile components and preliminary antibacterial activity of tamarillo (*Solanum betaceum* Cav.). *Foods*, 10, 2212.

<https://doi.org/10.3390/foods10092212>.

- Diep, T.T., Rush, E.C., Yoo, M.J.Y. (2022a). Tamarillo (*Solanum betaceum* Cav.): A Review of physicochemical and bioactive properties and potential applications. *Food Reviews International*, 38:7, 1343-1367, DOI: 10.1080/87559129.2020.1804931
- Diep, T. T., Yoo, M. J. Y., & Rush, E. (2022b). Effect of in vitro gastrointestinal digestion on amino acids, polyphenols and antioxidant capacity of tamarillo yoghurts. *International journal of molecular sciences*, 23(5), 2526.
- Do Nascimento, G. E., Corso, C. R., de Paula Werner, M. F., Baggio, C. H., Iacomini, M., & Cordeiro, L. M. (2015). Structure of an arabinogalactan from the edible tropical fruit tamarillo (*Solanum betaceum*) and its antinociceptive activity. *Carbohydrate Polymers*, 116, 300-306.
- Donno, D., Beccaro, G.L., Mellano, M.G., Cerutti, A.K., & Bounous G. (2015). Goji berry fruit (*Lycium* spp.): antioxidant compound fingerprint and bioactivity evaluation. *Journal of Functional Foods*, 18B, 1070-1085.
- Doymaz, İ., & Karasu, S. (2018). Effect of air temperature on drying kinetics, colour changes and total phenolic content of sage leaves (*Salvia officinalis*). *Quality Assurance and Safety of Crops & Foods*, 10(3), 269-276.
- Duke, J.A. (1993). *Handbook of alternative cash crops*. CRC Press, Boca Raton, FL.
- El-Beltagy, A., Gamea, G. R., & Essa, A. A. (2007). Solar drying characteristics of strawberry. *Journal of Food Engineering*, 78(2), 456-464.
- Ergün, K., Çalışkan, G., & Dirim, S. N. (2016). Determination of the drying and rehydration kinetics of freeze dried kiwi (*Actinidia deliciosa*) slices. *Heat and Mass Transfer*, 52(12), 2697-2705.
- Espín, S., Gonzalez-Manzano, S., Taco, V., Poveda, C., Ayuda-Durán, B., Gonzalez-Paramas, A. M., & Santos-Buelga, C. (2016). Phenolic composition and antioxidant capacity of yellow and purple-red Ecuadorian cultivars of tree tomato (*Solanum betaceum* Cav.). *Food chemistry*, 194, 1073-1080.
- Fernandino, C. M., Nepomuceno, A. T., Fonseca, H. C., Bastos, R. A., & Lima, J. P. D. (2021). Propriedades físico-químicas da polpa de tamarillo (*Solanum betaceum*) e sua aplicabilidade na elaboração de sorvetes. *Brazilian Journal of Food Technology*, Campinas, 24, e2020090. <https://doi.org/10.1590/1981-6723.09020>.
- Gannasin, S. P., Adzahan, N. M., Hamzah, M. Y., Mustafa, S., & Muhammad, K. (2015a). Physicochemical properties of tamarillo (*Solanum betaceum* Cav.) hydrocolloid fractions. *Food Chemistry*, 182, 292-301.
- Gannasin, S. P., Mustafa, S., Adzahan, N. M., & Muhammad, K. (2015b). In vitro prebiotic activities of tamarillo (*Solanum betaceum* Cav.) hydrocolloids. *Journal of Functional Foods*, 19, 10-19.
- Gannasin, S. P., Adzahan, N. M., Mustafa, S., & Muhammad, K. (2016). Techno-functional properties and in vitro bile acid-binding capacities of tamarillo (*Solanum betaceum* Cav.) hydrocolloids. *Food Chemistry*, 196, 903-909.
- García, J.M., Prieto, L.J., Guevara, A., Malago, D., & Osorio, C., (2016). Chemical studies of yellow tamarillo (*Solanum betaceum* Cav.) fruit flavor by using a molecular sensory

- approach. *Molecules*, 21, 1729; doi:10.3390/molecules21121729.
- Gaware, T. J., Sutar, N., & Thorat, B. N. (2010). Drying of tomato using different methods: comparison of dehydration and rehydration kinetics. *Drying Technology*, 28(5), 651-658.
- Ghellam, M., & Koca, I. (2020). Modelling of rehydration kinetics of desert truffles (*Terfezia* spp.) dried by microwave oven. *Turkish Journal of Agriculture-Food Science and Technology*, 8(2), 407-415.
- Ghosal, M., Chhetri, P. K., Ghosh, M. K., & Mandal, P. (2013). Changes in antioxidant activity of *Cyphomandra betacea* (Cav.) Sendtn. fruits during maturation and senescence. *International Journal of Food Properties*, 16(7), 1552-1564.
- Giuffrida, D., Zoccali, M., Arigò, A., Cacciola, F., Osorio Roa, C., Dugo, P., et al. (2018). Comparison of different analytical techniques for the analysis of carotenoids in tamarillo (*Solanum betaceum* Cav.). *Archives of Biochemistry and Biophysics*, 646, 161–167.
- Goula, A. M., & Adamopoulos, K. G. (2009). Modeling the rehydration process of dried tomato. *Drying Technology*, 27(10), 1078-1088.
- 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.
- Guilherme, P. R., Pessatto, C. C., Zaika, W. R., Quast, E., Quast, L. B., Ormenese, R. D. C. S. C., & Raupp, D. D. S. (2012). Desenvolvimento de geleia de tamarillo contendo polpa integral. *Brazilian Journal of Food Technology*, 15, 141-149.
- Guiné, R. P., & Barroca, M. J. (2012). Effect of drying treatments on texture and color of vegetable (pumpkin and green pepper). *Food and Bioproducts Processing*, 90(1), 58-63.
- Günaydın, S., Sağlam, C., Çetin, N. (2022). Tarımsal ürünlerin kurutulmasında kullanılan kurutma yöntemleri. *Erciyes Tarım ve Hayvan Bilimleri Dergisi*, 30-45.
- Hassan, S. H., & Abu Bakar, M. F. (2013). Antioxidative and anticholinesterase activity of *Cyphomandra betacea* fruit. *The Scientific World Journal*, 2013.
- Hasan, M. U., Malik, A. U., Ali, S., Imtiaz, A., Munir, A., Amjad, W., & Anwar, R. (2019). Modern drying techniques in fruits and vegetables to overcome postharvest losses: A review. *Journal of Food Processing and Preservation*, 43(12), e14280. <https://doi.org/10.1111/jfpp.14280>
- Hawllader, M. N. A., Perera, C. O., Tian, M., & Yeo, K. L. (2006). Drying of guava and papaya: Impact of different drying methods, *Drying Technology*, 24:1, 77-87. DOI: 10.1080/07373930500538725.
- Hayat, K., Abbas, S., Hussain, S., Shahzad, S.A., Tahir, M.U. (2019). Effect of microwave and conventional oven heating on phenolic constituents, fatty acids, minerals and antioxidant potential of fennel seed. *Ind. Crops Prod.* 140, 111610.
- Henderson, S. M., & Pabis, S. (1961). Grain drying theory I: temperature effect on drying coefficient. *Journal of Agricultural Engineering Research*, 7, 85–89.
- Hernandez, G., & Moreno Alvarez, M.J. (2000). Effect of drying and citric acid on carotenoids degradation of tamarillo (*Cyphomandra betacea* Sendt). *Ciencia y*

- Hernández-Ortega, M., Kissangou, G., Necoechea-Mondragón, H., Sánchez-Pardo, M. E., & Ortiz-Moreno, A. (2013). Microwave dried carrot pomace as a source of fiber and carotenoids. *Food and Nutrition Sciences*. 4,2, ID 36982,10 pages DOI:10.4236/fns.2013.410135
- Hernández-Carrión, M., Hernando, I., & Quiles, A. (2014). High hydrostatic pressure treatment as an alternative to pasteurization to maintain bioactive compound content and texture in red sweet pepper. *Innovative Food Science & Emerging Technologies*, 26, 76-85.
- Hii, C. L., Law, C. L., & Cloke, M. (2009). Modeling using a new thin layer drying model and product quality of cocoa. *Journal of Food Engineering*. 90(2), 191-198.
- Izli, N. (2012). Bazı tarımsal ürünlerin mikrodalga konvektif kurutma yöntemiyle ince tabaka kurutma kuramına göre kurutulmasında kurutma parametrelerinin belirlenmesi. Uludağ Üniversitesi, Tarım makinaları anabilim dalı. Doktora tezi.
- Izli, G. (2017). Total phenolics, antioxidant capacity, colour and drying characteristics of date fruit dried with different methods. *Food Science and Technology (campinas)*, 37, 139-147.
- Izli, N., Izli, G., & Taskin, O. (2018). Impact of different drying methods on the drying kinetics, color, total phenolic content and antioxidant capacity of pineapple. *CyTA-Journal of Food*, 16:1, 213-221, DOI: 10.1080/19476337.2017.1381174
- Jeszka-Skowron, M., Zgoła-Grześkowiak, A., Stanisław, E., & Waśkiewicz, A. (2017). Potential health benefits and quality of dried fruits: Goji fruits, cranberries and raisins. *Food Chemistry*, 221, 228-236.
- Joshi, B. (2018). Preparation and storage stability evaluation of tamarillo sauce with varying storage temperature and packaging material (Doctoral dissertation). <http://202.45.146.37:8080/jspui/handle/123456789/97>.
- Karathanos, V. T. (1999). Determination of water content of dried fruits by drying kinetics. *Journal of Food Engineering*, 39(4), 337-344.
- Kahraman, O., Malvandi, A., Vargas, L., Feng, H. (2021). Drying characteristics and quality attributes of apple slices dried by a non-thermal ultrasonic contact drying method. *Ultrasonics Sonochemistry*, 73, 105510.
- Kaveh, M., Abbaspour-Gilandeh, Y., Chayjan, R. A., Taghinezhad, E., & Mohammadigol, R. (2018). Mass transfer, physical, and mechanical characteristics of terebinth fruit (*Pistacia atlantica* L.) under convective infrared microwave drying. *Heat and Mass Transfer*, 54(7), 1879-1899.
- Kılıç, F. (2022). Köpük ve konvektif kurutma yöntemleri ile elde edilen balkabağı (*Cucurbita moschata*) tozlarının bisküvi ve kek üretiminde kullanım olanaklarının araştırılması. Necmettin Erbakan Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, YL Tezi.110 sayfa.
- Kocayigit, F. (2010). Bazı sebzelerin kurutma karakteristiklerinin incelenmesi. Yüksek Lisans Tezi, Yıldız Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü.
- Koç, B., Eren, I., & Ertekin, F. K. (2008). Modelling bulk density, porosity and shrinkage of quince during drying: The effect of drying method. *Journal of Food Engineering*, 85(3), 340-349.

- Kou, M. C., Yen, J. H., Hong, J.T., Wang, C. L., Lin, C. W., & Wu, M. J. (2009). Cyphomandra betacea Sendt. phenolics protect LDL from oxidation and PC12 cells from oxidative stress. *LWT-Food Science and Technology*, 42(2), 458-463.
- Krokida, M. K., & Maroulis, Z. B. (1999). Effect of microwave drying on some quality properties of dehydrated products. *Drying Technology*, 17:3,449-466.
- Krokida, M. K., & Marinos-Kouris, D. (2003). Rehydration kinetics of dehydrated products. *Journal of Food Engineering*, 57(1), 1-7.
- Kumar, C.S., Sivakumar, M., & Ruckmani, K. (2016). Microwave-assisted extraction of polysaccharides from *Cyphomandra betacea* and its biological activities. *International Journal of Biological Macromolecules*, 92, 682–693.
- Lamas, C. Y., Urtasun, M. M., Giamminola, E. M., Pratta, G. R., Caruso, G. B., Morandini, M. N., & de Viana, M. L. (2022). Fruit and seed characterization of wild populations of a traditional Andean crop: *Solanum betaceum* Cav.(Solanaceae) in the Argentinian Yungas. *Genetic Resources and Crop Evolution*, 69(1), 231-244.
- Lotfabad, S.V., Mortazavi, S. A., & Yeganehzad, S. (2020). Study on the release and sensory perception of encapsulated d-limonene flavor in crystal rock candy using the time–intensity analysis and HS-GC/MS spectrometry. *Food Science & Nutrition*, 8(2), 933-941.
- Lee, J., Durst, R.W., & Wrolstad, R.E. (2005). Determination of total monomeric anthocyanin pigment content of fruit juices, beverages, natural colorants, and wines by the pH differential method: Collaborative study. *J. AOAC Int.*, 88, 1269–1278.
- Letizia, C. S., Cocchiara, J., Lalko, J., & Api, A. M. (2003). Fragrance material review on linalool. *Food and Chemical Toxicology*, 41(7), 943-964.
- Li, Z., Scott, K., Otter, D., Zhou, P., & Hemar, Y. (2018). Effect of temperature and pH on the properties of skim milk gels made from a tamariillo (*Cyphomandra betacea*) coagulant and rennet. *Journal of Dairy Science*, 101, 4869–4878.
- Li, H., Qin, D., Wu, Z., Sun, B., Sun, X., Huang, M., & Zheng, F. (2019). Characterization of key aroma compounds in Chinese Guojing sesame-flavor Baijiu by means of molecular sensory science. *Food Chem.* 284, 100–107.
- Li, N., & Li, W. (2021). Cytotoxicity and anti-inflammatory activity of tamarillo (*Solanum betaceum* Cav.) Peel extract in lipopolysaccharide stimulated raw 264.7 cells. *e-GiGi*, 9(1).
- Lim, T. (2013). *Solanum betaceum*. In *Edible Medicinal And Non-Medicinal Plants* (pp. 326-332): Springer.
- Lister, C., Morrison, S., Kerkhofs, N., Wright, K. (2005). The nutritional composition and health benefits of New Zealand tamarillos. *Crop Food Res Confidential Rep.*1281, 29.
- Liu, Q., Hamid, N., Liu, Y., Kam, R., Kantono, K., Wang, K., & Lu, J. (2022). Bioactive components and anticancer activities of spray-dried New Zealand tamarillo powder. *Molecules*, 27(9), 2687.
- Llerena S. W. M., Samaniego, I. R., Navarro Huidobro, M., Ortíz, J., & Angós, I. (2020). Effect of modified atmosphere packaging (MAP) in the antioxidant capacity of

- arázá (*Eugenia stipitata* McVaugh), naranjilla (*Solanum quitoense* Lam.), and tree tomato (*Solanum betaceum* Cav.) fruits from Ecuador. *Journal of Food Processing and Preservation*, 2020, 44 (10), e14757.
- Lokhande, S. M., Ranveer, R. C., & Sahoo, A. K. (2017). Effect of microwave drying on textural and sensorial properties of grape raisins. *International Journal of ChemTech Research*, 10(5), 938-947.
- Ma, Q., Bi, J., Yi, J., Wu, X., Li, X., & Zhao, Y. (2021). Stability of phenolic compounds and drying characteristics of apple peel as affected by three drying treatments. *Food Science and Human Wellness*, 10(2), 174-182.
- Macura, R., Michalczyk, M., Fiutak, G., & Maciejaszek, I. (2019). Effect of freeze-drying and air-drying on the content of carotenoids and anthocyanins in stored purple carrot. *Acta Scientiarum Polonorum Technologia Alimentaria*, 18(2), 135-142.
- Marques, L. G., Prado, M. M., & Freire, J. T. (2009). Rehydration characteristics of freeze-dried tropical fruits. *LWT-Food Science and Technology*, 42(7), 1232-1237.
- Márquez, C. A., De Michelis, A., & Giner, S. A. (2006). Drying kinetics of rose hip fruits (*Rosa eglanteria* L.). *Journal of Food Engineering*, 77(3), 566-574.
- Martinez-Giron, J. (2022). Ultrasound-assisted production of sweet pepper (*Capsicum annuum*) oleoresin and tree tomato (*Solanum betaceum* Cav.) juice: a potential source of bioactive compounds in margarine. *Biomass Conversion and Biorefinery*. <https://doi.org/10.1007/s13399-022-03195-5>.
- Martín-Gómez, J., Varo, M.Á., Mérida, J., Serratos, Marí.P. (2020). Influence of drying processes on anthocyanin profiles, total phenolic compounds and antioxidant activities of blueberry (*Vaccinium corymbosum*). *LWT- Food Science and Technology*. doi: doi.org/10.1016/j.lwt.2019.108931.
- Maskan M. (2001). Drying, shrinkage and rehydration characteristics of kiwi fruits during hot air and microwave drying. *Journal of Food Engineering*, 48:177-182.
- Mazandarani, Z., Mirsaeidghazi, N., Kaviani, M., & Shariati, M. A. (2014). Drying of agriculture products using hot air oven and microwave method. *Indian Journal of Research in Pharmacy and Biotechnology*, 2(6), 1522.
- Méndez, E. K., Manrique, D. L., Ocampo, J. C., Salazar, N. A., Vallejo, D., & Orrego, C. E. (2016). Effect of convective drying assisted by ultrasound on drying time and aroma of tamarillo and mango fruits. In *Proceedings of Meetings on Acoustics 22ICA* (28, 1, p. 045009). Acoustical Society of America.
- Méndez-Lagunas, L., Rodríguez-Ramírez, J., Cruz-Gracida, M., Sandoval-Torres, S., & Barriada-Bernal, G. (2017). Convective drying kinetics of strawberry (*Fragaria ananassa*): Effects on antioxidant activity, anthocyanins and total phenolic content. *Food chemistry*, 230, 174-181.
- Mengeş, H. O., Ertekin, C., & Aydın, C. (2005). Elma dilimlerinin konveksiyonla kurumasına uygun kuruma modelinin belirlenmesi. *Tarım Makinaları Bilimi Dergisi*, 1(3), 229-236.
- Mertz, C., Gancel, A. L., Gunata, Z., Alter, P., Dhuique-Mayer, C., Vaillant, F., ... & Brat, P. (2009). Phenolic compounds, carotenoids and antioxidant activity of three tropical fruits. *Journal of Food Composition and Analysis*, 22(5), 381-387.

- Mertz, C., Brat, P., Caris-Veyrat, C., & Gunata, Z. (2010). Characterization and thermal lability of carotenoids and vitamin C of tamarillo fruit (*Solanum betaceum* Cav.). *Food Chemistry*, 119(2), 653–659.
- Midilli, A., Kucuk, H., & Yapar, Z. (2002). A new model for single-layer drying. *Drying Technology*, 20, 1503-1513.
- Michailidis, P. A., & Krokida, M.K. (2015). Drying and dehydration processes in food preservation and processing. *Conventional and Advanced Food Processing Technologies*, First Edition. Edited by Suwendu Bhattacharya. John Wiley & Sons, Ltd.
- Moreno, M.A., Orqueda, M.E., Gómez-Mascaraque, L.G., Isla, M.I., & López-Rubio, A. (2019). Crosslinked electrospun zein-based food packaging coatings containing bioactive chilito fruit extracts. *Food Hydrocolloids*, 95, 496–505.
- Moreno, G. D. C., & Díaz-Moreno, A. C. (2017). Effect of air drying process on the physicochemical, antioxidant, and microstructural characteristics of tomato cv. Chonto. *Agronomía Colombiana*, 35(1), 100-106.
- Morton, J. F. (1987). Tree tomato. In J. F. Morton, C. F. Dowling, & N. C. Winterville (Eds.). *Fruits of warm climates* (pp. 437–440). Miami, FL: Distributed by Creative Resources Systems.
- Mubarak, A., Hamid, N., Kam, R., & Chan, H. (2019). The effects of spray drying conditions on the physical and bioactive properties of New Zealand Tamarillo (*Solanum betaceum*) powder. *Acta Scientific Nutritional Health*, 3(12), 121-131.
- Mujumdar, A. S., & Law, C.H. (2010). Drying technology: Trends and applications in postharvest processing. *Food Bioprocess Technology*, 3, 843-852.
- Muliarta, M., Tirtayasa, K., Prabawa, P. Y., & Wiryadana, K. A. (2020). Tamarillo consumption associated with increased acetylcholinesterase activity and improved oxidative stress markers in farmers exposed to daily pesticide-related activities in Baturiti, Bali, Indonesia. *Open Access Macedonian Journal of Medical Sciences*, 8(E), 244-250.
- Mutalib, M. A., Ali, F., Othman, F., Ramasamy, R., & Rahmat, A. (2016). Phenolics profile and anti-proliferative activity of *Cyphomandra betacea* fruit in breast and liver cancer cells. *SpringerPlus*, 5(1), 1-13.
- Mutalib, M. A., Rahmat, A., Ali, F., Othman, F., & Ramasamy, R. (2017). Nutritional compositions and antiproliferative activities of different solvent fractions from ethanol extract of *Cyphomandra betacea* (Tamarillo) fruit. *The Malaysian Journal of Medical Sciences: MJMS*, 24(5), 19.
- Mwithiga, G., Mukolwe, M. I., Shitanda, D., & Karanja, P. N. (2007). Evaluation of the effect of ripening on the sensory quality and properties of tamarillo (*Cyphomandra betacea*) fruits. *Journal of Food Engineering*, 79, 117–123.
- Naibaho, J., Julianti, E., & Yusraini, E. (2013). Storage of tamarillo in active packaging using oxygen, carbondioxide, moisture, and ethylene scavengers. *Journal Rekayasa Pangan dan Pertanian*, 1(3), 41-51.
- Noshad, M., Mohebbi, M., Shahidi, F. and Mortazavi, S. A. (2012). Kinetic modeling of rehydration in air-dried quinces pretreated with osmotic dehydration and ultrasonic. *Journal of Food Processing and Preservation*, 36(5), 383-392. doi: <https://doi.org/10.1111/j.1745-4549.2011.00593.x>

- Nuraeni, I., Proverawati, A., &Ulfa, A. (2019). Characteristics of tamarillo jelly drink using various sugar concentration and the proportion of papayas as a healthy drink for school children. *Ann Trop and Public Health*, 22(11), S356C.
- Ochoa, M. R., Kessler, A. G., Pirone, B. N., Márquez, C. A., & De Michelis, A. (2002). Shrinkage during convective drying of whole rose hip (*Rosa rubiginosa* L.) fruits. *LWT-Food Science and Technology*, 35(5), 400-406.
- Ohaco, E., Pirone, B. N., Ochoa, M. R., Kessler, A. G., Márquez, C. A., & De Michelis, A. (2005). Color retention and drying kinetic during convective dehydration of rosehip fruits (*Rosa eglandaria*). In *Publicado en Actas del ENPROMER*, Rio de Janeiro Brasil, Trabajo 0296.
- Olaya, C. M., Castaño, M. P., & Garzón, G. A. (2009). Stability of anthocyanins from *Rubus glaucus* and *Solanum betaceum* Cav. dark-red strain as affected by temperature, storage and water activity. *Acta Biológica Colombiana*, 14(3), 143-158.
- Onwude, D. I., Iranshahi, K., Rubinetti, D., Schudel, S., Schemminger, J., Martynenko, A., &Defraeye, T. (2022). How much do process parameters affect the residual quality attributes of dried fruits and vegetables for convective drying?. *Food and Bioproducts Processing*, 131, 176-190.
- Ordonez, R.M., Vattuone, M.A., Isl, M.I. (2005). Changes in carbohydrate content and related enzyme activity during *Cyphomandra betacea* (Cav.) Sendtn. fruit maturation. *Postharvest Biology and Technology*, 35, 293–301.
- Orikasa, T., Koide, S., Okamoto, S., Imaizumi, T., Muramatsu, Y., Takeda, J. I., ... & Tagawa, A. (2014). Impacts of hot air and vacuum drying on the quality attributes of kiwifruit slices. *Journal of Food Engineering*, 125, 51-58.
- Orqueda, M. E., Rivas, M., Zampini, I. C., Alberto, M. R., Torres, S., Cuello, S., ... & Isla, M. I. (2017). Chemical and functional characterization of seed, pulp and skin powder from chilito (*Solanum betaceum*), an Argentine native fruit. Phenolic fractions affect key enzymes involved in metabolic syndrome and oxidative stress. *Food Chemistry*, 216, 70-79.
- Orqueda, M.E., Torres, S., Zampini, I.C., Cattaneo, F., Di Pardo, A.F., Valle, E.M., Jimenez-Aspee, F., Schmeda-Hirschmann, G., & Isla, M.I. (2020). Integral use of Argentinean *Solanum betaceum* red fruits as functional food ingredient to prevent metabolic syndrome: effect of *in vitro* simulated gastroduodenal digestion. *Heliyon* 6 (2), e03387. <https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2020.e03387>.
- Orqueda, M. E., Torres, S., Veron, H., Perez, J., Rodriguez, F., Zampini, C., & Isla, M. (2021). Physicochemical, microbiological, functional and sensory properties of frozen pulp of orange and orange-red chilito (*Solanum betaceum* Cav.) fruits. *Scientia Horticulturae*, 276, 109736.
- Orqueda, M.E., Mendez, D.A.M., Martínez-Abad, A., Zampini, C., Torres, S., Isla, M.I., Lopez-Rubio, A., &Fabra, M.J. (2022). Feasibility of active biobased films produced using red chilito wastes to improve the protection of fresh salmon fillets via a circular economy approach. *Food Hydrocolloids*, 133, 107888.
- Osorio, C., Franco, M.S., Castaño, M.P. González-Miret, M. L., Heredia, F.J., & Morales, A.L. (2007). Colour and flavour changes during osmotic dehydration of fruits. *Innovative Food Science and Emerging Technologies*, 8(3), 353-359.

- Osorio, C., Hurtado, N., Dawid, C., Hofmann, T., Heredia-Mira, F. J., & Morales, A. L. (2012). Chemical characterisation of anthocyanins in tamarillo (*Solanum betaceum* Cav.) and Andes berry (*Rubus glaucus* Benth.) fruits. *Food Chemistry*, 132, 1915–1921.
- Page, G.E. (1949). Factors influencing the maximum rates of air drying shelled corn in thin layers. Purdue University: West Lafayette, IN, USA.
- Pangestu, O. O., Angelica, C., Kurniawan, J., Meindrawan, B., & Widyaningrum, D. (2021). Design formula and product of beverages made from tamarillo fruit (*Solanum betaceum*) and Job's tears (*Coix lacryma-jobi* L.) using Kano method. In *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*, 794, 1, p. 012139. IOP Publishing.
- Pantoja, L., Pinto, N. A. V. D., Lopes, C., Gandra, R., & Santos, A. S. D. (2009). Physical and physicochemical characterization of fruits of two varieties of tamarillo originated from the North of Minas Gerais. *Revista Brasileira de Fruticultura*, 31, 916-919.
- Pashazadeh, H., Zannou, O., & Koca, I. (2020). Modeling of drying and rehydration kinetics of *Rosa pimpinellifolia* fruits: Toward formulation and optimization of a new tea with high antioxidant properties. *Journal of Food Process Engineering*, 43(10), e13486.
- Pashazadeh, H., Zannou, O., & Koca, I. (2021). Modeling and optimization of drying conditions of dog rose for preparation of a functional tea. *Journal of Food Process Engineering*, 44(3), e13632.
- Pashazadeh, H. (2022). Farklı koşullarda kurutulmuş kara kuşburnu (*Rosa pimpinellifolia*) meyvesinin biyoaktif özellikleri. Ondokuz Mayıs Üniversitesi, Lisansüstü Eğitim Enstitüsü, Doktora tezi.
- Pathare, P. B., Opara, U. L., & Al-Said, F. A. J. (2013). Colour measurement and analysis in fresh and processed foods: a review. *Food and Bioprocess Technology*, 6(1), 36-60.
- Patras, A., Brunton, N. P., Tiwari, B. K., & Butler, F. (2011). Stability and degradation kinetics of bioactive compounds and colour in strawberry jam during storage. *Food and Bioprocess Technology*, 4(7), 1245-1252.
- Peleg, M. (1988). An Empirical model for the description of moisture sorption curves. *Journal of Food Science*, 53, 1216–1217.
- Pinzón, M. I., Villa, C. C., & Nieto, J. A. (2011). Color and flavor changes on the osmotic solution, used in the osmotic dehydration of tree tomato. *Biotechnología en el Sector Agropecuario y Agroindustrial*, 9(2), 121-129.
- Polatoğlu, B., & Beşe, A. V. (2017). Kızılcık meyvesinin (*Cornus mas.* L) konvektif kurutulması: kuruma kinetiği ve C vitamini bozulması. *Niğde Ömer Halisdemir Üniversitesi Mühendislik Bilimleri Dergisi*, 6(2), 406-414.
- Puspawati, G. A. K. D., Marsono, Y., & Armunanto, R. (2018). Inhibitory potency of Indonesian tamarillo (*Solanum betaceum* Cav) crude extract against α -glucosidase enzyme activity. *Current Research in Nutrition and Food Science Journal*, 6(2), 392-403.
- Radojčin, M., Pavkov, I., Bursać Kovačević, D., Putnik, P., Wiktor, A., Stamenković, Z., ... & Gere, A. (2021). Effect of selected drying methods and emerging drying

- intensification technologies on the quality of dried fruit: A Review. *Processes*, 9(1), 132. <https://doi.org/10.3390/pr9010132>.
- Raghavan, G.S.V., Rennie, T.J., Sunjka, P.S., Orsat, V., Phaphuangwittayakul, W., & Terdtoon, P. (2005). Overview of new techniques for drying biological materials with emphasis on energy aspects. *Brazilian Journal of Chemistry of Engineering*, 22(2):195–201.
- Rahman, M. S., & Perera, C. O. (2007). Drying and food preservation. In *Handbook of food preservation* (pp. 421-450). CRC Press.
- Ramakrishnan, Y., Adzahan, N. M., Yusof, Y. A., & Muhammad, K. (2018). Effect of wall materials on the spray drying efficiency, powder properties and stability of bioactive compounds in tamarillo juice microencapsulation. *Powder Technology*, 328, 406–414.
- Rayaguru, K., & Routray, W. (2012). Mathematical modeling of thin layer drying kinetics of stone apple slices. *International Food Research Journal*, 19(4).
- Regnell, C. J. (1976). The analytical methods of processed fruit and vegetable. Publication of Food Control Education and Research Institute of Bursa, 2, 156-160.
- Reyes-García, V., Totosa, A., Pérez-Chabela, L., Juárez, Z. N., Cardoso-Ugarte, G. A., & Pérez-Armendáriz, B. (2021). Exploration of the potential bioactive molecules of tamarillo (*Cyphomandra betacea*): Antioxidant properties and prebiotic index. *Applied Sciences*, 11(23), 11322.
- Robert, P., & Fredes, C. (2015). The encapsulation of anthocyanins from berry-type fruits. *Trends in Foods. Molecules*, 20, 5875-5888. <https://doi.org/10.3390/molecules20045875>
- Rodriguez-Amaya, D. B., Bobbio P. A., & Bobbio, F. O. (1983). Carotenoid composition and vitamin A value of the Brazilian fruit *Cyphomandra betacea*. *Food Chemistry*, 12, 61-65.
- Roger, A., Juan, M., William, M., Anne, V. (2007). Chemical and organoleptic characterization of wine from tree tomato *Cyphomandra betacea* (Cav.) Sendth. *Proceedings of the ISTH for Tropical Horticulture*, 51, 163-166.
- Rohilla, S., & Mahanta, C. L. (2021). Optimization of extraction conditions for ultrasound-assisted extraction of phenolic compounds from tamarillo fruit (*Solanum betaceum*) using response surface methodology. *Journal of Food Measurement and Characterization*, 15:1763–1773.
- Rohilla, S., & Mahanta, C. L. (2022). Foam mat dried tamarillo powder: Effect of foaming agents on drying kinetics, physicochemical and phytochemical properties. *Journal of Food Processing and Preservation*, e17164.
- Rohilla, S., Chutia, H., Marboh, V., & Mahanta, C. L. (2022). Ultrasound and supercritical fluid extraction of phytochemicals from purple tamarillo: Optimization, comparison, kinetics, and thermodynamics studies. *Applied Food Research*, 2(2), 100210.
- Sacilik, K. (2007). The thin-layer modelling of tomato drying process. *Agriculturae Conspectus Scientificus*, 72(4), 343-349.
- Safitri, I., Hidayati, H.B., Turchan, A., & Khaerunnisa, S. (2019). *Solanum betaceum* improves cognitive function by decreasing n-methyl-d-aspartate on alzheimer rats model. *Int J App*

- Sagar, V.R., & Kumar, P.S. (2010). Recent advances in drying and dehydration of fruits and vegetables: a review. *Journal of Food Science and Technology*, 47: 15-26.
- Saguy, I.S., Marabi, A., & Wallach, R. (2005). New approach to model rehydration of dry food particulates utilizing principles of liquid transport in porous media. *Trends Food Sci. Technol.*, 16, 495–506.
- Salazar, D. M., Rodriguez-Maecker, R., Valencia, A. F., Amancha, P., Robalino, D. R., Manay, P., & Rodriguez, C. A. (2018). Physicochemical, microbiological and sensory evaluation of rabbit meatballs marinated in tamarillo juice (*Solanum betaceum*). *CICABI 2018*, 84.
- Salsabila, S. A., & Sudiono, J. (2022). Anti-inflammatory effect of tamarillo peel extract on il-6 rat post carrageenin induction. *Jurnal Biomedika dan Kesehatan*. 5, 2: 75 - 81.
- Samoticha, J., Wojdyło, A., & Lech, K. (2016). The influence of different the drying methods on chemical composition and antioxidant activity in chokeberries. *LWT-Food Science and Technology*, 66, 484-489.
- Santander, M.M., Osorio, M.O., & Mejia-Espana, D. (2017). Antioxidant and physicochemical properties evaluation of a mixed beverage during refrigerated stored. *Revista de CienciasAgrícolas*, 34 (1): 84-97.
- Santos, P.H.S., & Silva, M. A. (2008). Retention of vitamin C in drying processes of fruits and vegetables-A review. *Drying Technology*, 26: 1421-1437.
- Sarthak, A., Viridi, I. K., Singh, S. V., Ankan, K., Subhamoy, D., Rajat, S., ... & Patel, A. (2021). Roasting of black rice (*Oryza Sativa* L.): change in physico-functional, thermo-pasting, antioxidant and anthocyanin content. *Journal of Food Measurement & Characterization*, 15(3), 2240-2250.
- Seol, G. H., & Kim, K. Y. (2016). Eucalyptol and its role in chronic diseases. *Drug discovery from mother nature*, In *Advances in Experimental Medicine and Biology*, 389-398.
- Setyowati, E. P., Puspitasari, A., Afini, D. I., Nasution, F. H., & Nafingah, R. (2019). Influence of some extraction conditions factor on phenolic content and antioxidant activity of *Solanum betaceum* Cav. *Trad. Med. J.*, 24(3), 216-224.
- Sharaf-Eldeen, Y.I., Blaisdell, J.L., & Hamdy, M.Y. A (1980). Model for Ear Corn Drying. *Trans. ASAE*, 23, 1261–1271.
- Silva, B.M., Casal, S., Andrade, P.B., Seabra, R.M., Oliveira, M.B.P., & Ferreira, M.A., (2004). Free amino acid composition of quince (*Cydonia oblonga* Miller) fruit (pulp and peel) and jam. *J. Agric. Food Chem.* 52 (5), 1201–1206.
- Simal, S., Femenia, A., Garau, M. C., & Rosselló, C. (2005). Use of exponential, Page's and diffusional models to simulate the drying kinetics of kiwi fruit. *Journal of Food Engineering*, 66(3), 323-328.
- Simbolon, J. L., & Sitompul, E. S. (2021). Tamarillo juice (*Solanum betaceum* Cav.) as an alternative to increase hemoglobin levels for pregnant women with anemia. *Babali Nursing Research*, 2(3), 106-119.
- Singleton, V. L., Orthofer, R., & Lamuela-Raventós, R. M. (1999). Analysis of total phenols and other oxidation substrates and antioxidants by means of Folin-

- Ciocalteu reagent. In *Methods in enzymology*, 299, pp. 152-178. Academic press.
- Soysal, Y., Öztekin, S., & Eren, Ö. (2006). Microwave drying of parsley: modelling, kinetics, and energy aspects. *Biosystems Engineering*, 93(4), 403-413.
- Stephen, D., Antony, K. J., Munusamy, P. M., & Deivanayagame, T. (2022). Impact of drying methods on the quality of bioactive components in tree tomato (*Cyphomandra betacea*). *Trends in Sciences*, 19(2), 2060-2060.
- Suárez-Montenegro, Z. J., Ballesteros-Vivas, D., Gallego, R., Valdés, A., Sánchez-Martínez, J. D., Parada-Alfonso, F., ... & Cifuentes, A. (2021). Neuroprotective potential of tamarillo (*Cyphomandra betacea*) epicarp extracts obtained by sustainable extraction process. *Frontiers in nutrition*, 8.
- Suganya, A., & Kalpana, C. A. (2022). Nutrient retention and antioxidant activity of preserved foods of tamarillo (*Cyphomandra betacea*). *J. Food Nutrition Science* 2022; 11:111-116.
- Thamburaj, S., Rajagopal, V., Palanivel, R., & Pugazhendhi, S. (2022). Effect of different drying treatments on total polyphenolics content and in-vitro biological properties of *Ficus benghalensis* fruit: A comparative study. *Biocatalysis and Agricultural Biotechnology*, 39, 10224
- Therdthai, N., Zhou, W., Pattanapa, K. (2011) Microwave vacuum drying of osmotically dehydrated mandarin cv. (Sai-Namphaung). *Int J ood Sci Technol* 46:2401–2407
- Tian, Y., Wu, S., Zhao, Y., Zhang, Q., Huang, J., Zheng, B. (2015). Drying characteristics and processing parameters for microwave-vacuum drying of kiwifruit (*Actinidia deliciosa*) Slices. *Journal of Food Processing and Preservation*, 39,6, 2620-2629.
- Toraman, S. (2015). Siklon tipi bir kurutucuda zencefilin kuruma davranışının araştırılması. Yüksek lisans tezi. Fırat Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü.
- Torrado, A., Suárez, M., Duque, C., Krajewski, D., Neugebauer, W., Schreier, P. (1995), Volatile constituents from tamarillo (*Cyphomandra betacea* Sendtn.) fruit. *Flavour Fragr. J.*, 10: 349-354. <https://doi.org/10.1002/ffj.2730100603>
- Torres, A. (2012). Physical, chemical and bioactive compounds of tree tomato (*Cyphomandra betacea*). *Archivos Latinoamericanos de Nutrición*, 62(4), 381-388.
- Udomkun, P., Nagle, M., Argyropoulos, D., Mahayothee, B., & Müller, J. (2016). Multi-sensor approach to improve optical monitoring of papaya shrinkage during drying. *Journal of Food Engineering*, 189, 82-89.
- Valente, A., Albuquerque, T. G., Sanches-Silva, A., & Costa, H. S. (2011). Ascorbic acid content in exotic fruits: A contribution to produce quality data for food composition databases. *Food Research International*, 44(7), 2237-2242.
- Vargas, L., Kapoor, R., Nemzer, B., & Feng, H. (2022). Application of different drying methods for evaluation of phytochemical content and physical properties of broccoli, kale, and spinach. *LWT*, 155, 112892.
- Vasco, C., Avila, J., Ruales, J., Svanberg, U., & Kamal-Eldin, A. (2009). Physical and chemical characteristics of golden-yellow and purple-red varieties of tamarillo fruit (*Solanum betaceum* Cav.). *Int. J. Food Sci. Nutr.* 60 (sup7), 278–288.
- Vega-Galvez, A., Notte-Cuello, E., Lemus-Mondaca, R., Zura, L., & Miranda, M. (2009). Mathematical modelling of mass transfer during rehydration process of Aloe vera (*Aloe barbadensis* Miller). *Food Bioprod. Process.* 87, 254–260.

- Verma, K., & Verma, R. (2021). Tree tomato value-added products and their sensory evaluation. *The Pharma Innovation Journal*, 10(12): 542-545.
- Viera, W., Samaniego, I., Camacho, D., Habibi, N., Ron, L., Sediqui, N., ... & Brito, B. (2022). Phytochemical characterization of a tree tomato (*Solanum betaceum* Cav.) breeding population grown in the inter-Andean valley of Ecuador. *Plants*, 11(3), 268.
- Villa, C. C., Nieto, J. A., & Pinzon, M. I. (2009). Compositional and microbiological changes associated with successive osmodehydration cycles of tree tomato. *Biotechnología en el Sector Agropecuario y Agroindustrial*, 7(1), 29-35.
- Villegas-Ruiz, X., Rodríguez-Armas, D.N., Guerrero-Beltrán, J., & Bárcenas-Pozos, M. (2013). Stability of a sweet product of tamarillo preserved by combined methods. *Scientia Agropecuaria*, 4(2):89-100.
- Wang, J., Law, C. L., Nema, P. K., Zhao, J. H., Liu, Z. L., Deng, L. Z., ... & Xiao, H. W. (2018). Pulsed vacuum drying enhances drying kinetics and quality of lemon slices. *Journal of Food Engineering*, 224, 129-138.
- Wang, J.H. & Singh, T.J. (1978). A single layer drying equation for rough rice. ASAE Paper No: 78-3001, ASAE, St. Joseph, MI
- Wang, S., & Zhu, F. (2020). Tamarillo (*Solanum betaceum*): Chemical composition, biological properties, and product innovation. *Trends in Food Science & Technology*, 95, 45-58.
- Wong, K. C., & Wong, S. N. (1997). Volatile constituents of *Cyphomandra betacea* Sendtn. fruit. *Journal of Essential Oil Research*, 9(3), 357-359.
- Wrolstad, R. E., & Heatherbell, D. A. (1974). Identification of anthocyanins and distribution of flavonoids in tamarillo fruit (*Cyphomandra betacea* (Cav.) Sendt.). *Journal of the Science of Food and Agriculture*, 25(10), 1221-1228.
- Yang, J., Chen, J-F., Zhao, Y.Y., Mao, L.C. (2010). Effects of drying processes on the antioxidant properties in sweet potatoes. *Agricultural Sciences in China*, 9, 1522-1529.
- Zannou, O., Koca, I., Aldawoud, T., & Galanakis, C.M. (2020). Recovery and stabilization of anthocyanins and phenolic antioxidants of roselle (*Hibiscus sabdariffa* L.) with hydrophilic deep eutectic solvents. *Molecules*, 25, 3715.
- Zarein, M., Samadi, S.H., & Ghobadian, B. (2013). Investigation of microwave dryer effect on energy efficiency during drying of apple slices. *J Saudi Soc Agric Sci*. 14, 1, 41-47.
- Zhishen, J., Mengcheng, T., & Jianming, W. (1999). The determination of flavonoid contents in mulberry and their scavenging effects on superoxide radicals. *Food Chemistry*, 64, 555-559.
- Zielinska, M., & Markowski, M. (2016). The influence of microwave-assisted drying techniques on the rehydration behavior of blueberries (*Vaccinium corymbosum* L.). *Food Chemistry*, 196, 1188-1196.

ÖZGEÇMİŞ

Groupe Scolaire Saint Aloys, RWAMAGANA-RWANDA, Lisesi'ni bitirdikten sonra Higher Institute of Agriculture and Animal Husbandry (ISAE-BUSOGO-RWANDA), Tarım ve kırsal kalkınma Fakültesi, Gıda Bilimi ve teknolojisi bölümünden 23.08.2013 tarihinde mezun oldu. 2015 yılında OMÜ Gıda Mühendisliği anabilim dalında Yüksek lisans eğitimine başladı ve 28/07/2017'de tamamladı. 2017 yılında OMÜ Gıda Mühendisliği anabilim dalında doktora eğitimine başladı.

İletişim Bilgileri

ORCID ID: <https://orcid.org/0000-0002-1348-1080>

Yayınlar:

1. Ndisanze, M. A., & Koca, I. (2022). Dehydration and rehydration kinetics modeling in the phytochemical, aroma, and antioxidant capacity of tree tomato fruit dried with microwaves and freeze driers: a comparative study. *Processes*, 10(8), 1437. <https://doi.org/10.3390/pr10081437>
2. NDISANZE, M. A., & Koca, I. (2022). Modelling, phytochemical, aroma and antioxidant capacity of tamarillo fruits dried with convective oven equipped with programmable logical control (PLC) at different temperatures: a comparative study. *Journal of Food Measurement and Characterization*, 1-17. <https://doi.org/10.1007/s11694-022-01713-7>
3. Ndisanze MA, Çon AH (2018). The effect of different drying methods on antioxidant and antimicrobial properties of stinging nettles (*Urticadioica*), Umuravumba (*İbozariparia*), Celery (*Apiumgraveolens*), Red Onions (*Allium Cepa*) and Ginger (*Zingiber officinale*). *Acad. J. Med. Plants*. 7(3): 072-081 DOI: 10.15413/ajmp.2018.0193
4. Jean Claude Dusabumuremyi, Prince Rubona, Marc Antoine Ndisanze (2021). Effect of storage temperature on physicalchemical and microbiological characteristics of beetroot juice. *NES Scientific Journal* |Vol 1|issue 1|2021. Mansa STM Publishers. doi: 10.32677/ISJ. 2021.v01. i01.005
5. Antoine, N. M., Emmanuel, K., Claudine, N. (2022). Assessment of the Pesticides Utilization and the Pesticide Residues Presence in Fresh and Tomato Products for the Tomato Supply Chain in Rwanda. *Food and Nutrition Sciences*, 13(12), 963-972.

Kazanılan Ödüller, Teşvikler ve Burslar

1. Principal investigator (PI): Project Title: Integration of Potato Late Blight Forecast Warning System into The Meteo Rwanda Platform for Potato Farmers in Rwanda, GRANT NUMBER: NCST-NRIF_IDRC/SSR-AGR/004/2022, PROGRAMME: SECTOR STRATEGIC RESEARCH GRANT
2. Principal investigator (PI): Assessment of Pesticides Residues in Fresh Tomatoes Supply Chain in Rwanda, NCST/RWANDA EXCELLENCE RESEARCH GRANT.