ÖN İŞLEMLERİN KIRMIZI PANCAR (*Beta vulgaris* L.) PESTİLİNİN KURUTMA KİNETİĞİ VE KALİTE PARAMETRELERİ ÜZERİNDEKİ ETKİLERİNİN ARAŞTIRILMASI

Neslihan ERSOYAK

T.C.
BURSA ULUDAĞ ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

ÖN İŞLEMLERİN KIRMIZI PANCAR (*Beta vulgaris L.*) PESTİLİNİN KURUTMA KİNETİĞİ VE KALİTE PARAMETRELERİ ÜZERİNDEKİ ETKİLERİNİN ARAŞTIRILMASI

Neslihan ERSOYAK
0000-0003-3787-4759

Doç. Dr. Perihan YOLCI ÖMEROĞLU
(Danışman)

YÜKSEK LİSANS
GIDA MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI

BURSA – 2024
Her Hakkı Saklıdır

ÖZET
Yüksek Lisans Tezi

ÖN İŞLEMLERİN KIRMIZI PANCAR (*Beta vulgaris* L.*)* PESTİLİNİN KURUTMA KİNETİĞİ VE KALİTE PARAMETRELERİ ÜZERİNDEKİ ETKİLERİNİN ARAŞTIRILMASI

Neslihan ERSOYAK

Bursa Uludağ Üniversitesi
Fen Bilimleri Enstitüsü
Gıda Mühendisliği Anabilim Dalı

Danışman: Doç. Dr. Perihan YOLCI ÖMEROĞLU

Üretildiği meyve ve sebzelerin, zengin biyoaktif bileşenleri içermesi, pestillerin fonksiyonel atıştırmalık olarak tüketilmesini cazip kılmaktadır Koyu kırmızı bir kök sebzesi olan pancar (*Beta vulgaris* L.), sağlık üzerindeki olumlu etkileri ve zengin besin içeriği ile son yıllarda bilim dünyasının dikkatini çekmiştir. Bu tezin amacı, fonksiyonel bir atıştırmalık olarak kırmızı pancar pestili formülasyonunu optimize etmek ve mikrodalga ve termosonifikasyon ön işlemlerinin pestilin kurutma kinetiği ve kalitesi üzerindeki etkilerini araştırmaktır. Geleneksel haşlama ön işlemine alternatif olarak kullanılan termosonifikasyon ve mikrodalga ön işleminin toplam ısıl işlem süresini kısalttığı ve kuruma hızında artış sağladığı gözlenmiştir. Lewis, Two Term, Page, Modifiye Page ve Wang ve Singh modelleri, kuruma karakteristiklerini tanımlayan en uygun modeller olarak belirlenmiştir. Efektif nem difüzyon katsayıları $8{,}91 \times 10^{-8}$-$1{,}14 \times 10^{-7}$ (m^2/s) olarak hesaplanmıştır. Duyusal analizler sonucunda tüm pestillerin genel anlamda panelistler tarafından beğenildiği sonucuna varılmıştır. Pestillerde epikateşin, rutin, izokuersitrin, taksifolin, kuersetini içeren beş adet flavonoid ve klorojenik asit, ferulik asit, kafeik asit, o-salisilik asit, p-kumarik asit, vanilini içeren altı adet fenolik asit tanımlanmıştır. Toplam flavonoid madde ve fenolik madde içeriği 128,19-517,46 mg RE/100 g KM ve 76,26±2,37 - 313,17±10,63 mg GAE/100 g KM aralığında bulunmuştur. Betalain pigmentleri açısından, ön işlemler betaksantin ve betasiyanin miktarını önemli ölçüde artırmış, termosonikasyon ve mikrodalga işlemleri ise betalain stabilitesini desteklemiştir. Pestillerin Ca, K, Na, P ve Mg gibi mineraller bakımından zengin olduğu ve ayrıca Zn, Fe, Mn gibi elementleri içerdiği tespit edilmiştir. Kırmızı pancar pestili üretiminde uygulanan ön işlem koşullarının mineral ve bioaktif bileşen içeriklerini önemli ölçüde etkilediği belirlenmiş olup, pestilin besin değeri açısından optimize edilmiş üretim koşullarının önemini ortaya koymuştur.

Anahtar Kelimeler: Kırmızı pancar, pestil, kurutma kinetiği, ultrasonikasyon, mikrodalga
2024, viii + 141 sayfa.

ABSTRACT
MSc Thesis

INVESTIGATION OF THE EFFECTS OF PRETREATMENTS ON DRYING KINETICS AND QUALITY PARAMETERS OF RED BEETROOT (*Beta Vulgaris* L.) PESTILS

Neslihan ERSOYAK

Bursa Uludağ University
Graduate School of Natural and Applied Sciences
Department of Food Engineering

Supervisor: Assoc. Prof. Dr. Perihan YOLCI ÖMEROĞLU

The rich bioactive components of the fruits and vegetables from which it is produced make leathers (pestil) attractive to be consumed as functional snacks. Beetroot (Beta vulgaris L.), a dark red root vegetable, has attracted the attention of the scientific world in recent years with its positive effects on health and rich nutritional content. The aim of this study is to optimize the formulation of red beet pestil as a functional snack and to investigate the effects of microwave and thermosonication pre-treatments on its drying kinetics and final quality. It was observed that thermosonication and microwave pre-treatment, which are used as alternatives to traditional boiling pre-treatment, shortened the total heat treatment time and increased the drying speed. Lewis, Two Term, Page, Modified Page and Wang and Singh models were determined as the most suitable models describing the drying characteristics. Effective moisture diffusion coefficients were calculated as $8{,}91x10^{-8}$-$1{,}14x10^{-7}$ (m^2/s). As a result of sensory analysis, it was concluded that all pestils were generally accepted by the panelists. Five flavonoids including epicatechin, rutin, isoquercitrin, taxifolin, quercetin and six phenolic acids including chlorogenic acid, ferulic acid, caffeic acid, o-salicylic acid, p-coumaric acid and vanillin were identified in the fruit pulps. Total flavonoid and phenolic substance contents were found in the range of 128,19-517,46 mg RE/100 g DM and 76,26±2,37 – 313,17±10,63 mg GAE/100 g DM. In terms of betalain pigments, pre-treatments significantly increased the amounts of betaxanthin and betacyanin while thermosonication and microwave treatments supported the stability of betalain. It was found that the fruit pulps were rich in minerals such as Ca, K, Na, P and Mg and also contained elements such as Zn, Fe, Mn. It has been determined that the pre-treatment conditions applied in the production of red beet pulp significantly affect the mineral and bioactive component contents, revealing the importance of optimized production conditions in terms of nutritional value of the pestil.

Key words: Red beetroot, pestil, drying kinetics, ultrasonication, microwave
2024, viii + 141 pages.

TEŞEKKÜR

Yükseköğrenim sürecim boyunca desteğini hiçbir zaman esirgemeyen, tüm süreç boyunca tecrübeleri ve bilgileri ile yol gösteren, her daim yanımda olduğunu hissettiren danışmanım Doç. Dr. Perihan YOLCI ÖMEROĞLU'na sonsuz saygı ve teşekkürlerimi sunarım.

Yüksek lisans eğitimim boyunca ilgi ve desteklerini esirgemeyen çok kıymetli bölüm başkanımız Prof. Dr. Ömer Utku ÇOPUR'a ve sevgili hocalarım Doç. Dr. Arzu AKPINAR BAYİZİT'a,

Yüksek Lisans tez savunmasında jüri üyeliği yaparak tez çalışmama yol gösteren, öneri ve tavsiyeleri ile destek olan Doç. Dr. Senem KAMİLOĞLU BEŞTEPE'ye ve Doç. Dr. Gamze TOYDEMİR ŞEN'e,

Tez çalışmalarım süresince destek veren başta Araş. Gör. Dr. Ertürk BEKAR'a, Araş. Gör. Taha Turgut ÜNAL'a, Gıda Yüksek Mühendisi Elif KOÇ ALİBAŞOĞLU'na ve YÖK 100/2000 doktora bursiyeri Büşra ACOĞLU ÇELİK'e, doktora öğrencisi Ersin YETAN'a ve tüm B.U.Ü. Bilim ve Teknoloji Uygulama ve Araştırma Merkezi paydaşlarına teşekkürlerimi sunarım.

Tezimi FYL-2023-1225 proje kodu ile destekleyen Bursa Uludağ Üniversitesi Bilimsel Araştırmalar Birimi (BAP)'ne teşekkürlerimi sunarım.
.

Neslihan ERSOYAK
05/08/2024

İÇİNDEKİLER

Sayfa

ÖZET i
ABSTRACT ii
TEŞEKKÜR iii
SİMGELER ve KISALTMALAR DİZİNİ vi
ŞEKİLLER DİZİNİ vii
ÇİZELGELER DİZİNİ viii
1. GİRİŞ 1
2. KURAMSAL TEMELLER ve KAYNAK ARAŞTIRMASI 4
2.1. Kırmızı Pancar 4
2.1.1. Betalainin moleküler ve kimyasal yapısı 8
2.2. Pestil 10
2.2.1. Pestil üretimi, üretim sırasında kullanılan tatlandırıcılar ve kıvam artırıcılar 11
2.2.2. Pestil ile ilgili çalışmalar 14
2.3. Kurutma 18
2.3.1. Kurutma mekanizması 18
2.3.2 İnce tabaka kurutma kuramı ve modelleri 20
2.3.3. Kurutma teknolojileri 24
2.4. Ön İşlemler 29
2.4.1 Ultrasonikasyon (US) 29
2.4.2 Mikrodalga (MW) 32
2.4.3 Soğuk Plazma (CP) 33
2.4.4 Darbeli elektrik alan (PEF) 33
2.4.5 Yenilebilir film kaplama (EFC) 34
2.4.6 Yüksek nemli sıcak hava çarpması ile haşlama (HHAIB) 35
2.4.7 Kızılötesi haşlama (IRB) 36
3. MATERYAL ve YÖNTEM 37
3.1. Pestil üretiminde kullanılan hammaddeler ve cihazlar 37
3.1.1. Hammade 37
3.1.2. Ultrases cihazı 37
3.1.3. Mikrodalga cihazı 39
3.1.4. Sıcak havalı kabin tipi kurutucu 39
3.2. Pestil Üretimi 40
3.2.1. Fiziksel işlemler 42
3.2.2. Kurutma işlemi öncesi ön işlemler 42
3.3. Kurutma işlemi 44
3.4. Pestillerin kurutma karakteristiklerinin belirlenmesi 45
3.4.1. Nem içeriğinin hesaplanması 45
3.4.2. Kuruma hızının hesaplanması 46
3.4.3. Nem oranının hesaplanması 46
3.4.4. Kuruma eğrilerinin matematiksel modellere uyarlanması 47
3.4.5. Efektif nem difüzyon katsayısının hesaplanması 48
3.5. Fizikokimyasal analizler 49
3.5.1. Renk tayini 49
3.5.2. Nem tayini 50

3.5.3. Briks (suda çözünür kuru madde) tayini 50
3.6. Duyusal analiz 51
3.7. Toplam antioksidan kapasite, toplam fenolik ve toplam flavonoid madde tayini ... 53
3.7.1. Ekstraksiyon aşaması 54
3.7.2. Toplam antioksidan kapasite tayini (TAK) 54
3.7.3 Toplam fenolik madde tayini (TFM) 56
3.7.4 Toplam flavonoid madde tayini (TFLM) 57
3.8 Toplam betalain miktarı tayini 58
3.9. Hidroksimetilfurfural (HMF) tayini 58
3.10. Fenolik bileşenlerin karakterizasyonu 60
3.11. Element analizi 63
3.12. İstatistiksel analiz 64
4. BULGULAR ve TARTIŞMA 65
4.1. Kırmızı pancar pestilinin kurutma karakteristiği 65
4.1.1. Nem içeriği değişimi 65
4.1.2. Kuruma hızı değişimi 69
4.1.3. Kuruma eğrilerinin matematiksel modellere uyarlanması 71
4.1.4. Efektif nem difüzyon katsayısı (D_{eff}) değerleri 75
4.2. Kırmızı pancar pestili üretiminde toplam ısıl işlem sürelerinin karşılaştırılması 77
4.3. Fizikokimyasal analiz sonuçları 78
4.3.1. Nem tayini 78
4.3.2. Renk tayini 79
4.4. Duyusal analiz sonuçları 80
4.5. Toplam antioksidan kapasite (TAK), toplam fenolik (TFM) ve toplam flavonoid madde (TFLM) analiz sonuçları 82
4.5.1. Toplam antioksidan kapasite (TAK) sonuçları 82
4.5.2. Toplam fenolik madde sonuçları (TFM) 86
4.5.3. Toplam flavonoid analiz sonuçları (TFLM) 89
4.6. Toplam betalain analiz sonuçları 91
4.7. UPLC-ESI-MS/MS ile polifenollerin karakterizasyonu 94
4.7.1. Flavonoidler 95
4.7.2 Fenolik asitler ve diğer polifenoller 97
4.7.3. Korelasyon katsayısı 99
4.8. Hidroksimetilfurfural (HMF) analiz sonuçları 101
4.9. Mineral madde analiz sonuçları 103
4.10. Temel bileşen analizi 107
5. SONUÇ 112
KAYNAKLAR 114
EKLER 114
EK 1. HMF kalibrasyonu 137
EK 2. Kırmızı pancar pestilinde tespit edilen fenolik bileşenlere ait kromatogram 138
EK 3. Klorojenik asit standardına ait kalibrasyon eğrisi 139
EK 4. Potasyum kalibrasyon eğrisi 140
ÖZGEÇMİŞ 141

SİMGELER ve KISALTMALAR DİZİNİ

Simgeler	**Açıklama**
%	Yüzde
°C	Santigrat derece
µg	Mikrogram
µL	Mikrolitre
g	Gram
mg	Miligram
Bx	Brix

Kısaltmalar	**Açıklama**
CUPRAC	Bakır (II) iyonu indirgeyici antioksidan kapasite
DPPH	2,2-difenil-1-pikrilhidrazil
TFM	Toplam fenolik madde
TFLM	Toplam flavonoid madde
GAE	Gallik asit eşdeğeri
HMF	Hidroksimetilfurfural
HPLC	Yüksek performanslı sıvı kromatografi
pH	Asitlik veya bazlık derecesini gösteren ölçü birimi
RE	Rutin eşdeğeri
TE	Troloks eşdeğeri
TEAC	Troloks eşdeğeri antioksidan kapasite
TSE	Türk Standartları Enstitüsü
US	Ultrasonikasyon

ŞEKİLLER DİZİNİ

		Sayfa
Şekil 2.1.	Gıda ürünlerinin kuruma eğrisi	20
Şekil 3.1.	Ultrases cihazı	37
Şekil 3.2.	Ultrasonikasyona hazırlık ve ultrasonik banyo	38
Şekil 3.3.	Mikrodalga fırını genel görünümü	39
Şekil 3.4.	Sıcak havalı kabin tipi kurutucunun genel görünüşü	40
Şekil 3.5.	Pestil üretim akış şeması	41
Şekil 3.6.	Kurutulmuş pestil örnekleri	46
Şekil 3.7.	CR-5 Konika Minolta renk tayin cihazı	50
Şekil 3.8.	Dijital refraktrometre cihazı	51
Şekil 3.9.	Ultrasonik banyo ve soğutmalı santrifüj	54
Şekil 3.10	Spektrofotometre cihazı	55
Şekil 3.11.	CUPRAC analizine ait trolox kalibrasyon eğrisi	55
Şekil 3.12.	DPPH analizine ait trolox kalibrasyon eğrisi	56
Şekil 3.13.	Toplam fenolik madde tayini gallik asit kalibrasyon eğrisi	57
Şekil 3.14.	Toplam flavonoid tayini için rutin kalibrasyon eğrisi	57
Şekil 3.15.	HPLC cihazı	60
Şekil 3.16.	LC-MS/MS cihazı	61
Şekil 3.17.	ICP-MS cihazı	64
Şekil 4.1.	Kırmızı pancar pestil kurutmalarında nem oranı değişimi (Kontrol, 1-4. Koşul)	66
Şekil 4.2	Kırmızı pancar pestil kurutmalarında nem oranı değişimi (5-9. Koşul)	66
Şekil 4.3.	Kırmızı pancar pestil kurutmalarında nem oranı değişimi (10-11. Koşul)	67
Şekil 4.4.	Kırmızı pancar pestil kurutmalarında kuruma hızıma değişimi (Kontrol, 1-4.Koşul)	69
Şekil 4.5.	Kırmızı pancar pestil kurutmalarında kuruma hızıma değişimi (5-9.Koşul)	69
Şekil 4.6.	Kırmızı pancar pestil kurutmalarında kuruma hızıma değişimi (10.-11.Koşul)	70
Şekil 4.7.	Farklı ön işlemler uygulanarak elde edilen kırmızı pancar pestil ürünlerinin Deff değerleri	75
Şekil 4.8.	Ön işlem, kurutma ve ısıl işlem toplam süre değişimleri	77
Şekil 4.9.	Kırmızı pancar pestili üretiminde kullanılan farklı ön işlemlerin proses sürelerine olan etkisi	78
Şekil 4.10.	Hedonik skala testi sonuçları	81
Şekil 4.11.	Kırmızı pancar pestilin puanlama testi sonuçları	82
Şekil 4.12.	Kırmızı pancar pestillerinde bireysel fenolik ve TAK, TFM ve TFLM arasındaki pearson korelasyon katsayısı	100
Şekil 4.13.	Öz değer grafiği	109
Şekil 4.14.	Kırmızı pancar pestillerin PCA-skor grafiği	110
Şekil 4.15.	Kırmızı pancar pestillerin PCA-yükleme grafiği	111

ÇİZELGELER DİZİNİ

		Sayfa
Çizelge 2.1.	Türkiye'de kırmızı pancarın son on yıldaki üretim miktarı	5
Çizelge 2.2.	Pancarda bulunan ana biyoaktif bileşenler	6
Çizelge 2.3.	Reçel, marmelat, meyve jölesi ve pekmez imalatı yıllık Türkiye üretim miktarları	11
Çizelge 2.4.	Bazı pestil örneklerinin fizikokimyasal özellikleri	15
Çizelge 2.5.	İnce tabaka kurutma model örnekleri	23
Çizelge 2.6.	Pestil çalışmalarında en iyi uyumu gösteren kurutma model örnekleri	24
Çizelge 3.1.	Ultrases cihazının özellikleri	37
Çizelge 3.2.	Mikrodalga cihazının özellikleri	39
Çizelge 3.3.	Sıcak havalı kabin tipi kurutucunun özellikleri	40
Çizelge 3.4.	Ön işlem koşulları	42
Çizelge 3.5.	Deney deseni için yararlanılan kaynaklar	43
Çizelge 3.6.	İnce tabaka kurutma model örnekleri	47
Çizelge 3.7.	Hedonik skala testi	52
Çizelge 3.8.	Puanlama testi	53
Çizelge 3.9.	HMF analizi için HPLC koşulları	59
Çizelge 3.10.	Pestil örneklerindeki fenolik bileşenlerin LC-MS/MS ile tayininde kullanılan gradyan elüsyonu	61
Çizelge 3.11.	Polifenollerin tespitinde kullanılan metot parametreleri	62
Çizelge 3.12.	ICP-MS cihazı	64
Çizelge 4.1.	Kuruma modellerine ait sabitler ve modellerin istatistiksel uygunluk parametreleri (Kontrol, Koşul 1-4)	72
Çizelge 4.2.	Kuruma modellerine ait sabitler ve modellerin istatistiksel uygunluk parametreleri (Koşul 5-11)	73
Çizelge 4.3.	Kırmızı pancar pestillerinin renk değerleri	79
Çizelge 4.4.	Toplam antioksidan kapasite (TAK), toplam fenolik (TFM) ve toplam flavonoid madde (TFLM) analiz sonuçları	82
Çizelge 4.5.	Kırmızı pancar pestillerin betalain bileşimleri	92
Çizelge 4.6.	Kırmızı pancar pestillerde UPLC-ESI-MS/MS ile belirlenen flavonoid içeriğindeki değişimler	96
Çizelge 4.7.	Kırmızı pancar pestillerde UPLC-ESI-MS/MS ile belirlenen fenolik asit ve diğer polifenollerin içeriğindeki değişimler	98
Çizelge 4.8.	HMF analiz sonuçları	101
Çizelge 4.9.	Kırmızı pancar pestili örneklerinin mineral madde içerikleri	104
Çizelge 4.10.	Yedi temel bileşene kadar açıklanan varyans oranları	108

1. GİRİŞ

Güncel çalışmalar, insan sağlığını olumlu yönde etkileyen gıdaların daha fazla tüketilmesini ve sağlıksız seçeneklerin sınırlı tüketimini tavsiye etmektedir. Günümüz endüstrisi; artan dünya nüfusu ile birlikte tüketime hazır gıda çeşitliliğinin artırılmasına odaklanmıştır. Bununla birlikte, sağlıklı beslenmeye olan taleplerin karşılanması için ise çevre dostu yaklaşımlar ile enerji ve zaman tasarrufu sağlayacak ve aynı zamanda kaliteli ürünler geliştirecek çalışmaları da ele almaya başlamıştır. Endüstriyel ilerlemeler, besin maddelerinin değerlendirilmesini ve katma değerli farklı ürünlerin geliştirilmesini gerektirmektedir. Global fonksiyonel ürün pazarının 2030 yılında 285.3 milyon Dolar hacmine ulaşması beklendiğinden (Anonim 2022a) bu yükselişe geçen pazara yenilikçi ürün alternatifinin eklenmesi, bilimsel olarak ürün ve proses detaylarının incelenmesi çok önemlidir.

Kurutma veya hamur haline getirme prosesi (pestil), özellikle fonksiyonel gıda endüstrisi alanında uygulanabilir seçenekler olarak önemli umut vaat etmektedir. Pestil, meyve pulpuna şeker ve nişasta gibi katkı maddelerinin eklenerek koyulaştırıldıktan sonra kurutulmasıyla üretilen geleneksel üründür. Geleneksel olarak yıllardır tüketilen sebze ve meyvelerden elde edilmiş pestiller, özellikle enerji, mineral madde ve lif açısından zengin gıdalar olarak bilinmektedir. Literatürde çeşitli meyve ve sebzelerden üretilmiş sağlıklı atıştırmalık kategorisinde sıralanabilecek pestiller üzerine çalışmalar mevcuttur (Kamiloglu ve Capanoglu, 2014; Tontul ve Topuz 2017; Ozkan Karabacak, 2019; Ozkan Karabacak ve Copur 2020; Silva Simao, de Moraes, Carciofi ve Laurindi, 2020; Barman, Das ve Badwaik 2021; Incedayi, Dogan ve Copur, 2022). Günümüzde endüstriyel olarak da üretimi yapılmaktadır. Pestillerin uzun raf ömrüne sahip olması, kurutma sonrası gelişen hacim küçülmesi, ağırlıkça hafifliği ve kolay paketlenebilmesi gibi özellikleri artan tüketim talebine sahip olmasını sağlamıştır. Üretildiği meyve ve sebzelerin, zengin biyoaktif bileşenleri içermesi, pestillerin fonksiyonel atıştırmalık olarak kullanımını cazip kılmaktadır (Ozkan Karabacak, 2019; Barman vd., 2021; Ozkan Karabacak, 2021). Dayanıklılığı, kurutma sonrası gelişen hacim küçülmesi ile hafifliği ve kolay paketlenebilirliği gibi özellikleri ile artan tüketim talebine sahiptir. Pestilin, üretildiği hammadde ve üretim süreçleri açısından biyoaktif bileşen özelliği değişebilmektedir. Ancak buna rağmen fonksiyonel atıştırmalık olarak cazip bir atıştırmalıktır. Endüstriyel

gelişmeler, besin maddelerinin değerlendirilmesi ve katma değerli farklı ürün gelişimini gerekli kılmaktadır. Kurutma ya da pestile işlenme, özellikle fonksiyonel gıda pazarına yönelik, önemli potansiyele sahip seçeneklerdendir. Ürünlerin fonksiyonel özelliklerinin ortaya konması ve geliştirilmesi, üretim metotlarının optimizasyonu, depolama ve paketlenmeleri gibi ayrıca tüketimi konusundaki farkındalığın artırılmasına yönelik çalışmalara devam edilmelidir (Kara ve Küçüköner, 2019).

Chenopodiaceae familyasının koyu kırmızı bir kök sebzesi olan pancar (*Beta vulgaris L.*), sağlık üzerine olumlu etkileri ve zengin besin içeriği ile son yıllarda bilim dünyasının artan ilgisini çekmektedir. Vitaminler, mineraller, fenoller, karotenoidler, nitrat, askorbik asit ve betalainler gibi temel bileşenleri içeren, bitki dünyasının en zengin gıdalarından biridir. Sağlığı geliştirici, hastalık önleyici ve tedavi edici olarak bilinmektedir. Diyabet, kanser, kardiyovasküler hastalıklar ve diğer kronik rahatsızlıklara karşı fonksiyonel besin kaynağı olarak değerlendirilmektedir. İşlenmiş kırmızı pancar, yüksek stabilite ve antioksidan aktivite göstermektedir. Bu nedenle kırmızı pancar, fonksiyonel ve yenilikçi gıdalar geliştirmek için de potansiyel girdi olarak kullanılabilmekte bununla birlikte, diğer gıda matrisleri ile birlikte kullanıldığında, sinerjik etki yaratarak ürünün toplam besin değerini artırabilmektedir. Kırmızı pancar lezzeti, yüksek besleyiciliği ve tıbbi değeri ile çiğ veya pişmiş olarak tüketilmektedir. Geleneksel olarak turşu şeklinde, salatalarda, soslarda, çorbalarda, meyve sularında, reçel ve tatlılarda, pastane ürünleri ve ekmek üretiminde, makarna ve erişte gibi hamur işlerinde formülasyonlara dahil edilerek kullanılmaktadır. Ayrıca ekstrakte edilen kımızı renkli pigmentler, doğal katkı maddesi olarak gıda, ilaç, kozmetik ve tekstil gibi farklı sektörlerde kullanılabilmektedir (Ceclu ve Nistor, 2020; Dhiman vd., 2021). Literatürde yapılan çalışmalarda ve marketlerde kırmızı pancarından elde edilen yenilikçi alternatif bir geleneksel ürün bulunmamaktadır. Dolayısıyla kırmızı pancar zengin sağlıklı atıştırmalık formülasyonlarında daha fazla yer almalıdır. Diğer taraftan kırmızı pancar ürüne işlendiği zaman terapötik etkilerinin korunması için üretim koşullarından etkilenen betalain stabilitesinin sağlanması önemli bir hususdur. Gıda endüstrisinde en iyi sonucu elde etmek için betalain düzeyi yüksek kök çeşidinin dikkatli seçilmesi ve hedef ürüne uygun üretim yöntemlerinin uygulanması ve buna uygun optimum koşulların seçilmesi önem arz etmektedir (Akan, Tuna Gunes ve Erkan, 2021).

Bu veriler ışığında bu tezin amaçları arasında, sağlıklı atıştırmalık sektörüne yenilikçi ve alternatif bir ürün sunmak; mevsiminde taze olarak tüketilen kırmızı pancarın fonksiyonel sağlıklı atıştırmalık bir ürüne dönüştürülmesiyle, daha uzun tüketim aralığını elde etmek ve geniş tüketici kitlesine sahip olmasını sağlamak; pestil üretiminde uygulanabilecek farklı özellikteki ön işlemlerin toplam proses süresine (ön işlem ve kurutma süresine), nihai ürünün fonksiyonelliğine ve kalitesine olan etkisini irdelemek, ısıl işleme maruz kalınan süreyi kısaltmak; biyoaktif bileşenlerce zengin kırmızı pancardan yapılan fonksiyonel bir pestil formülasyonun ve üretim prosesini geliştirmek yer almaktadır.

Bu doğrultuda bu tezin amacı; doğal tatlandırıcı olarak elma ve kıvam artırıcı olarak tapyoka nişastasının kullanarak kırmızı pancar pestil formülasyonunun optimize edilmesini; pestil üretiminde geleneksel ön işleme (ön ısıtma/haşlama) alternatif olarak mikrodalga, ultrasonifikasyon ve termosonifikasyon kullanım olanağının araştırılmasını; ön işlem süresini ve etkisini azaltmak için pestil herlesinin suda çözünür kuru madde oranını 15-20 Brikse (^{o}Bx) düşürme olanağının irdelenmesini; farklı ön işlem şartlarının kurutma kinetiğine ve nihai ürünün kalitesine ve biyoaktif bileşen özelliklerine olan etkisinin değerlendirilmesini içermiştir. Çalışma kapsamında, nihai ürünlerin duyusal, teksürel ve fizikokimyasal özellikleri (renk, nem, pH, suda çözünür kuru madde), iki farklı spektrofotometrik yöntem ile toplam antioksidan kapasiteleri (DPPH-2,2-diphenyl-1-picrylhydrazyl, CUPRAC- cupric ion reducing antioxidant capacity), spektrofotometrik yöntemler ile toplam fenolik madde, toplam flavonoid madde ve toplam betalain madde miktarlarını, sıvı kromatografisi kütle spektrofotometresi (LC-MS-MS) ile fenolik bileşenleri ve indüktif eşleşmiş plazma ile (ICP-MS) elementel bileşen kompozisyonu (majör ve minör elementler) araştırılmıştır.

2. KURAMSAL TEMELLER ve KAYNAK ARAŞTIRMASI

2.1. Kırmızı Pancar

Kök sebzeler, sebzelerin ve bazı kök ve yumruların bir yenilebilir parçasıdır. Kök sebzeler arasında havuç, şalgam, kereviz, turp ve pancar yer almaktadır. Kök sebzeler arasında yer alan kırmızı pancar, tarih boyunca çeşitli iklimlerde yetiştirilen *Amaranthaceae* familyasına ait çiçekli bir bitkidir. Kırmızı pancar, *Amaranthaceae* familyasının *Beta vulgaris ssp. Vulgaris L*. alt türü, *Beta vulgaris L.* türü, *Beta L.* cinsi, *Betoideae* alt familyası ve *Caryophyllales* takımına aittir (Neelwarne ve Halagur, 2013) Pancar, (*Beta vulgaris*) cinsinin en bilinen türüdür. Beta cinsi şeker, sofralık ve yaprak pancarı (pazı) ve ayrıca yabani pancar *Beta vulgaris* ssp. *maritima* (deniz pancarı) ve *B. vulgaris* ssp. *adanensis* dahil olmak üzere *Beta vulgaris* ssp *vulgaris*'in tüm kültür formlarını içermektedir. Beta cinsine bağlı ek türlerin *B. macrocarpa ve B. patula* olduğu belirtilmiştir (McGrath, Panella ve Frese, 2011). *Beta vulgaris* türü içerisinde morfolojik ve kalite özellikleri ve kullanım alanlarına göre dört farklı şekilde değerlendirilebilmektedir. *B. vulgaris* var. c*icla,* pazı veya mangold olarak da bilinen yaprakları ıspanak benzeri sebze olarak değerlendirilir. *B. vulgaris* var. c*urenta* kırmızı pancar, *B. vulgaris* var. *rapa* hayvan pancarı veya yem pancarı olarak bilinmekte, gövde şeker oranı düşük ve oldukça iri köklüdür. *B. vulgaris* var. *saccharifera* ise şeker üretimi için yetiştirilen şeker pancarıdır (Tan vd., 2016).

Akdeniz iklimine ihtiyaç duyan kırmızı pancar artan ilgi ile Avrupa, Amerika ve Asya kıtalarında yetiştirilebilmektedir (Chawla, Parle, Sharma ve Yadav, 2016). Ülkemizde ise kırmızı pancar, üretim ve tüketim bakımından ağırlıklı olarak Ege ve Marmara bölgesinde görülmektedir. Kırmızı pancar tohumları doğrudan tohum ekimi şeklinde üretilmektedir. Kırmızı pancar bitkisi tohumları 20-25°C'lik sıcaklıklarda düzenli çimlenme göstermektedir. Yetiştirme şartları ve çeşide bağlı olarak üretim verimi açısından 1 dekar alandan 2- 4 ton ürün alınabilmektedir (Tomar ve Yıldırım, 2019). Kırmızı pancar serin havayı seven tohum çimlenmesi için 4,5 ila 30°C arasında değişen toprak sıcaklıklarına ihtiyaç duyan bir sebzedir (Anonim, 2020). Kırmızı pancarlar zeminde (tarlada) veya mekanik olarak soğutulmuş odalarda depolanmaya ihtiyaç duymaktadır. Barba-Espin vd. (2018), kırmızı pancarın uzun süreli muhafazası için 2 ila 4°C sıcaklığın uygun olduğunu

bildirmiştir. Edelenbos vd. (2020) ayrıca kırmızı pancarın optimum saklama koşulunun 1-2°C sıcaklık ve %98-%100 bağıl nemde 8-10 ay olabileceğini belirtmişlerdir.

Kök sebzeler, OEC (The Observatory of Economic Complexity) raporuna göre; 2020 yılında toplam 1,93 milyar dolarlık ticaretle dünyanın en çok ticareti yapılan 720. ürünü olmuştur. Kök sebze ticareti, toplam dünya ticaretinin %0,012' sini temsil etmektedir. 2020'de kök sebzelerin en büyük ihracatçıları arasında Çin ($414 Milyon), Hollanda ($262 Milyon), İtalya ($155 Milyon), Amerika Birleşik Devletleri ($134 Milyon) ve İspanya ($122 Milyon) yer almıştır. 2020 yılında Kök Sebzelerin en büyük ithalatçıları ise Almanya ($257 Milyon), Amerika Birleşik Devletleri ($162 Milyon), Kanada ($130 Milyon), Fransa (127 Milyon $) ve Rusya ($101 Milyon) olmuştur (Anonim, 2020; 2022b).

Kök sebzeler arasında önemli yere sahip olan kırmızı pancarın Türkiye'deki üretim miktarını, Türkiye İstatistik Kurumu, 2021 yılı için 10.444 ton, 2022 yılı için ise %125' lik artış ile 23.543 ton olarak raporlamaktadır (Anonim, 2022c). Üretim miktarındaki bu artış, sağlıklı beslenme yaklaşımlarına olan farkındalığın ve fonksiyonel gıdalara olan ilginin artmasıyla doğru orantılı olarak arttığı ile yorumlanabilir.

Çizelge 2.1. Türkiye'de kırmızı pancarın son on yıldaki üretim miktarı (Anonim, 2024).

Yıl	Miktar (Ton)
2013	7 286
2014	7 161
2015	7 028
2016	7 774
2017	7 553
2018	8 119
2019	9 917
2020	7 881
2021	10 444
2022	23 543
2023	21 188

Kırmızı pancar, düşük yağ içeriği ve yüksek düzeyde karbonhidrat, nişasta, çözünür lif ve protein ile karakterize edilen bir sebzedir. Pancar, kemiklere güç sağlayan doğal

mineraller içermektedir (Ceclu ve Nistor, 2020). Pancar kökleri C, A, E, K vitaminleri bakımından zengindir (Çizelge 2.2). Ayrıca önemli miktarda temel B vitaminleri (B1, B2, B3, B5, B6, B9 ve B12 dahil), triterpenler, seskiterpenoidler, saponinler, alkoloidler, karotenoidler, kumarinler, tirozid, astragalin, ramnositrin, ramnetin, kaempferol ve betalainler gibi çeşitli biyoaktif bileşikler içermektedir. Pancarlarda treonin, valin ve lizin gibi amino asitler bulunur. Ayrıca pancar kökleri manganez, magnezyum ve çinko gibi mineraller açısından da zengindir (Babarykin vd., 2019; Ceclu ve Nistor, 2020). 100 gr kırmızı pancar yaklaşık 43 kalori olup, makro besin bileşenlerinden ortalama; 9,56 g karbonhidrat, 1,61 g protein, 0,17 g yağ ve 2,80 gr diyet lifi içermektedir. 78 mg sodyum ve 325 mg potasyum, 23 mg magnezyum, 16 mg kalsiyum, 0,80 mg demir, 0,329 mg manganez, 0,35 mg çinko, 0.075 mg bakır içermektedir. Vitamin A miktarı 33 (IU), B1 vitamini 0,031 mg, B2 0,057 mg, B3 0,334 mg, Folat 109 µg, C vitamini 4,9 mg, E vitamini 0,04 µg, vitamin K 0,02 µg, B6 0,067 µg, vitamin B5 değeri 0,155 mg' dir. Ayrıca fitokimyasallardan 20 µg β- Karoten ve 128,7 mg betain içermektedir (Chawla vd., 2016). İşlevsel olarak en önemli kırmızı pancar fitokimyasalları, betalainler, betain ve nitratlardır (Babarykin vd., 2019).

Çizelge 2.2. Pancarda bulunan ana biyoaktif bileşenler (Chawla vd., 2016).

Kırmızı Pancar
- Diyet Lif
- İnorganik Nitrat
- Mineraller (Fe, P, K, Ca, Mn, Mg, Se)
- Vitaminler (A, E, K, C, B_1, B_2, B_3, B_5, B_6, B_9, B_{12})
- Fenolik asitler (Ferulik, Kafeik, Siringik, p- Kumarik, Vanilik)
- Flavonoidler (Rutin, Rhamnetin, Astragalin, Rhamnocitrin, Kaempferol)
- Karotenoidler (β- Karoten, Likopen, Lutein)
- Betalainler
Betasiyanin: Betanin, İsobetanin, Neobetanin
Betaksantin: Vulgaksantin I ve II, İndikaksantin

Pancar yaygın olarak sebze formunda tüketilse de çeşitli mutfak ve beslenme amaçları için meyve suyu, turşu, toz ve gıda takviyeleri formuna da işlenebilmektedir (Bilişli, 2015; Bahriye, Dadashi, Dehghannya ve Hossein Ghaffari, 2023; Wang ve Wang, 2023; Jakubczyk, Melkis, Janda-Milczarek ve Skonieczna-Żydecka, 2024). Artan bilinçli

tüketim alışkanlıkları ile gıda üreticileri, gıda güvenliğini artırmak amacıyla sentetik renklendiricilerin yerine formülasyonlarına doğal renklendiricileri dahil etmektedir. Süt ürünleri, dondurmalar, şekerlemeler, sakız, jelibon, çorba, soslar ve içeceklerde doğal renklendirici olarak kırmızı pancar toz formu kullanılabilmektedir (Guldiken vd., 2016; Righi Pessoa da Silva, Silva ve Bolanho, 2018; Hernández-Aguirre, Muro, Hernández-Acosta, Alvarado, ve Díaz-Nava, 2021; Basiony, Saleh, Hassabo, Al-Fargah, 2023). Et ürünlerinin, yenilenen formülasyonuna pancar (veya pancar özü) ilavesinin etkileri araştırılmış ve et ürünleri için sentetik katkı maddelerinin kısmen veya tamamen değiştirilmesine imkân verebilecek sonuçlar elde edilmiştir (Tomar ve Yıldırım, 2019; Domínguez, Munekata, Pateiro, Maggiolino, Bohrer, Lorenzo, 2020). Kırmızı pancar ürünlerinin doğal meyve suyu ya da fraksiyonlarının tüketimi, memelilerde birçok yararlı besinsel etkiye sahip olduğu belirtilmiştir. Pancardan elde edilen meyve suyunun, anemi önleyici, iskemik önleyici, iltihap önleyici, antioksidan ve antikanserojenik bir ürün olarak etkili olduğu raporlanmıştır. Ayrıca kırmızı pancar kökü ürünlerinin kullanımı, bağırsak peristaltik ve lipid metabolizması optimizasyonu için de avantajlı olabilmektedir (Babarykin vd., 2019).

Gıdaların tüketim ve üretim yöntemleri, besin içeriğinde farklılıklara neden olabilmektedir. Güldiken vd. (2016), çeşitli ev bazlı tekniklerin kırmızı pancarın toplam antioksidan kapasitesi ve in vitro gastrointestinal sindirim süreci üzerindeki etkisi üzerine bir çalışma yürütmüştür. Araştırmada haşlama, fırında kurutma, salamura, püre haline getirme, su işleme ve reçel yapımı olmak üzere altı farklı yerli üretim yöntemi değerlendirilmiştir. Kurutulmuş, püre haline getirilmiş ve işlem görmemiş örneklerde en yüksek toplam fenolik, flavonoid ve antioksidan kapasite değerleri sırasıyla 47±23 mg GAE/100 g, 289±53 mg RE/100 g ve 3 889±982 mg TEAC/100 g olarak elde edilmiştir. Ayrıca, kurutulmuş kırmızı pancarın, *in vitro* sindirim sonrasında genel flavonoid içeriğinin daha fazla geri kazanıldığı bildirilmiştir. Bu bulgular kırmızı pancarın fonksiyonel ve yeni gıda ürünlerinin formülasyonunda değerli bir bileşen olarak hizmet etme potansiyeline sahip olduğunu göstermektedir. Kırmızı pancarın diğer gıda matrisleriyle birleştirilmesi, ürünün genel besin kalitesini artırarak sinerjik sonuçlara da yol açabildiği belirtilmiştir (Ceclu ve Nistor, 2020).

2.1.1. Betalainin moleküler ve kimyasal yapısı

Gıda endüstrisinde doğal renklendirme amacıyla kullanılan en önemli renk maddesi pancardaki betalain kaynaklarıdır (Kaba, Zannou, Redha ve Koca, 2024). Pancardan elde edilen renk pigmenti, domates sosları, çorbalar, tatlılar, reçeller, jöleler, dondurma ve kahvaltılık gevrekler gibi çeşitli gıda ürünlerinde rengi iyileştirmek için kullanılmaktadır. Betalainler, azot içeren ve betalamik asit türevidir; suda çözünebilir ve renk pigmentleri olarak bilinirler. Genellikle betaksantin ve betasiyanin olarak iki gruba ayrılırlar. Bu iki pigment, farklı kimyasal yapıları nedeniyle farklı renk karakteristiklerine sahiptir. Betaksantinler sarı bir renk tonu sergilerken, betasiyaninler kırmızı bir renkle karakterize edilir. Bu bileşiklerin absorbans spektrumları betaksantinler için 480 nm ve betasiyaninler için 536 nm'de maksimum dalga boylarına ulaşmaktadır (Özyurt, Saralı, Ötleş, 2019).

Betalainler, kırmızı-mor betasiyanin ve sarı betaksantinlerden oluşan, çiçekleri ve meyveleri renklendiren, suda çözünür pigmentlerdir. Betalainler, esas olarak Caryophyllales takımından bitkiler tarafından üretilen pigmentlerdir. Betalainler, anti-inflamatuar, antikanser, anti-hepatit ve bilişsel koruyucu özelliklerinden dolayı farmasötik ajanlar olarak değerlendirilir ve besin takviyeleri olarak kullanılmaları faydalıdır. Ayrıca, betalainler antimikrobiyal ve antimalaryal etkilere sahiptirler. Öte yandan, kilo kaybına veya karaciğer bozukluklarına neden olmadan glisemiyi %40 oranında azaltabilen betalainlerin antidiyabetik etkileri bulunmaktadır (Madadi, Mazloum-Ravasan, Yu, Ha, Hamishehkar ve Kim, 2020).

Betalainlerin, antioksidan, antilipidemik, kardiyoprotektif, antienflematuvar ve antimikrobiyal etkilere sahip olduğu bilinmektedir (Özyurt vd., 2019). Betalainler, serbest radikalleri yakalama özelliği sayesinde, betalainler ve betalain açısından zengin diyetlerle yapılan tedavilerin, oksidatif stres, inflamasyon ve arter stenozu, ateroskleroz, hipertansiyon, kanser ve dislipidemi ile ilgili hastalıkların tedavilerini desteklemek için umut verici bir alternatif olabileceği ve kardiyovasküler ve kanser hastalıklarına karşı koruyuculuk sağlayabileceği belirtilmiştir. Toksikolojik güvenliği, erişilebilirliği, düşük fiyatı, biyolojik olarak parçalanabilirliği ve sağlık üzerindeki potansiyel olarak avantajları ile betalainlerin gıda üretimine ve ilgili endüstrilere dahil edilmesi, yapay renklerin sağlık risklerine ilişkin mevcut endişelerin üstesinden gelmenin de bir yolu olduğu

raporlanmıştır (Rahimi, Abedimanesh, Mesbah-Namin, ve Ostadrahimi, 2019). Betalainlerin antikanser etkisi üzerine yapılan bir çalışmada, Huh7 hücrelerine kırmızı pancardan elde edilen betalainin 15 μM konsantrasyonunda takviye edilmesinin, hücresel glutatyon (GSH) seviyesinde belirgin bir artışa yol açtığı ve apoptozu uyaran önemli bir antioksidan olduğu gözlemlenmiştir. Dahası, çalışmalar betalainlerin içsel hücresel antioksidan yolları uyarma ve kritik bir transkripsiyon faktörü olan Nrf2'yi düzenleme yeteneğine sahip olduğunu göstermiştir. Ayrıca betalainlerin kısa zincirli yağ asitlerinin oluşumunu baskıladığı ve dislipidemik farelerde genel kolesterol seviyelerini yükselttiği gösterilmiştir (Babarykin vd., 2019; Rahimi vd., 2019; Madadi vd., 2020).

Betalainler, nispeten düşük stabiliteleri ile bilinen bir pigment sınıfıdır. Betalainin stabilitesi, pigmente özgü faktörlerin yanı sıra çevresel koşullardan, ortamın pH'ı ve su aktivitesinden etkilendiği bilinmektedir. Betalain içeren gıdalarda optimum pigment ve renk yapısının korunması için, gıda üretim sürecinde sıcaklık, uygulama süresi, ışık ve oksijen gibi dış etkenler dikkate alınması gerektiği bildirilmiştir (Hernández-Aguirre vd., 2021).

Betalainlerin optimum stabilitelerinin tipik olarak 4-7 pH aralığında olduğu gözlemlenmiştir. Bu stabilite, su aktivitesi seviyeleri ile negatif ilişkili olduğu ve daha düşük su aktivitesinde daha fazla stabilite elde edildiği raporlanmıştır. Sıcaklık artışıyla 75, 85, 95°C larda 60 dk ısıl işlem sonrası) pigmentin hidrolize olduğu ve derişiminin hızla düştüğü yapılan çalışmalarla ortaya konulmuştur. Diğer taraftan 4°C'de soğutmanın betalain bozulmasıyla ilişkili renk değişikliklerini azalttığı sonucuna da varılmıştır (Bilişli, 2015; Calva-Estrada, Jiménez-Fernández ve Lugo-Cervantes, 2022). Betalainlerin, farklı bileşiklerle etkileşimi ile kendi stabilitelerinin artması veya azalması mümkün olmaktadır. Askorbik asit ve izoaskorbik asit gibi antioksidan bileşiklerin, çevredeki oksijeni ortadan kaldırarak betalainlerin stabilitesini arttırdığı ortaya konulmuştur. Diğer taraftan, gallik asit ve klorojenik asit gibi bazı fenolik asitlerin yanı sıra kateşin ve kuersetin gibi flavanollerin betalainlerin stabilitesini azalttığı da raporlanmıştır (Celli ve Brooks, 2017; Barutçu Mazı, Tekin ve Türe, 2018). Demir, bakır, kalay, alüminyum, civa ve krom gibi metal katyonların varlığı, oksitleyici özelliklerinden dolayı betalainin bozunma hızını artırabildiği ve sonuç olarak stabilitesinin azalmasına

yol açabildiği de bir diğer konu olarak litetratürde ele alınmıştır (Bilişli, 2015; Hernández-Aguirre vd.. 2021).

2.2. Pestil

Geçmişten bugüne geleneksel ve günümüzde endüstriyel boyutlarda da üretilmekte olan pestil, tüketicilere yüksek lif, mineral madde ve enerji sağlaması açısından tercih edilmektedir. Dayanıklılığı, hafifliği, uygun ambalaj ve tüketim kolaylığı gibi özellikleri nedeniyle giderek artan bir ilgi toplamıştır. Meyve ve sebzecilikteki son gelişmeler ile katma değerli ürün eldesi de önem kazanmaktadır. Meyve ve sebzelerin farklı ürünlere işlenmesi ile fonksiyonel gıda pazarında yer bulabilecek pestiller ihracat için de önemli potansiyele sahiptir (Kara ve Küçüköner, 2019).

Pestil, taze ve işlemeye uygun meyvelerin çekirdeklerinin çıkarılıp pulp veya meyve suyu haline getirildikten sonra nişasta, beyaz şeker ve katılması kabul edilen katkı maddelerinin (şeker, asitlendirici ve kıvam vericiler) ilavesi ile tekniğine uygun olarak koyulaştırıldıktan sonra belli kalınlıkta yayılması ve gerektiğinde kuru meyve (iç fındık, badem içi vb.) ilavesiyle katlanması sonucu elde edilen geleneksel bir gıda maddesidir (TS 2000a-d).

Pestil, Türkiye İstatistik Kurumu'nun istatistik hesaplamalarında Prodcom sınıflamasına göre 10.39.22.90.01 "Reçel, marmelat, meyve jölesi ve pekmez (turunçgillerden yapılanlar ile homojenize müstahzarlar hariç)" sınıflamasındaki ürünler içerisinde yer almaktadır. 2019-2023 yılları arasında gerekleşen üretim verileri incelendiğinde (Çizelge 2.3), 2019 yılında 91.703 013 tonluk bir üretim gerçekleşmiştir. 2021 yılında üretim miktarında bir artış görülerek 101 057 528 tona ulaşmıştır. Ancak 2023 yılına kadar geçen sürede üretim miktarında bu artış oranını yerini azalmaya bıraktığı gözlenmektedir (Anonim, 2024). Önümüzdeki yıllarda tüketici talepleri doğrultusunda, pestil gibi sağlıklı atıştırmalık ürün kategorisinde gerçekleştirilecek yenilikçi formülasyonlar ile üretim miktarlarında bir artışın olması beklenmektedir.

Çizelge 2.3. Reçel, marmelat, meyve jölesi ve pekmez imalatı yıllık Türkiye üretim miktarları (Ton) (Anonim, 2024).

Yıl	Miktar (Ton)
2019	91 703 013
2020	96 405 207
2021	101 057 528
2022	92 075 659
2023	88 990 768

Dünya ihracat rakamları incelendiği zaman, pestil "17.04.90 Gümrük Tarife İstatistik Kodu" ile değerlendirilen "Kakao içermeyen şekerlemeler diğerleri, beyaz çikolata dahil en çok ihracat yapan ülkeler arasında Avrupa Birliği (582 605 000 kg), Almanya (397 256 000 kg), Meksika (314 562 000 kg) yer almaktadır. Türkiye ise 269 727 000 kg ile 3. Sırada yer alıp onu İspanya (218 190 000 kg), Hollanda (161 611 000 kg) izlemektedir. Ancak ticari değerleri bakımından aynı raporun değelendirilmesi yapıldığında 1 587 811 470 USD ile Almanya birinci, sırasıyla Meksika, İspanya, Hollanda, Belçika sonrasında Turkiye 585 411 570 USD ile 6. sırada yer almaktadır (Anonim, 2021). Türkiye olarak, konu ile ilgili üretimler, katma değeri daha yüksek olabilecek sağlıklı atıştırmalık ürünlerinin pazardaki çeşitliliğinin artırılmasıyla, miktar olarak elde edilen sıralama, ticari değer bakımından da artırılabileceği düşünülmektedir.

2.2.1. Pestil üretimi, üretim sırasında kullanılan tatlandırıcılar ve kıvam artırıcılar

Bölgesel olarak geleneksel pestil yapımı farklılıklar gösterse de pestil üretimi, temizlenmiş ve ayıklanmış sebze meyvelerin püre haline getirilmesi, ürüne göre çekirdek ya da kabukların süzülerek alınması, koyulaştırma (40-50 ^{o}Bx ulaşıncaya kadar), kıvam artırıcı veya unun (yaklaşık 5–15 g/100 g kuru madde) ayrıca tercihen şeker türevlerinin ilave edilmesi sonrası 100-110 ºC'de gerçekleşen ilave ısıl işlemle nişastanın jelatizasyonun sağlanması, herle (viskoz jelatinize olmuş karışım) denilen bu karışımın ince tabaka halinde serilerek pestilin kurutulmasıdır (Maskan, 2001; Maskan, Kaya ve Maskan, 2002; Tontul ve Topuz 2017; Ersus ve Hepçimen, 2021). Kuruma sonrasını katlama, kesme ve ambalajlama gibi adımlar izlemektedir. Kurutma öncesi koyulaştırma açık kazan veya buhar ceketli, otomatik karıştırıcılı kazanlarda ya da vakum altında gerçekleştirilebilmektedir (Ekşi ve Artık, 1984; Kara ve Küçüköner, 2019; Nakilcioğlu-

Taş, Çakaloğlu, Ötleş, 2018). Pestiller güneşte ya da sıcak hava kurutucular gibi endüstriyel kurutucularda kurutulabilmektedir (Nakilcioğlu Taş vd., 2018).

Pestil üretiminde hammadde olarak genellikle sofra şekeri tercih edilmekle beraber, bal, glikoz şurubu da yaygın olarak kullanılmaktadır. Bunun yanında inulin, oligofruktoz ve polidekstroz gibi prebiotik özellik gösteren katkı maddeler de pestil üretiminde kullanılmaktadır (Silva Simao vd., 2020; Yüksel, Yavuz ve Baltacı, 2020). Diğer taraftan sağlıklı atıştırmalık ürün geliştirilmesi sırasında şekere alternatif tatlandırıcıların kullanılması kaçınılmazdır. Elma bu anlamda doğal olarak tatlandırıcı alternatifi olarak pestil üretiminde kullanılabilecek bir alternatiftir. Elma, yıl boyunca tüketim imkânı ile farklı ekolojik koşullara adaptasyon sağlayabilen, zengin gen kaynaklarına sahip bir meyvedir. Türkiye'nin ekolojik şartlarının uygunluğu ve dünya gen merkezlerinden birisi olmasıyla elma, ülkemizin hemen her yerinde yıllardır yetiştirilmektedir. Türkiye 4 076 861 ton elma üretimi ile öncül dünya ülkeleri arasında yer almaktadır. Bu üretimin yaklaşık %40'ını ihraç etmektedir (Arısoy, Aras ve Kaya, 2019; Anonim, 2022c). Elmalar, beslenmemizde büyük yer tutan, sakkaritler, antioksidanlar, fenolikler ve besinler açısından oldukça zengin bir meyvedir. Yüksek polifenol biyoyararlılığı ve etkinliği sayesinde elma tüketiminin, kardiyovasküler hastalıklarla, kan basıncı, lipid, inflamasyon ve hiperglisemi etkileri üzerine kanıtlar sunan birçok çalışma mevcuttur. Elmalar, lif ve şeker (öncelikle fruktoz) dahil olmak üzere ağırlıklı olarak çeşitlerine göre değişen oranlarda yaklaşık %85 su ve %14 karbonhidratlardan oluşur (Bondonno, Bondonno, Ward, Hodgson ve Croft, 2017). Elmalar yaklaşık 2,21 g/100 g toplam lif içerir. Bunun %70'i selüloz ve hemiselüloz dahil olmak üzere çözünmeyen lif ve %30'u başta pektin olmak üzere çözünür liftir (Li, Andrews ve Pehrsson, 2002).

Pestil üretiminde işleme süresini hızlandırmak ve yapısal bütünlüğü korumak için çeşitli kıvam artırıcıları (buğday nişastası, mısır nişastası, keçiboynuzu gamı, arabik gamı, karboksimetil selülozu, sodyum aljinat vb) değişen miktarlarda kullanılmaktadır (Tontul ve Topuz, 2017; Silva Simao vd., 2020). Nişasta veya nişasta içeren unlar, meyve posası formülasyonlarında kıvam artırıcı olarak yaygın olarak seçilir (Kara ve Küçüköner, 2019). Yaygın olarak kullanılan nişasta, doğada bol miktarda bulunan ve bitkiler tarafından fotosentez yoluyla elde edilen enerjiyi depolamak için üretilen bir biyopolimerdir. Pek çok gıda maddesinin temel bileşeni olan nişasta, gıdaların jel

oluşumu, koyulaşması ve su tutma gibi fiziksel özellikleri üzerindeki etkisi nedeniyle insan beslenmesinde önemli bir rol oynamaktadır. Bir polisakkarit oluşturmak üzere polimerize edilen αD-glikoz birimlerinden oluşan nişastanın kimyasal bileşimi, doğrusal bir polimer olan amiloz ve dallanmış bir polimer olan amilopektini içermektedir (Šárka ve Dvořáček, 2017). Nişastanın su bağlama özellikleri, pestillere uygulandığında aşırı kurumayı önlemeye yaramaktadır ve ürünün farklı yenilebilir dokusunun geliştirilmesine katkıda bulunmaktadır (Kara ve Küçüköner, 2019). Nişastalar, su ile temas sonrası suyu emerek şişme eğilimi gösterirler. Su molekülleri ile nişasta moleküllerindeki hidroksil grupları hücreye girdiklerinde aralarında hidrojen bağları kurulur. Bu su emme ve hacim değişikliği süreci tersine çevrilebilmektedir. Jelatinleşme eşiğinin altındaki sıcaklıklarda moleküler yapıda değişiklikler meydana gelmez iken, daha yüksek sıcaklıklarda geri dönüşü olmayan değişiklikler meydana gelebilmektedir ve jelatinleşme olarak bilinen bir olay olan nişasta moleküllerinin tipik yapısının bozulmasına yol açabilmektedir. Isıtma işlemi devamı sırasında nişasta molekülü içinde bulunan amiloz molekülleri hücre çeperlerinden geçerek çözeltiye yayıldığı bu nedenle çözünen amiloz, viskozite artışına neden olduğu bilinmektedir (Acar ve Keskin, 2021; Šárka ve Dvořáček, 2017). Çirişlenme, bir ürünün viskozitesinin zirveye ulaştığında meydana geldiği, akabinde su salınımının azalıp sertleşme yoluyla sıkı bir pestil yapısının oluştuğu bir olay olarak tanımlanmaktadır (Ekşi ve Artık, 1984; Kara ve Küçüköner, 2019)

Tapyoka nişastası, çölyak hastalığı olan bireylerin sıklıkla tercih ettiği kek gibi glutensiz ürünlerin ve eriştenin formülasyonunda hızlı şişme özellikleri ve yüksek su tutma kapasitesi nedeniyle yaygın olarak kullanılan bir kıvam artırıcıdır (Prameswari, Manuhara, Amanto ve Atmaka, 2018, Silva Simão, de Moraes, Souza, Mattar Carciofi ve Borges Laurindo, 2018; Silva Simão vd., 2020; Aleman vd., 2021; Pokharel, Jaidka, Sruthi, Bhattarai, 2023). Tapyoka nişastasının elde edildiği manyok (*Manihot esculenta* Crantz), M.Ö. 2 bin 500 yılından beri özellikle tropikal bölgelerde yetiştirilen bir bitkidir. Uzun yıllardır bu bitki, birçok ülkede, köklerinde bol miktarda nişasta bulundurması sebebiyle insanlar tarafından tüketilen bir besin kaynağıdır ayrıca bitkisel ilaç olarak da kullanılmaktadır. Bununla birlikte hayvan beslenmesinde de önemli bir yere sahiptir. Manyok kökleri nişasta bakımından zengindir ve kökün yaklaşık yarısı nişasta üretimi için kullanılmaktadır. Mısır, nişasta üretiminde önde gelen ürün olmasına rağmen (dünya nişasta üretiminin %80'inden fazlası), nişasta için manyok üretimi son

günlerde hızla artmaktadır (Wang, Mhaske, Farahnaky, Kasapis, & Majzoobi, 2022a). Manyok diğer nişasta ürünlerine göre daha yüksek nişasta biriktirme kapasitesi, tüm yıl boyunca bulunabilirliği, ekonomik fiyatı, kuraklığa dayanıklılığı, nispeten basit ekstraksiyon yöntemi ve su tutma kapasitesi gibi avantajları ile artan ilgi uyandırmaktadır (Sugih, Christabella, Kristianto, ve Prasetyo, 2019; Loo ve Sarbon, 2020; Cruz Romero vd., 2022; Song, Wei, Cao, Yu, Han, 2023). Literatürde pestil üretiminde topyaka nişasatasının kullanıldığı bir çalışmaya rastlanmamıştır.

2.2.2. Pestil ile ilgili çalışmalar

Pestiller, üzüm, dut, elma, kayısı, muz, kiraz, portakal, armut, ananas, çilek, mandalina, şeftali, böğürtlen, kivi, guava, mango, papaya, kuşburnu ve nar gibi pek çok farklı meyveden ve sebzelerden, içerisine ceviz, susam, fındık gibi değişik kuruyemiş ilaveleri ile pestil üretilebilmektedir (Boz, Karaoğlu ve Kaban, 2016; Kara ve Küçüköner, 2019; Silva Simão vd., 2020; Barman vd., 2021). Pestiller üretildiği meyvelerin özelliklerine bağlı olarak farklı fizikokimyasal bileşime sahip olabilmektedir. Dut, erik, kayısı ve üzümden geleneksel yönteme göre üretilen pestillerin nemlerinin 11,3-14,3%, toplam şeker miktarlarının 79,0-87,6%, toplam ham protein miktarının 1,9-4,1%, toplam ham yağın 0,1-2,6% arasında değiştiği raporlanmıştır. Aynı çalışmada pestilin mineral bileşimi arasında yer alan potasyumun 801-5173 mg/kg, kalsiyumun 2318-3828 mg/kg, fosforun 82-1099 mg/kg, sodyumun 203-245 mg/kg, magnezyum 47-75 mg/kg, demir 11-46 mg/kg olarak raporlanmıştır (Ekşi ve Nevzat, 1984).

Gıda ürünlerine olduğu gibi pestil ürünlerinde de su aktivitesi önemli bir kalite faktörüdür. Enzimatik ve enzimatik olmayan reaksiyonlar, mikrobiyal bozunma, lipit oksidasyonu, doku, tat ve aromadaki değişiklikler dahil olmak üzere çeşitli fiziksel, kimyasal ve mikrobiyolojik süreçler su aktivitesinin seviyesinden etkilenmektedir (Kara ve Küçüköner, 2019; Quintero-Ruiz vd., 2012). Bazı çalışmalarda raporlanan su aktivitesi, pH ve asitlik değerleri Çizelge 2.4'teki gibidir.

Çizelge 2.4. Bazı pestil örneklerinin fizikokimyasal özellikleri

Pestil Türü	Su Aktivitesi	pH / Asitlik	Referans
Mango	0,61- 0,67	pH: 3,5 – 3,8	Azeredo vd., 2006
Elma	0,70	pH: 3,29	Quintero-Ruiz vd., 2012
Farklı hidrokolloidler ile nar pestili	0,55	pH: 3,61-3,68	Tontul ve Topuz, 2017
Dut	0,56 – 0,72	Asitlik: 0,15 – 0,22 (%) (sitrik asit)	Yüksel, Yavuz ve Baltacı, 2020
Nar	0,52 – 0,61	pH: 2,52 – 3,71	Ersus ve Hepçimen, 2021

Nakilcioğlu-Taş vd. (2018), dut ve hurma pestil üretiminde kullanılan buğday nişastasının farklı oranlarda keçiboynuzu unu ile ikame edilmesi sonucunda elde edilen geleneksel ürünün protein içeriğinin ve dolayısıyla fonksiyonelliğinin artırılmasını amaçlamıştır. Bu nedenle, nişastaya keçiboynuzu ununun %25, %50 ve %75 oranlarında ikame edilmesi gerçekleştirilmiştir. Yapılan çalışma, keçiboynuzu unu ikamesinin makro besin seviyelerinde kayda değer bir artış olduğunu ve bunun da ürünün besin profilinde genel bir iyileşmeye yol açtığını ortaya koymuştur. Ayrıca duyusal değerlendirmelerde, %25 oranında keçiboynuzu unu ikamesi ile üretilen pestil örneklerinin, görünüm, renk ve tat-koku özellikleri açısından tercih edildiği sonucuna varılmıştır.

Dut pestili üretiminde kullanılan buğday ununa farklı oranlarda hindistan cevizi ununun katılmasıyla (0, 2, 4, 5 g/100 g) elde edilen ürünün kalitesini araştıran bir çalışmada, nihai ürünün nem, kül ve protein içerikleri analiz edilmiş ve hindistan cevizi unu ilavesinin bu bileşenlerin miktarlarında önemli ölçüde artışa sebep olduğu ortaya konulmuştur. Herlenin viskozitesinin hindistan cevizi ununun ikamesi ile önemli ölçüde azaldığı, ancak hidroksimetilfurfural (HMF) ve şeker içeriğinin kabul edilebilir sınırlar içerisinde kaldığı belirtilmiştir. Duyusal değerlendirmeler, 2 g/100g hindistan cevizi unu içeren dut pestilini, daha yumuşak dokusunun yanı sıra gelişmiş aroma ve tadı nedeniyle tercih edildiğini göstermiştir (Yüksel vd., 2020).

Karışık sebze pestili örneklerine uygulanan çeşitli kurutma yöntemleri incelendiğinde, 180 W güçte uygulanan mikrodalga kurutmanın en yüksek kuruma hızı ve en kısa kuruma

süresi sağladığı gözlenmiştir. Sebze pestillerinin kuruma davranışı, teorik ince tabaka modeleri arasında yer alan Page ve Modifiye Page modelleri tarafından en iyi şekilde açıklanmıştır. Fick'in ikinci difüzyon yasası kullanılarak hesaplanan difüzyon katsayısı (D_{eff}) değerleri $2{,}45\times10^{-8}$ ile $9{,}93\times10^{-8}$ m^2/s arasında değiştiği gözlenmiştir. Pestil örneklerinin dokusal özellikleri sıcaklık, basınç ve mikrodalga gücü gibi faktörlerden etkilenmiş olup mikrodalgada kurutmanın ürün kalitesi, mineral içeriği ve doku özellikleri açısından en etkili yöntem olduğu raporlanmıştır (Özkan Karabacak ve Çopur, 2020).

Literatürde yapılan bir çalışmada kivi pestil üretiminde hidrokolloidlerden ksantan zamkı, guar zamkı ve pektinin ürün kalitesine olan etkisi incelenmiştir. Çalışma kapsamında kullanılan bu hidrokolloidlerin %0,2 %0,5 ve %1 olmak üzere ağırlıkça üç farklı konsantrasyonu kivi püresi ile karıştırılarak pestil hamuru hazırlanmıştır ve 60°C'de yaklaşık 7 saat kurutulmuştur. %0,5 ksantan zamkı, %0,5 guar zamkı ve %0,5 pektin ile hazırlanan pestil numuneleri en yüksek duyusal skoru ve beklenen fizikokimyasal özellikleri göstermiştir. Matematiksel ince tabaka kurutma modeli arasında Midilli modelinin kivi pestilinin kuruma davranışlarını açıklayan en iyi model olduğu tespit edilmiştir. Hidrokolloidler kullanılarak geliştirilen pestillerin, nem içeriğinde ve pH değerinde azalma tespit edilirken, askorbik asit ve toplam fenolik içerik üzerinde anlamlı bir farklılık yaratmadığı ortaya konulmuştur (Barman vd., 2021)

Ersus ve Hepçimen (2021) tarafından yapılan bir çalışmada nar meyvesinin yeni ürünler geliştirmek amacıyla pestil üretiminde hammadde olarak kullanılması ve çeşitli formülasyonların fiziksel, kimyasal ve duyusal özelliklere etkileri araştırılmıştır. Çalışma kapsamında jelleştirici olarak % 10 buğday nişastası ve %10 buğday unu kullanılmıştır. Ayrıca %10 buğday unu, %5 şeker ve % 5 yağsız inek sütü karışımından oluşan alternatifin de etkisi irdelenmiştir. Çalışmanın sonucunda, tüm formülasyonların dokusal özellikler açısından tüketilebilir olduğu ortaya konulmuştur. Duyusal analiz sonuçlarına göre, genel özellikler açısından en çok tercih edilen formülasyonun buğday unu, şeker ve süt katkılı nar pestili olduğu belirlenmiştir. Hammaddenin pestile işlenmesi sırasında toplam fenolik madde içeriğinin istatiksel olarak anlamlı bir şekilde azalmasına rağmen tüm formülasyonların toplam fenolik madde (TPC) içeriğinin 2974,75±1,88 ile

4807,92±1,33 mg gallik asit eşdeğeri (GAE) /100 g kuru madde (KM) arasında değiştiği de raporlanmıştır.

Kaktüs meyvesinin fırın tipi ve pilot ölçekli tepsili kurutucu gibi iki farklı teknik ile kurutulmasında, tepsili kurutucunun, üretilen pestil numunelerinin toplam asitliği, toplam fenolik içeriği, antioksidan kapasitesi, rengi ve hidroksimetilfurfural değerleri üzerinde anlamlı bir etkiye sahip olduğu görülmüştür. Tepsili kurutucunun pestillerin toplam antioksidan kapasitesine (%66,91–70,25) ve toplam fenolik madde (1,79–2,01 g GAE/kg) içeriğine olumlu bir şekilde etki bıraktığı sonucuna varılmıştır. Ayrıca, duyusal analiz sonucunda panelistlerin verdiği puanlar ile tepsili kurutucunun lezzet açısından en beğenilen pestilleri ürettildiği sonucuna varılmıştır Diğer taraftan, ürünlerin mineral içerikleri (Na, K, Ca, Mg ve Fe) üzerine kurutucu tipinin istatiksel olarak anlamlı bir şekilde etki etmediği ortaya konulmuştur (Incedayi vd., 2022).

Özkan Karabacak, Durgut Malçok, Tunçkal, Tamer ve Pandiselvam (2023) yaptıkları bir çalışmada, geleneksel kurutma yöntemlerine alternatif olarak kurutma sürecindeki verimliği ve düşük enerji tüketimi ile uygunluğu kabul gören ısı pompası kurutma makinesinin kızılcık-kapiya biber pestilinin kurutulmasında kullanılma olanağını araştırmışlardır. Yüzey tepki yöntemi kullanılarak yapılan optimizasyon sonucunda, kurutma sıcaklığı için 46,68°C ve kızılcık meyvesi posası konsantrasyonu için %44,94 optimum parametreler elde edilmiştir. Çalışma sonucunda tüketiciler açısından yeni bir fonksiyonel ürün olan kızılcık meyve pestil ürünü geliştirilmiştir ve nihai ürünün fonksiyonelliğini artırmak için reçeteye kapya biberi, soğan ve sarımsak ekstraktları ve baharatlar eklenerek ürünün lezzeti ve biyoaktif özelliklerini iyileştirmiştir. Kurutma işlemin pestil örneklerinin toplam fenolik madde içeriğini azalttığını belirtmişlerdir. Diğer taraftan, çalışma kapsamında gerçekleştirilen *invitro* sindirimden sonra, pestil örnekleri daha yüksek biyoerişilebilir β-karoten, α-karoten, lutein ve toplam antioksidan kapasiteye (TAK) (özellikle DPPH yöntemi için) sahip olduğu sonucunu da elde etmişlerdir.

Özkan Karabacak (2023)'ın balkabağı pestilinin kurutma kinetiğini incelediği çalışmada da kurutma işleminin (sıcak hava kurutma, vakum kurutma ve mikrodalga kurutma) nihai

pestil örneklerinin *invitro* sindirimden TFM, TAK ve β-karotenin biyoerişilebilirliğini artırdığını ortaya koymuştur.

Kızılcık pestili ile yapılan bir diğer güncel çalışmada farklı kurutma yöntemlerinin (sıcak hava, vakumlu kurutucu 200 mb sabit basınçta ve 55 ° C, 65 ° C ve 75 ° C sıcaklıkta) nihai ürünün kalite üzerine etkilerinin araştırıldığı çalışmada, vakumlu kurutucunun yüksek kuruma hızı ve etkin nem difüzyon katsayısı elde edilmesini sağladığını ve ayrıca en yüksek antosiyanin içeriği, en düşük HMF oluşumu ve renk değişimlerinin gözlemlendiği kurutucu tipi olduğu sonucuna da varmışlardır (Hosseiny Khesal ve Asefi, 2023).

2.3. Kurutma

Kurutma, gıda ürünlerini korumanın geleneksel yollarından biridir. Kurutmanın temel amacı bünyesindeki suyun gıda matrisinden kısmen uzaklaştırılması ve sonuç olarak raf ömrünün uzatılması ve gıda bozulmasının önlenmesidir (Kutlu, İşci ve Şakıyan Demirkol, 2015). Kurutma sayesinde, gıdanın hacim ve ağırlığında azalma, buna bağlı olarak ambalaj boyutunda küçülme, nakliyede ve depolamada daha düşük maliyet ve kolaylık gibi avantajlar sağlanmaktadır (Al Hilphy, Mohsen, Barba, Lorenzo, Al-Shalah ve Deepak, 2021). Öte yandan, kurutma işlemi, gıdadaki fiziksel ve biyokimyasal değişikliklere bağlı olarak nihai ürünün kalitesini önemli ölçüde etkilemektedir. Gıda matrisindeki bu değişiklikler, kuruma süresi, sıcaklık ve ürünün su aktivitesi gibi faktörlerden etkilenmektedir (Alaei, Dibagar, Chayjan, Kaveh ve Taghinezhad, 2018). Bu nedenle, tüketicilerin kaliteli gıda talebini ve endüstirinin enerji ve zaman tasarrufu gibi beklentilerini karşılamak üzere yenilikçi kurutma ve ön işlem tekniklerine ihtiyaç duyulmaktadır.

2.3.1. Kurutma mekanizması

Kurutma için gerekli ısı, temelde farklı üç şekilde sağlanabilmektedir. Konveksiyon, sıvıyı buharlaştırmak için gerekli ısıyı sağlamak için doğrudan malzemenin yüzeyine uygulanan, genellikle ısıtılmış hava şekilndeki taşıyıcı bir gaz ile olur. İletimde ısı, dolaylı olarak sağlanır ve taşıyıcı gaz yalnızca buharlaşan sıvı fazın uzklaştırılmasına hizmet eder. Radyasyon ise kızılötesi radyasyon gibi nüfuz etmeyen veya radyo frekansı ve mikrodalgalar gibi nüfuz edebilen elektromanyetik dalgaların emisyonunu ile üretilen

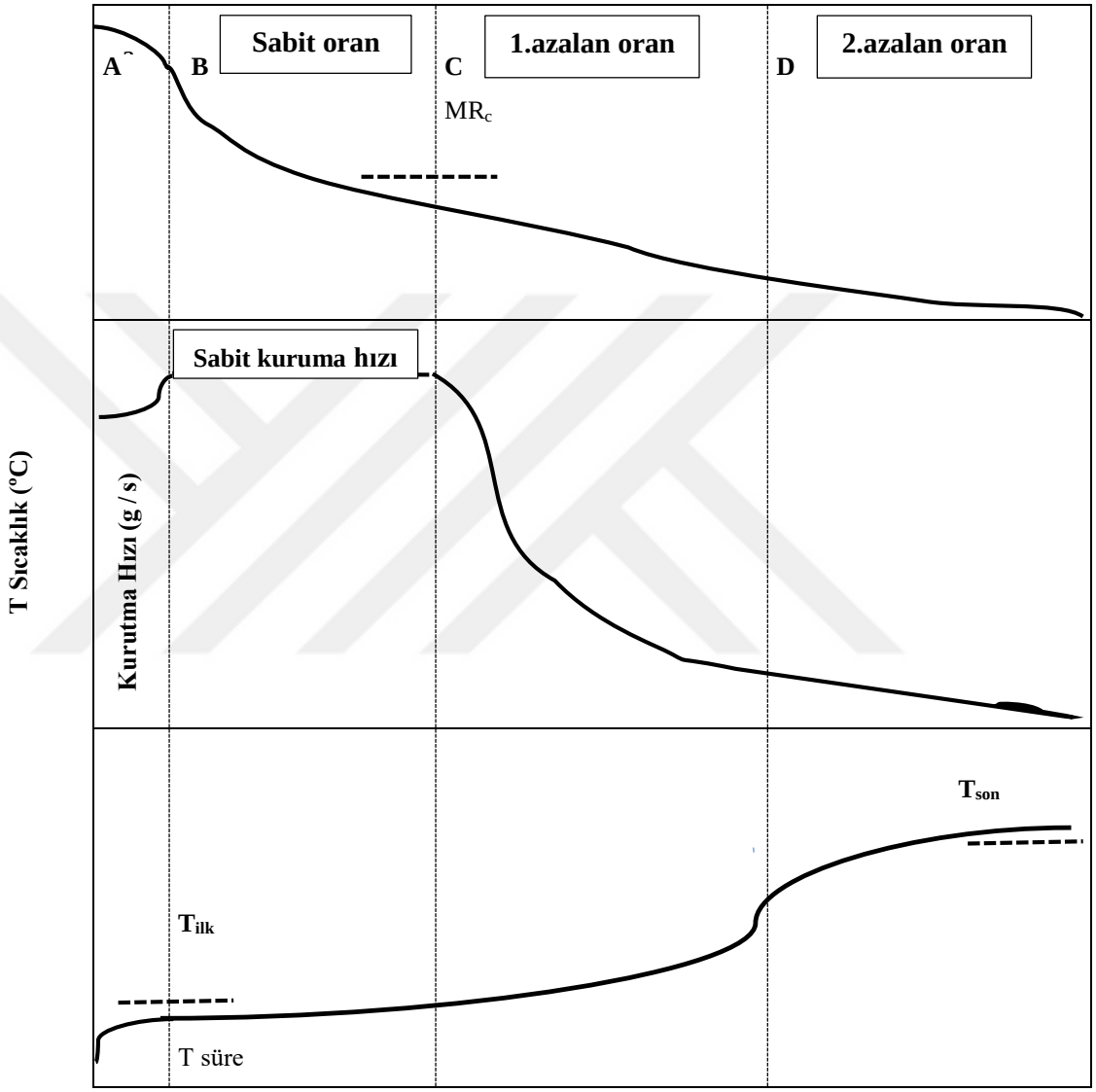
termal radyasyondur. Endüstriyel olarak, çoğu kurutucuda iki veya daha fazla mekanizmanın kombinasyonu ile karşılaşılır ve bunun için kurutma adımının izole olarak kabul edilmemesi, bunun yerine tüm süreç bağlamında gözden geçirilmesi önemlidir (Radoiu, 2020). Doğal kurutma yöntemleri, kurutma hızı ve kurutulmuş ürünün kalitesi üzerinde kısıtlı kontrole sahiptir. Mekanik kurutucular ve aktif kurutucular, kalite gerekliliklerini/standartlarını karşılamak için de kontrol edilebilen daha yüksek kurutma hızına sahiptirler (Babu, Kumaresan, Raj ve Velraj, 2018).

Gıda maddelerinde, ürünün nem içeriği kuruma süresince azalarak, bir noktadan sonra ise sabitlenmektedir. Kuruma hızı ilk saatlerde çok yüksek iken, sürenin ilerlemesiyle azalmaktadır (Lewis, 1921). Kurutma hızı, ürünün özellikleri, tekstürel yapısı boyutu, kalınlığı, kurutma hava hızı, kurutma sıcaklık ve nemi, ürün miktarı gibi özelliklere bağlıdır (Inyang, Oboh ve Etuk, 2018).

Genel olarak, higroskopik ürünler Şekil 2.1' de görüldüğü üzere, önce sabit hızda, ardından düşen hız periyotlarında kurur ve denge sağlandığında kuruma durur. Sabit hız periyodu, ürünün fiziksel formuna, sıcaklık, kurutucu hava hızı, hava akış yönü ve bağıl nem gibi dış koşullar ile yüzey difüzyonunda büyük etkiye sahiptir. Ürün yüzey filmi, kurumuş gibi göründüğünde ve nem içeriği, kritik nem içeriğine düştüğünde, ilk azalan hız dönemi başlar. Sabit oran periyotlardan farklı olarak, düşen hız periyodunda, nem konsantrasyonu farklılıkları, ürünün iç koşullarının bir sonucu olarak sıvı difüzyonu ile kontrol edilir. Azalan oran periyotlarında nem içeriği, sıcaklık ve ürünün yapısı gibi iç koşullar önemli rol oynamaktadır. İlerleyen süreçte, nem konsantrasyonu farkından ve ürünün iç koşullarından dolayı buhar difüzyonu olan ikinci azalan kuruma periyoduna geçiş dönemi başlamaktadır (Babu vd., 2018).

Şekil 2.1'de belirtilen A-B bölgesi; gıdanın yüzey sıcaklığının kuruma sıcaklığı ile dengeye gelme süresidir. Kuruma hızı artıyor gibi gözükse de bu kısa süreli bir durumdan ibarettir. B-C bölgesi; sabit hızda kuruma bölgesidir. Bu bölgede ürün tamamen ıslak kabul edilir ve dış etkenlere bağlı olarak kuruma gelişir. Bu periyotta kurumanın başlangıçlarında ve genelde kısa süreli görülür. C-D bölgesinde kuruma hızı azalmaya başlar. Ürün yüzeyinde ilk kuru noktanın oluştuğu seviye kritik nokta olarak adlandırılmaktadır. Bu noktada sabit kuruma periyodunun bittiğini de göstermektedir.

Ürün yüzeyindeki ıslak alan miktarı azalmaya başlamaktadır ve bu dönemde difüzyon etkilidir. Gıdaların genellikle bu dönemde kurudukları bilinmektedir. D-E bölgesi; ikinci azalan bölgedir. D noktasında artık ürün yüzeyi tamamen kuru olduğu belirtilmektedir (Babu vd., 2018; Inyang vd., 2018; Radoiu, 2020).



Şekil 2.1. Gıda ürünlerinin kuruma eğrisi (x ekseni zamanı ($T_{süre}$), y ekseni kurutma hızını (g/s) göstermektedir)

2.3.2 İnce tabaka kurutma kuramı ve modelleri

İnce tabaka kurutma modelleri, gıda ve tarım ürünlerinin kurutma kinetiğinin analiz edilmesine yardımcı olarak, ürün kalitesinin korunmasına, hasat ve işleme sırasında

ortaya çıkabilecek kayıpların azaltılmasına destek olabilecek yaklaşımlardır (Inyang vd., 2018). İnce tabaka, tabaka halindeki ürünün her yerindeki hava özelliklerinde değişiklik olmaksızın aynı şekilde üniform olduğu düşünülerek, ince ürün kalınlığına sahip tabakayı ifade etmektedir. İnce tabakalı kurutma işlemi, kurutma havasına tamamen maruz kalan malzeme parçacıklarının veya taneciklerinin kurutulmasını ifade etmektedir. İşlem, genellikle, sabit kurutma hız dönemi ve azalan kurutma hız dönemi olmak üzere iki kurutma dönemine ayrılır. Uygulamalarda genelde gıda ürünlerinin kuruması azalan oran döneminde gerçekleşir. Azalan oran döneminde kurutma iki süreci içermektedir. Malzeme içindeki nemin yüzeye olan hareketi ve yüzeyden nemin uzaklaştırılması şeklindedir. İnce tabaka kurutma, denge nem içeriğine ulaşılana kadar fazla kurutma havasının ince bir malzeme tabakasından geçirildiği buharlaştırma yoluyla gözenekli bir ortamdan nemin uzaklaştırılması işlemi olarak da tanımlanmaktadır. Kurutma işlemi sırasında meyve ve sebzelerin kurutma kinetiğini en az etkileyen faktörlerin hava hızı ve bağıl nem olduğu, meyve ve sebzelerin ince tabaka kuruma kinetiğini en çok etkileyen faktörlerin ise sıcaklık ve kalınlık olduğu bildirilmiştir (Stegou-Sagia ve Fragkou, 2015; Aquino Brito Lima-Corrêa, dos Santos Andrade, da Silva, Freire ve Ferreira, 2017). Kurutma sistemlerinde, uygun kurutma koşullarının optimizasyonu için farklı denklemler yardımı ile çeşitli matematiksel modeller uygulanmaktadır.

İnce tabaka kurutma denklemleri teorik, yarı teorik ve ampirik modeller olmak üzere üç kategoriye ayrılmaktadırlar (Fernando ve Amarasinghe, 2016; Inyang vd., 2018). Teorik modeller sadece nem transferindeki iç direnci dikkate alırken, diğer iki kategorinin hava ve ürün arasındaki nem transferine karşı dış direnci incelemektedir (Whitaker, Barre ve Hamdy, 1969; Henderson, 1974).

Teorik modeller, Fick'in ikinci difüzyon yasasından türetilmiştir. Yarı teorik modeller genellikle Fick'in ikinci yasası ile modifikasyonlarından ve ayrıca Newton'un soğutma yasasından türetilmiştir. Fick'in ikinci difüzyon yasası, yaygınlıkla kullanılan teorik modeldir. Teorik modeller pratik uygulamalar için biraz karmaşıktır. Teorik modeller, önemli sayıda hataya yol açabilecek fazla varsayımda bulunması nedeniyle de kurutucuların tasarımında kullanımları sınırlandırılmaktadır. Teorik bir denklem, taşıma süreçlerinin daha iyi anlaşılmasını sağlar, ancak ampirik bir denklem, ilgili taşıma süreçlerine yoğunlaşmadan deneysel veriler ile daha iyi uyum sağlamaktadır. Ampirik

modeller hem bağımlı hem de bağımsız deneysel ya da süreç değişkenlerinin eğilimini anlamaya yardımcı olur. Ampirik modellerin karşılaştığı temel zorluklar, büyük ölçüde deneysel verilere dayanmaları ve kurutma işlemi sırasında ısı ve kütle transferi hakkında sınırlı bilgi sağlamalarıdır. Yarı teorik modeller, Fick'in ikinci yasasının basitleştirilmiş genel seri çözümleridir. Ancak bu modeller, yalnızca modelin geliştirildiği nem, sıcaklık, bağıl nem ve hava hızı aralığında çalışmaktadır. Yarı teorik modellerde zamana bağımlılık daha azdır ve kurutulan malzemelerin şekilleri dikkate alınmamaktadır (Whitaker vd., 1969; Henderson, 1974; Fernando ve Amarasinghe, 2016; Babu vd., 2018; Inyang vd., 2018). Yarı teorik modeller arasında Henderson ve Pabis, Lewis, Page ve Modified Page olmak üzere iki terimli modeller bulunmaktadır (Panchariya, Popovic ve Sharma, 2002).

Kurutma davranışını karakterize etmek için ince tabakalı kurutma modelleri kavramı, ilk olarak, Newton'un soğutma yasasına benzer olan, gözenekli higroskopik malzemeler için kullanılabilecek yarı teorik modeli türeten Lewis tarafından önerilmiştir (Lewis, 1921).

İlk olarak mısırın model kurutulması için kullanılan Henderson ve Pabis modeli, Fick yasasından yararlanılarak oluşturulmuş ancak dane ile hava arasındaki yüksek derecedeki sıcaklık farkı nedeniyle, model mısırın ilk bir veya iki saatlik kurutulması sırasında uygulanamamıştır (Henderson, 1961). Lewis modeline boyutsuz bir ampirik sabit (n) ekleyerek Page modeli geliştirilmiş ve kabuklu mısırların kuruma davranışını incelemek için kullanmıştır (Page, 1949). Soya fasulyesinin kurutma kinetiğini incelemek için Page modelindeki revizyonlar sonrası modifiye Page denklemi geliştirilmiştir (Overhults, White, Hamilton ve Ross, 1973). Logaritmik model ise Handerson ve Pabis modeline ampirik bir terimin eklenmesiyle elde edilmiştir (Chandra ve Singh, 1994). Pirincin kuruma davranışları için Wang ve Singh deneysel modeli (Wang ve Singh, 1978), tek katmanlı kurutma işlemi için yeni ampirik Midilli modeli (Midilli, Kucuk ve Yapar, 2002) kuruma davranışlarının incelenmesi için kullanılmıştır.

Gıdaların ince tabaka şeklinde kurutulmasında modelleme kavramı, uygun matematiksel modellerden yararlanılarak zamana karşı nem oranının tahminine dayanmaktadır. Çizelge 2.5’de literatürde sıklıkla kullanılan ince tabaka kurutma modellerine örnekler sunulmuştur.

Çizelge 2.5. İnce tabaka kurutma model örnekleri

Model	Denklem	Kaynakça
Lewis (Newton)	MR= exp (-kt)	(Lewis, 1921)
Page	MR = exp ($-kt^n$)	(Page, 1949)
Modifiye Page	MR = exp [$-(kt)^n$]	(Overhults vd., 1973)
Henderson & Pabis	MR = a exp (-kt)	(Henderson, 1961)
Logaritmik	MR = a exp (-kt) + c	(Chandra ve Singh, 1994)
Wang ve Singh	MR = 1 + at + bt^2	(Wang ve Singh, 1978)
Midilli	MR = a exp($-kt^n$) + bt	(Midilli vd., 2002)

MR: nem oranı, a, b, c: kurutma katsayıları, k: kurutma sabiti, t: kurutma süresi

İnce tabaka kurutma modelleri gıdaların kurutulması sırasında başarıyla uygulanmıştır. Bu çalışmalarda havuç dilimlerinin kuruma kinetiğini açıklayan en uygun modelin Page ve Modifiye Page modelleri olduğu (Tüfekçi ve Özkal, 2018), farklı ön işlemlerle yaban armudunun kurutulmasının incelendiği çalışmada Logaritmik ve Newton modelleri (Toğrul, Çelebi ve Toğrul, 2019), kivinin sıcak hava ile kurutulmasında en uygun matematiksel modelin Page modeli olduğu (Diken, Aktas ve Kayislioglu, 2020), portakalın kurutulmasında en iyi uyum sağlayan modelin Modifiye Page olduğu (Polatcı ve Taşova, 2020) sonucuna varılmıştır. Bu kapsamda bazı pestil kurutma çalışmalarında da farklı ince tabaka matematiksel modellemeler incelenmiş, en iyi uyumu gösteren modeller Çizelge 2.6' da raporlanmıştır.

Çizelge 2.6. Pestil çalışmalarında en iyi uyumu gösteren kurutma model örnekleri

Pestil Türü	Model Adı	Tahmin Değerleri	Referans
Hint inciri pestili	Page	R^2: 0,991-0,9993 $\chi 2$: 0,299 × 10^{-4} – 30,80 × 10^{-4}	Abraham-Juárez, Olalde-Portugal, Cerón-García, ve Sosa-Morales, 2019
Muşmula pestili	Page ve Modifiye Page	R^2: 0,9887-0,9981 χ^2: 0,89 × 10^{-4} – 772,8 × 10^{-4} RMSE: 0,002510-0,081725	Suna, 2019
Dut pestili	Page ve Modifiye Page	R^2: 0,9997 RMSE: 0,000927 χ^2: 0,000011	Suna ve Özkan-Karabacak, 2019
Kivi pestili	Midilli	R^2: 0,967 – 0,963 RMSE: 0,025- 0,063	Barman vd., 2021
Havuçlu domates pestili	Wang ve Singh	R^2:0,9986 χ^2: 1,95 × 10^{-4} RMSE: 0,002817	Özkan Karabacak, 2021
Havuçlu kırmızıbiber pestili	Page ve Modifiye Page	R^2: 0,9769 – 0,9971 χ^2: 1,77 x 10^{-4} – 20,53 x 10^{-4} RMSE: 0,003109 – 0,011212	Özkan Karabacak, 2021
Havuç+kırmızı biber pestili	Page ve Modifiye Page	R^2:0,9879 – 0,9984 χ^2: 1,84 x 10^{-4} – 10,17 x 10^{-4} RMSE: 0,003572 – 0,008405	Özkan Karabacak, 2021
Muşmula pestili	Midilli model	R^2:0,99877 – 0,999567 χ^2: 0,03 x 10^{-4} – 12,2 x 10^{-4} RMSE: 0,000425 – 0,010534	Sarkar, Saha, Salauddin ve Chakrabortyr, 2021
Mango pestili	Midilli	R^2:0,999479- 0,999998 RMSE: 0,000425- 0,010534	Sarkar vd., 2021

2.3.3. Kurutma teknolojileri

Kurutulmuş meyve, sebze ve aromatik bitkilerin kalitesi, yeni kurutma tekniklerinin geliştirilmesi ve optimizasyonu ile konular oldukça ilgi çekmektedir. İncelenen kalite parametreleri arasında renk, kütle yoğunluğu, gözenek yapısı, dehidrasyon ve rehidrasyon kapasiteleri, fitokimyasallar, antioksidan kapasite, şekerler, proteinler, uçucu bileşikler ve duyusal özellikler gibi analizlere yer verilmektedir. Genel olarak kurutma, incelenmekte olan tüm parametrelerde azalmaya yol açmaktadır. Ancak her bitki materyalinin kuruma davranışı farklılık göstermektedir. Kurutma protokollerinin uygun

bir şekilde değerlendirilmesinden sonra uygun koşullar önerilmektedir. Yeni veya kombine bir teknikten beklenti yüksek kalitede kurutulmuş ürün sunmasıdır. Ayrıca, günümüz kalite terimi, sürdürülebilir yaklaşımlarla üretime yön veren, enerji verimliliğini ve olumlu çevresel etkileri de içermelidir (Calín-Sánchez vd., 2020).

Endüstriyel üretimlerde sıklıkla konvektif (sıcak hava ile), mikrodalga, vakumlu, ozmotik, dondurarak, kızılötesi, sprey, puf, köpük, elektrohidrodinamik veya hibrit kurutma gibi alternatif yöntemler güneşte veya gölgede kurutmanın yerine kullanılabilmektedir. Dondurarak kurutma yöntemi, besin içeriğinin diğer yöntemlere göre daha iyi korunmasına rağmen, kurutma için daha uzun süre gerektirmektedir. Sprey ve köpük kurutma yöntemleri genellikle sıvı formdaki ürünler için tercih edilir ve besinsel kalite, kurutma süresi ve enerji tüketimi açısından avantajlar sağlayabilmektedir. Puf kurutma yöntemi, kızılötesi kurutma ve elektrohidrodinamik kurutma ise gelişmekte olan yöntemlerdendir (Günaydın, Sağlam ve Çetin, 2022).

Hâlihazırda gıda endüstrisinde kullanılan geleneksel kurutma teknolojileri, genel üretim giderlerinin yaklaşık %15'ini oluşturan, yüksek sera gazı emisyonlarına sahip, enerji yoğun süreçler olarak kabul edilen sıcak hava bazlı sistemlerdir. Gıda maddelerinin korunması için kullanılan en yaygın kurutma işlemleri, yüksek enerji tüketimi kanıtlamış geleneksel termal kurutmalardır. Yeşil teknolojinin ve sürdürülebilir yöntemlerin uygulanmasına doğru ilerleyen dünyada alternatif enerji verimliliğine sahip kurutma sistemlerinin araştırılması ve kullanımı büyük önem taşımaktadır (Menon, Stojceska, ve Tassou, 2020).

Kurutma amacıyla geleneksel enerji kaynaklarının yerine potansiyel bir ikame olarak güneş enerjisinin uygunluğu farklı çalışmalarla desteklenmektedir. Güneş kurutucuları hava hareketi şekli (pasif ve aktif), ısı transfer modu (doğrudan ve dolaylı, hibrit) ve kurutma odası tipi (dolap, sera ve çadır) dikkate alınarak sınıflandırılmaktadır. Kullanılan tekniğe bağlı olarak güneş enerjisiyle kurutma, CO_2 emisyonlarını ayda 6400 kg'a kadar düşüş sağlamaktadır (El Hage, Herez, Ramadan, Bazzi, Khaled, 2018). Bununla birlikte, güneş enerjisi kurutucuları bulutlu havalarda çok az kullanılabilmesi kurutma koşulları üzerinde kısıtlı etki sağlamaktadır. Bu sorunlarla mücadele etmek için güneş enerjisi kurutucuları diğer yardımcı enerji kaynakları ile

desteklenir ve 'hibrit güneş kurutucusu' olarak adlandırılır. Bu kurutucular, güneş radyasyonu olmadığında bile sistemi çalıştırmak için güneş enerjisi, elektrik, ısı pompaları, biyokütle enerjisi vb. gibi diğer enerji kaynakları ile desteklenebilir. Son yıllarda birçok araştırmacı yeni hibrit güneş enerjisi kurutma sistemi tasarımları gerçekleştirmiş ve bunun üzerine, çeşitli hibrit güneş kurutucu tasarımı, kapasitesi, performansı ve bu kurutucuların çeşitli tarımsal ürünlerin kurutulmasında kuruma davranışlarını incelemiştir (Jha ve Tripathy, 2021).

Isı pompaları enerji tasarrufu sağlayan, kurutulmuş ürün maliyetini azaltan ve ürün kalitesini optimize edilebilecek yöntemlerdendir. Bu tip kurutuculardа gizli ısıyı, su yoğuşması ile geri kazanmak için bir soğutucu kullanılır. Enerji verimliliğine katkıda bulunan, olumsuz çevresel etkileri azaltan ve ürün kalitesini artıran geliştirilmiş konveksiyonlu kurutuculardır. Proseste, kuru ısıtılmış hava ürüne verilir ve bunun sonucunda nemli hava açığa çıkar. Hava, yoğunlaştığı ısı pompası evaporatörüne gider ve buharlaşmanın gizli ısısının kurutma havasının yeniden ısıtılması için yeniden kullanılmasına izin verir. Bu kurutma yönteminin avantajı, geleneksel sıcak hava kurutucuya kıyasla bağıl nem düşüşü nedeniyle zaman ve sıcaklığın azaltılmasıdır (Rahman, 2020).

Kırınımlı pencereli kurutma tekniği üç tip ısı transfer mekanizması içermektedir: (i) konveksiyon, (ii) iletim ve (iii) radyasyon. Tüm bu ısı transfer modları, enerjinin verimli kullanılmasına destek olmaktadır. Refraktans penceresinde, kullanılan ürün sıvı veya yarı sıvı halde olmalıdır. Ürün, ısıtılmış dolaşımdaki su alanında yüzen, kızılötesi şeffaf plastik bir konveyör bant yüzeyine uygulanmaktadır. Bu yöntem, kızılötesi enerji geçtiğinde bir pencere oluşturarak su yüzeyinin yansıması prensibi ile çalışır. Kızılötesi pencere, ıslak ürün ile şeffaf plastik arasındaki temas ile doğrudan kızılötesi enerji transferine izin verir. Kırınım penceresi dehidrasyonu, ısıya duyarlı gıdalar için iyi bir seçenek olan atmosferik basınç ve daha düşük sıcaklıklarda bile (~30°C) gerçekleştirilebilmektedir. İşlenmiş gıdalarda üstün kalite sağlamak ve yüksek besin değerini korumak için geleneksel kurutma işlemlerinin yerini alacak bir yöntem olarak belirtilmektedir. Refraktans pencereli (RW) kurutma, kurutma hızını hızlandıran yüksek ısı ve kütle transfer oranlarına sahip ince film kurutma sistemidir (Menon vd., 2020; Shende, Kour ve Datta, 2020; Tontul, Eroglu ve Topuz, 2019).

Kombine kurutma yöntemleri, seçilen yöntemlerin avantajlarını birleştirerek ve tek bir teknik uygulandığında ortaya çıkan olumsuzlukları veya etkileri azaltan sistemlerdir. Aşağıdaki yöntemler gıda endüstisinde uygulanabilirlikleri kanıtlanmış sistemlerden bazılarıdır.

Mikrodalga destekli konvektif kurutma literatürde yapılan çalışmalarda kullanılan kombine yöntemlerinden birisidir. Sıcak hava, kurutulmuş meyveler, sebzeler ve aromatik bitkiler için etkili bir kurutma ortamıdır. Konvektif kurutmanın uzun kuruma süresi ve yüksek sıcaklıklar nedeniyle ürün yüzeyinde kabuk oluşumu gibi dezavantajları mikrodalga destekli konvektif kurutma ile azaltılabilmektedir. Sıcak hava, ürünlerin yüzeyindeki bağlanmamış nemi azaltırken, mikrodalga enerjisi, hacimsel ısıtma yoluyla ürünün içinden bağlı nemi ortadan kaldırır. Bununla birlikte, mikrodalgaların prosese en uygun şekilde dahil edilmesi gereken zamanın tespiti için kurutma hızı düşmeye başladığında mı veya kurutma hızı düştüğünde mi gibi soruların yanıtları için ilave çalışmalara ihtiyaç vardır (Kumar ve Karim, 2019; Abbaspour-Gilandeh, Kaveh, Fatemi ve Aziz, 2021).

Vakum-mikrodalga kurutma, kurutulmuş ürünlerin kalitesini artırma potansiyeline sahip, geleneksel kurutma dezavantajlarının üstesinden gelebilecek modern bir tekniktir. İşlem, hızlı kütle aktarımı ve düşük sıcaklık sağlayan vakum kullanımı sistemini içermektedir. Hızlandırılmış bir enerji aktarımını garanti eden mikrodalga ısıtma ile birleştirildiğinden, bu kombine kurutma sistemi daha hızlı ve düşük sıcaklıkta kurutma gerçekleştirilmesini sağlamaktadır. Ayrıca kurutma sırasında hava olmaması ürünün oksidasyonunu engellemektedir. Bu sistem gıda endüstrisinde henüz çok yaygın olmamakla birlikte meyve, sebze ve aromatik bitkiler gibi daha kaliteli elde etmek için bu yöntemi başarıyla uygulayan çok sayıda bilimsel çalışma mevcuttur (Calín-Sánchez vd., 2013; Figiel ve Michalska, 2016).

Konvektif kurutmayı vakumlu-mikrodalga kurutma ile birleştirmek, daha düşük proses maliyeti ve daha düşük enerji tüketimi ile iyileştirilmiş kalite ürünler elde edilmesini sağlamaktadır. Proses iki aşamadan oluşmaktadır: ilk aşamada, taze ürün bir konvektif ön kurutmaya tabi tutulup, ardından ürü bir vakumlu mikrodalga kurutmasının uygulandığı ikinci aşamaya tabi tutulur. Bu iki kombine kurutma işleminin ayrı ayrı

uygulanan yöntemlerden herhangi birinden daha etkili olduğu rapor edilmektedir. Çok sayıda meyve ve bitkide kalite üzerindeki olumlu etki gözlemlenmiştir (Figiel, 2010; Nowicka, Wojdylo, Lech ve Figiel, 2015; Kwaśnica vd., 2020).

Kesikli mikrodalga konvektif kurutma yönteminde, konveksiyonlu kurutmaya kıyasla kuruma süresinin önemli ölçüde azaldığı ve ürün kalitesinin iyileştiği, sürekli mikrodalga konvektif kurutmada devam eden aşırı ısınma sorununun önüne geçildiği raporlanmıştır. Ayrıca, sıcaklık dağılımının tek biçimli olmaması mikrodalga kurutmanın en büyük dezavantajlarından biridir ve mikrodalga gücü aralıklı olarak sağlandığında bu olumsuzluk en aza indirilebilir (Vadivambal ve Jayas, 2010; Kumar, Karim, Joardder, 2014; Duc Pham vd., 2019; Calín-Sánchez vd., 2020). Pestillerin kurutulması aşamasında bu üç tekniğin uygulanmasının fayda sağlayacağı düşünülmektedir

Kurutma nihai ürün kalitesi kabul edilebilirliği etkilemektedir. Pestillerin tekstürü, kurutma yöntemlerine ve koşullarına bağlıdır ayrıca tüketiciler tarafından kabul edilebilirliği etkileyen en kritik parametrelerden biridir (Silva Simão vd., 2020). Konvektif kurutma, basit ve ekonomik olması nedeniyle pestil üretiminde sık kullanılan tekniklerden biridir (Roknul Azam, Zhang, Law, Mujumbar, 2018; Ozkan Karabacak, 2019; Eyiz, Tontul ve Türker, 2020; Ozkan Karabacak ve Copur, 2020; Ozkan Karabacak, Suna, Dorak ve Copur 2021; Sarkar vd., 2021; İncedayı vd., 2022; Nizamlioglu, Yasar ve Bulut; 2022; Ozkan Karabacak, 2023). Bunun yanısıra vakumda kurutma (Ozkan Karabacak, 2019; Ozkan Karabacak ve Copur, 2020; Eyiz vd., 2020; Ozkan Karabacak vd. 2021; Ozkan Karabacak, 2023), güneşte kurutma (Sarkar vd., 2021; Nizamlioglu vd., 2022), mikrodalga (Ozkan Karabacak, 2019; Ozkan Karabacak, 2020; Sarkar vd., 2021; Ozkan Karabacak, 2023), dondurarark kurutma (Sarkar vd., 2021), ısı pompası (Ozkan Karabacak vd., 2023a), kırınımlı pencere kurutma (Shende vd., 2020), mikrodalga destekli konvektif kurutma (Tontul ve Topuz, 2017; Roknul Azam vd., 2018) pestil kurutulmasında kullanılan teknikler arasında yer almaktadır. Ancak vakum-mikrodalga kurutuma, konvektif destekli vakumlu-mikrodalga kurutma ve kesikli mikrodalga konvektif kurutma yöntemlerinin literatürde yapılan çalışmalarda henüz pestillerin kurutma aşamasında uygulanmadığı belirlenmiştir.

2.4. Ön İşlemler

Meyve ve sebzelerin kurutulma sürecinde, raf ömrünü uzatmak, tüketici beklentisini karşılayacak kaliteye ulaşmak, zaman ve enerji verimliliğini artırmak amacıyla bazı ön işlemler kullanılmaktadır. Meyve ve sebzelerde kurutma işlemi sırasında oluşan üst yüzeyindeki koruyucu tabakaların varlığı, kurutma işlemi sırasında nemin buharlaşmasını engellemekte, kuruma süresinin uzamasına ve son ürünün genel kalitesinin düşmesine yol açmaktadır. Bu nedenle, geçirgenliği artırmak, kurutmayı hızlandırmak, enzimlerin etkin bir şekilde inaktivasyonunu sağlamak ve oksidasyona engel olmak amacıyla kurutmadaki bazı dezavantajları azaltmak ve gidermek adına kurutma öncesi ön-muamele teknikleri üzerine çalışmalar yapılmaktadır (Srimagal, Mishra ve Pradhan, 2017).

Konvansiyonel ön işlemler genellikle sıcak su ile haşlama, buharda haşlama, hiperozmotik solüsyon, alkali solüsyonlar, sülfatlama ve asit ile muameleleri içerir. Bu ön işlemlerin, kuruma süresini kısaltarak ve kaliteyi artırarak kurutma işlemi üzerinde olumlu etkileri olmasına rağmen, özellikle uzun süreli kurutma sırasında kimyasal absorpsiyon, kalite bozulması, yetersiz rehidrasyon, yapısal çökme, besin kayıpları ve yüksek enerji tüketimi gibi olası sorunları da ortaya çıkarabilmektedir. Dolayısıyla, kurutma prosesini daha da iyileştirmek ve geliştirmek için yeni ısıl ve ısıl olmayan ön işlemler de araştırılmaktadır. Yeni ön işlem tekniklerinin geliştirilmesi ve uygulanması, kuruma süresini kısaltmakla birlikte kuruma hızını artırmaktadır, nem dağılımını iyileştirmektedir ve enerji tüketimini azaltmaktadır. Aynı zamanda kurutulmuş ürünlerin fonksiyonel ve besinsel kalite özelliklerini gelenekselden daha iyi hale getirebilmektedir (Bassey, Cheng ve Sun, 2021). Bu tip ihtiyaçlar doğrultusunda, soğuk plazma (CP), darbeli elektrik alanı (PEF), yenilebilir film kaplama, ultrasonikasyon termal olmayan, yüksek nemli sıcak havayla haşlama (HHAIB), kızılötesi haşlama (IRB) ve mikrodalga (MW) gibi alternatif termal teknikler araştırılmıştır (Bassey vd., 2021).

2.4.1 Ultrasonikasyon (US)

Ultrases, 20 kHz veya daha yüksek sonik dalgalarla üretilen bir enerji şeklidir. US süreci, frekans ve güç miktarına göre yüksek frekanslı düşük güç (>100 kHz, MHz aralığı) ve düşük frekanslı yüksek güç (20–100 kHz) olarak sınıflandırılmaktadır (Bassey vd., 2021).

Ultrasonikasyon sürecinde (US), akustik akış, kavitasyon, sonoporasyon gibi mekanik hem de termal faktörlerin neden olduğu mikrokanalların oluşturulması için sıklıkla yüksek frekanslı ultrason dalgaları kullanır (Wang vd., 2018). US sürecinde oluşan en önemli mekanizmalardan olan kavitasyon; ses dalgasının bir sıvıdan geçerken basıncının düştüğü noktalarda moleküllerin arasındaki mesafenin normalin üstünde seyretmesi ile kabarcık oluşumuna neden olmaktadır. Sürekli ses dalgalarına tabi olan maddede meydana gelen kabarcıkların giderek büyümesi sonucunda ise kabarcıklar daha fazla enerji absorblayamayacak kritik hacme eriştiklerinde iç kısma doğru sönümlenmektedir. Dolayısıyla, kavitasyon balonlarının iç patlamaları oluştuğu yerlerde yüksek seviyede bir enerji birikimi oluşmaktadır. Oluşan enerji ile ortamda ısı transferi gerçekleşmektedir. Bunun sonucundaki yüksek sıcaklık ve basınçtan dolayı kavitasyon alanında yüksek enerjili kesme dalgaları ve türbülans oluşmaktadır (Yıldız, 2021).

Ultrasonikasyon (US), gıda endüstrisinde kapsamlı uygulamaları olan esnek ve ısıl olmayan bir teknolojidir. Ultrases tekniği gıda endüstrisinde kurutma, çözündürme, renk açma, pastörizasyon, ekstraksiyon, karışımların emülsiye edilmesi, düzenli kristalizasyon, etlerin, likör ve şarapların olgunlaşmasının hızlandırılması gibi farklı pek çok işlemlerde kullanılmaktadır (Sala, Burgos, Condon, Lopez ve Raso, 1995; Dehghannya, Aghazade-Khoie, Khakbaz Heshmati ve Ghanbarzadeh, 2020; Huang vd., 2020; Wang, Zhu, Cai, Zang ve Wang, 2020; Zhou vd., 2021; Doner ve İçier, 2024; Wang vd., 2024). Meyve sebzelerin kurutulma işlemlerinden önce US ile ön muamelesinin, gıda kalitesini geliştirici etkilere sahip olduğu tespit edilmiştir. Gelişmekte olan teknolojiler arasında, kurutma işlemini hızlandırmak için çeşitli meyve ve sebzelerin konvektif kurutulmasından önce bir ön işlem olarak ultrases dalgalarının kullanılması, kütle transferinde artış dolayısıyla da toplam kurutma süresinde azalış, fonksiyonel bileşenlerin korunması, enzimlerin inaktive edilmesi ve rehidrasyon özelliklerinin iyileştirilmesi gibi çeşitli sonuçlar ile raporlanmıştır. Genel olarak, US işlemindeki titreşim etkisi, meyve ve sebzelerin yüzeyinde bozulmalara ve yüzey hava basıncında farklılıklara neden olarak, dokularda mikrokanallar oluşturmakta ve bu mikrokanallar, kurutma sırasındaki yüzeyde oluşan belirgin sıcaklık artışlarının neden olduğu nem transferine karşı oluşan direnci düşürerek, kütle transferini hızlandırmaktadır. Böylece kurutma süresinde azalma, enerji tüketiminde tasarruf ve kurutulmuş ürün kalitesinin korunması sağlanır (Bassey vd., 2021; Bozkır, Rayman, Serdar, Metin ve Baysal, 2019a; Huang vd., 2020; Önal vd.,

2021). Acı kavunun sıcak hava kurutma ve radyofrekans sıcak hava kurutma çalışmasında uygulanan US ön işlemi, kuruma süresinde sırasıyla %11,2 ve %33,4 azalma, daha iyi dokusal özellikler, rehidrasyon kapasitesinde artış, askorbik asit ve fenolik içeriklerin korunmasında daha yüksek etki göstermiştir (Jin, Zhang ve Shi, 2019). Trabzon hurmasının kurutulmasında, sıcak hava kurutma öncesi uygulanan US ile kurutma hızında önemli bir artış, kuruma süresinde 135 dakikalık bir azalma olacak şekilde, etkili nem yayılımında %21 artış tespit edilmiştir (Bozkir vd., 2019b). Galvão, Rodrigues, ve Fernandes (2020), elma küplerinin akışkan yataklı kurutucuda kurutulmasından önce uygulanan US ön işleminin, 50 °C' lik yüksek kurutma sıcaklığına kıyasla, 30 °C gibi düşük bir kurutma sıcaklığında, kuruma süresi ve nem yayılımı üzerinde önemli ölçüde olumlu etkiye sahip olduğunu bildirmiştir. Çileklerin vakumla dondurulmasından önce 40 kHz frekansta ultrason banyosu ile ön işleme tabi tutulmasında, ön işlemsiz numunelere kıyasla geliştirilmiş renk, antosiyanin, toplam fenoller ve flavonoidler ile daha yüksek antioksidan kapasite rapor edilmiştir (Zhang vd., 2020). Benzer bir şekilde, eriklerin 55 °C sıcak havada kurutulmasından önce, 25 kHz'lik frekansta ultrasonik 30 ve 60 dakikalık ön banyosu, fenolik, antioksidan ve tekstürel özelliklerde gelişme ile β-karoten içeriğinde %5,46 ile %17,62 lik artışa yol açtığı tespit edilmiştir (Li vd., 2021).

Literatürde, mikrodalga ve konveksiyonel kurutucu işlemlerinden önce ultrasonik ön işlemin gerçekleştirildiği birçok çalışma bulunmaktadır. Bunlardan bazıları; ahududu (Szadzinska Łechtańska, Pashminehazar, Kharaghani ve Tsotsas, 2018), tatlı patates (Lagnika vd., 2018), fesleğen (Sledz, Wiktor, Nowacka ve Witrowa-Rajchert, 2017), limon (Deepika ve Sutar, 2018), sarımsak (Tao vd., 2018), elma (Mothibe, Zhang, Mujumdar, Wang, Cheng, 2014), ve yeşil biber (Szadzinska, Łechtanska, Kowalski ve Stasiak, 2017) gibi meyve sebzelerin kurutulması hakkındaki çalışmalardır.

Literatürde yapılan çalışmalarda, enzim (pektinmetilesteraz, polifenoloksidazlar ve peroksidazlar) ve mikrobiyal inaktivasyonun yeterli seviyelerde olması için ısı ve/veya basınç gibi işlemlerle birlikte kullanılması önerilmektedir (Bozkır, 2020). Peroksidaz (POD), yüksek termal stabilitesi nedeniyle sebze haşlamanın etkinliğini değerlendirmek için kullanılabilen bir enzimdir (López vd., 1994). Çoğu çiğ meyve ve sebzelerde bulunan POD, kötü tatların ve esmerleşme pigmentlerinin gelişimini etkiler. Kombine ultrases ve

ısıl işlem için tek başına ısıl işlemle karşılaştırıldığında daha yüksek inaktivasyon oranı gözlemlenmektedir (O'Donnell vd., 2010). Ultrasonikasyonun ısıl işlemle birlikte kullanılması "termosonikasyon" olarak tanımlanmıştır. Literatürde, termosonikasyon işlemi sırasında oluşan kavitasyonun, hidrojen bağlarını kırdığı ve bu nedenle proteinlerin ve enzimlerin polipeptid zincirlerindeki Van der Waals etkileşimlerinde değişikliklere neden olduğu belirtilmektedir. Bu durum, enzimlerin biyolojik aktivitelerinin kaybolmasına yol açmaktadır (Bozkır, 2020).

2.4.2 Mikrodalga (MW)

Mikrodalgalar, 300 MHz ila 300 GHz arasında değişen frekansa sahip elektromanyetik dalgalardır. Gıda endüstrisindeki uygulamaları, işleme süresinin azaltılması, ısıtma verimliliği, güvenli kullanım ve kolaylığı, kalitede iyileşme ve suda çözünür besin kayıplarını azaltma gibi avantajlar nedeniyle büyük popülerlik kazanmıştır. Mikrodalga ısıtma sırasında, alternatif elektromanyetik alan enerjisi gıda tarafından emilir ve polar moleküllerin uyarılmasının neden olduğu dielektrik ısıtma, termal enerjiye dönüşür. Bu enerji, malzeme boyunca ısının üretildiği hacimsel ısıtma ile nemin, malzeme yüzeyine yönlenmesini sağlayacak bir iç basınç gradyanının oluşmasına yol açar. Kuruma süresinde %90 'a varan tasarruf ile mikrodalgalar endüstri için büyük potansiyele sahip teknolojilerdir (Kumar ve Karim, 2019). Mikrodalga ısıtma yaygın olarak meyve ve sebzelerin kurutulması için kullanılır (Guruprasad, Chengaiyan, Ahmad, Haque, Capanoglu, Rajoriya, 2024; Kian-Pour, Ceyhan, Ozmen ve Toker, 2024), ancak özellikle yüksek mikrodalga gücünde uzun süreli maruziyet sonrası, üründe kömürleşmeye yol açan ve ısının düzensiz dağılımını gösteren raporlar mevcuttur. Bu nedenle mikrodalga, yüzey neminin hızla giderilmesi için bir ön işlem tekniği olarak tavsiye edilmektedir (Bassey vd., 2021). Acı su kabağının sıcak hava ile kurutulması öncesi uygulanan MW, kuruma süresinin azalmasını, etkili nem yayılımını, kurutma hızında ve rehidrasyon oranında 5.16% lık artışı, gelişmiş renk ve yapı koruması (%46,06 daha az büzüşme), antioksidanlar ve fenolik içeriklerin artan tutulumu sonuçlarıyla bir ön işlem olarak MW'nin faydalı etkisini ortaya koymaktadır (Srimagal vd., 2017). Benzer şekilde daha iyi renk, dokusal özellikler, rehidrasyon oranı ve antosiyanin tutulumu MW ön işleminin, geleneksel (buhar ve sıcak su) ön işlemlere göre avantajları, yataklı kurutucu öncesi

MW'ye tabi tutulan tatlı patates örnekleri için de rapor edilmektedir (Liu, Mjumdar, Zhang ve Jiang, 2015).

2.4.3 Soğuk Plazma (CP)

Soğuk plazma (CP); atomlar, elektronlar, iyonlar ve reaktif nötr türler gibi aktif parçacıklar içeren iyonize gazlarla karakterize edilir. Gıda endüstrisinde geleneksel gıda muhafazasına ve diğer potansiyel uygulamalara alternatif yöntem olarak kullanılan, termal olmayan ve çevre dostu bir teknolojisidir (Chen, Cheng ve Sun, 2020; Subrahmanyam vd., 2024). Ürün yüzeyine CP reaktif türlerinin difüzyonu, ürün üzerinde çok sayıda fiziksel ve kimyasal modifikasyonlara neden olur (Li vd., 2019) . CP' nin anahtarı, gıda besin kayıplarını en aza indirebilecek düşük sıcaklık ve biyomakromolekülleri değiştirebilen yüksek enerjidir. Bu nedenle, CP, gıda endüstrisinde geniş çapta çalışılmıştır. Plazmaların verimliliği büyük ölçüde giriş voltajı ve frekansı, gaz tipi, uygulama süresi ve maruz kalma şekli gibi çeşitli faktörlere bağlıdır (Esua, Chang ve Sun, 2020). Farklı sürelerde atmosferik CP ön işlemine tabi tutulan acı biberin, ardından sıcak hava darbeli kurutma uygulamasında; kuruma süresinde azalma, kuruma hızında artış ve CP uygulama süresindeki artışa bağlı olarak antioksidan geri kazanımında da artış görülmüştür (Zhang vd., 2019). Hünnabın sıcak hava ile kurutulmasında uygulanan CP ön işlemi sayesinde, kurutma süresinde önemli ölçüde azalma, kurutma hızı ve nem yayılımında artış, fenolik, flavonoid, prosiyanidinler ve antioksidan tutulumunda gelişme kaydedilmiştir. Ancak uzun ön işlem süresi, numunenin yüzey sıcaklığındaki artışa bağlı olarak hızlı oksidasyon nedeniyle renk parametrelerinde olumsuzluklara yol açmıştır (Bao, Hao, Shishir, Karim ve Chen, 2021).

2.4.4 Darbeli elektrik alan (PEF)

PEF, iki elektrot arasında tutulan gıda malzemelerinin üzerine, (200–1000 V/cm) elektrik alanda, yüksek voltajlarda (<50 kV) kısa süreli darbeler uygulanarak, elektroporasyon yoluyla hücrelerin geçirgenliği ve parçalanması esasına dayanan sistemlerdir. Elektrik alan kuvveti, darbe şekli, sayısı ve süresi ve sıcaklık gibi faktörler hücre parçalanma oranını etkileyebilir (Liu, Song, Guo, Wang ve Wu, 2017; Bao vd., 2024). Havuç dilimlerinin (50 °C) sıcak hava ile kurutulmasından önce uyulanan PEF ön işlemi ile kuruma süresinde 13–28% azalış, nem yayılımında %39 luk artış gözlemlenmiştir (Alam,

Lyng, Frontuto, Marra ve Cinquanta, 2018). Elmaların dondurularak kurutulması öncesi uygulanan PEF ön işlemi sayesinde %17,73 kurutma süresinde ve %24,74'e varan enerji tüketiminde azalış, rehidrasyon kapasitesinde ise %65,22 lik artış tespit etmiştir (Wu ve Zhang, 2019). Aynı şekilde, havucun vakumla kurutulmasından önce PEF ön işlemi ile, kurutma süresinde %33-55 oranında azalma, daha az renk değişiklikleri, daha yüksek rehidrasyon kapasitesine gibi değerler elde edilmiştir (Zhang vd., 2020). Termal etki olmaması sebebiyle PEF işlemlerinde ayrıca biyomakromoleküllerin bozunmasının geciktiği rapor edilmiştir. Vakum kurutma öncesi PEF ön işlem uygulanmış elma flavonoidlerinde %100, havuç karatenoidlerinde %93,7 geri kazanım tespit edilmiştir (Bassey vd., 2021). Bununla birlikte, meyve ve sebzelerin karmaşık yapısı ve işlem koşulları nedeniyle PEF ön işlemleri ile her gıdada benzer kazanımlar elde edilemeyebilir. PEF ön işlemi bazen kurutma kinetiği üzerinde hiçbir etki göstermezken, uygulama sırasındaki hücre hasarı ve biyomakromolekül sızıntısı nedeniyle sertlik ve antioksidan aktivitede kayıplara yol açabilecek ters etkilere yol açabilir (Ammelt vd., 2021).

2.4.5 Yenilebilir film kaplama (EFC)

Yenilebilir filmler, lipid oksidasyonlarına, enzimatik reaksiyonlara, mekanik hasarlara, yaşlanmaya ve uçucu bileşiklerin kaybına karşı koruma sağlayarak gıda güvenliğini ve kalitesini korumak için geliştirilmiş doğal biyopolimerlerdir. Ayrıca antioksidanlar, besinler ve antimikrobiyal bileşikler gibi fonksiyonel bileşenlerin gıdalara dahil edilmesi amacıyla da kullanılmaktadır (Ncama, Magwaza, Mditshwa ve Tesfay, 2018; Malakar, 2024). Kurutmadan önce gıdaya yenilebilir kaplamaların uygulanması, kurutmaya yönelik başka bir potansiyel ön işlemdir. Yenilebilir kaplamalar, CO_2 ve O_2 taşınımına seçici bir bariyer oluşturan, mikrobiyel aktiviteleri azaltan, gıdanın yüzeyine uygulanan yenilebilir malzemelerden oluşan ince tabakalardır (Orlich vd., 2014). Formülasyonda kullanılan malzemelere göre yenilebilir filmler polisakkaritler, protein, lipid ve kompozit bazlı filmler olarak gruplandırılır. Polisakkarit filmler hidrofiliktir, protein bazlı filmler CO_2 ve O_2 geçişine bariyer oluştursa da su buharı yayılımına karşı yetersiz koruma sağlar. Lipid filmler etkili su buharı bariyeri oluşmaktadır ve kompozit filmler ise bireysel avantajları nedeniyle artan verimlilik için her gruptan iki veya daha fazlasının etkili karışımlarıdır (Escamilla-García vd., 2018). Bazı çalışmalar farklı kurutmalarda ön işlem

olarak uygulanan yenilebilir kaplamaların kuruma hızı ve nem yayılımında etki göstermediği ya da göz ardı edilebilir tespitler belirtmektedir (Silva vd., 2015; Todisco, Janzantti, Santos, Galli ve Mauro, 2018; Gamboa-Santos ve Campañone, 2019). Bir başka çalışmada ise (Chottanom, Amornsin, Yodthava, ve Wunnapong, 2020) modifiye nişasta ve sodyum kazainat ile kaplanmış enginarların kurutulmasında büzüşme, esmerleşme ve toplam renk değişimlerinde önemli azalmalar, antioksidan aktivitede artış ve fenolik içerikte özellikle 1,8 kat artış rapor etmiştir. Yapılan diğer çalışmalarda da yenilebilir film kaplamaların nihai kurutulmuş son ürünün kuruma karakteristiklerinde iyileşme ve bioaktif bileşenlerinin korunduğu ortaya konulmuştur (Song vd. 2018; Adiamo, Eltoum ve Babiker, 2019).

2.4.6 Yüksek nemli sıcak hava çarpması ile haşlama (HHAIB)

Yüksek hızdaki nemli havanın püskürtülerek ürün yüzeyine çarpması sonucundaki sinerjik etkiden yararlanarak geliştirilmiş, yüksek enerji verimliliği ve ısı transferiyle sonuçlanan termal teknolojidir. HHAIB sırasında, malzeme içi ve yüzey arasındaki basınç farkı, malzeme dokusunu ve yapısını değiştiren mikro çatlakların oluşmasına neden olur. Bu çatlaklar, nem difüzyon direncini kırarak, ürün neminin hızla uzaklaştırılmasına dolayısı ile daha az ısı maruziyetini sağlamaktadır. Ayrıca sıvı yoksunu bir ortamda gerçekleştirilen ısınma ile atık su miktarında ve suda çözünür besin kayıplarında azalma gözlemlenmektedir. Brokoli çiçeklerinin, %35-40 bağıl nem ile 110 °C sıcaklıkta, 14 m/s hızla 60, 90, 120 saniye yüksek nemli sıcak hava darbeli ön haşlama sonrası uygulanan sıcak hava kurutmada, kuruma süresinde 90 ila 180 dakika varan azalma, askorbik asit ve klorofil tutulumunda artma, gelişmiş renk özellikleri ve rehidrasyon kapasitesinde artış tespit edilmiştir. Ancak ön işlem süresi 150 saniye çıkartıldığında benzer olumlu sonuçlar elde edilmemiştir (Liu vd., 2019). Kırmızı dolmalık biberlerin vakumla dondurularak kurutulmasından önce uygulanan 110 °C ta 14,0 m/s hızla 1,2, 3 dakikalık yüksek nemli sıcak hava darbeli haşlama işlemi sayesinde %50 oranında kuruma süresinde azalış, artan antioksidan aktivite, kırmızı pigment ve askorbik asit tutulumnda artış raporlanmıştır. Fakat ön işlem süresinin artırılmasıyla kalite kayıplarının oluştuğu belirtilmektedir (Wang vd., 2017). Kayısının, 30 ve 90 s lik HHAIB ön işlemi sıcak havada kurutulması sırasında, kuruma süresinin %20,7 ve %35,5 azalttığı, nem yayılımının arttığı ancak artan haşlama süresinin ultrayapısal bozulmalara

yol açarak sertlikte %58,67–71,89 azalmaya neden olduğu bildirilmektedir (Deng vd., 2019). Orta derecede HHAIB ön işlem süresinin, kurutulmuş meyve ve sebzelerin kurutma verimliliğini ve kalite özelliklerini iyileştirmede faydalı olduğu, ancak sıcaklık, hava hızı, uygulama süresi gibi diğer parametrelerinin etkilerinin ve çeşitli kurutma yöntemlerine uygunluğunun araştırılması gerektiği raporlanmaktadır (Bassey vd., 2021).

2.4.7 Kızılötesi haşlama (IRB)

Kızılötesi radyasyon (IR), dalga boyları görünür ışıktan daha uzun, ancak mikrodalgalar ve terahertz radyasyondan daha kısa olan elektromanyetik radyasyondır ve spektrumlarına göre yakın kızılötesi (0,75–1,4 μm), orta kızılötesi (1,4–3,0 μm) ve uzak kızılötesi (3,0–1000 μm) radyasyonlar olarak sınıflandırılmaktadır. Kızılötesi dalgalar genellikle ısıtma sırasında bir malzemeye radyan enerji şeklinde iletilmektedir. Malzemenin moleküler rotasyonunda ve titreşiminde değişikliklere neden olur. Sonrasında bu moleküllerin doğal hallerine dönmesiyle de absorbe edilen enerji, ısıya dönüştürülür. Harici bir ortam kullanılmadan, aynı anda enerjinin gıda malzemesine aktarılması sayesinde yüksek termal verim, kısa işlem süresi, kalite özelliklerinde minimum değişiklik, yüksek süreç kontrol parametreleri ve çevre dostu yaklaşım gibi avantajları sunduğundan, bu ısıtma işlemi geleneksel ısıtmaya göre daha hızlıdır. Bu avantajları ile tahıl ürünlerinin, meyve ve sebzelerin kurutulmasında umut vadeden teknolojilerdendir (Guiamba, Svanberg, Ahrne, 2015; Nalawade, Sinha ve Hebbar, 2018; Bassey vd., 2021; Sakare vd., 2020). Bununla birlikte, kızılötesi ısıtma (IRH), düşük penetrasyon derinliği nedeniyle yalnızca yüzey ısıtması sağlar ve gıda malzemelerinin IRH'ye uzun süre maruz kalması, kurutma sırasında gıdanın aşırı kuruyarak kırılmasına ve kömürleşmesine neden olabilir, bu nedenle kızılötesi ısıtma, diğer kurutma yöntemleri için bir ön işlem tekniği ya da diğer kurutma yöntemleriyle birlikte kullanılması önerilmiştir (Rastogi, 2021).

3. MATERYAL ve YÖNTEM

3.1. Pestil üretiminde kullanılan hammaddeler ve cihazlar

3.1.1. Hammade

Tez çalışması için kullanılan kırmızı pancarlar (*Beta vulgaris var. conditiva*) ve elma (*Starkrimson delicious*) Bursa ilinde yerel bir marketten (Akuğur Market) temin edilmiştir. Çalışma kapsamında kullanılan kırmızı pancarlar ve elmalar, pestil üretim sürecine kadar, 4±0,5 °C sıcaklıkta buzdolabında 1 ay süreyle saklanmıştır. Diğer hammaddelerden olan sitrik asit Bursa Uludağ Üniversitesi Gıda Mühendisliği Pilot Tesisi'nden temin edilmiştir. Tapyoka nişastası (TMS Organik Gıda San. Tic. Ltd. Şti) ise glutensiz bir ürün olup Talya Foods isimli internet alışveriş marketten temin edilmiştir.

3.1.2. Ultrases cihazı

Tez kapsamında bu amaçla kullanılan "ultrases cihazı" Şekil 3.1'de sunulmuştur. Cihaza ait özellikler ise Çizelge 3.1'de aşağıda özetlenmiştir.



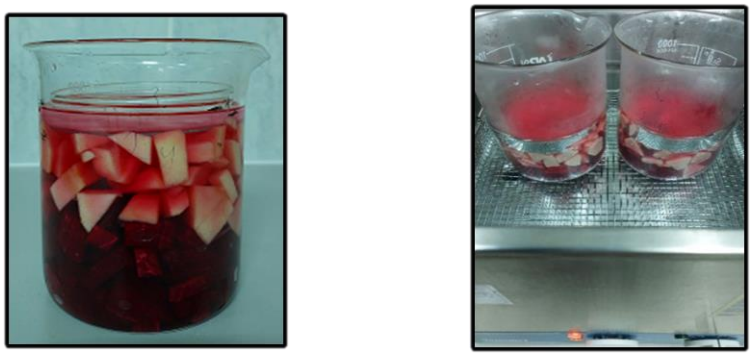
Şekil 3.1. Sonerex RK 510H Ultrases Cihazı

Çizelge 3.1. Ultrases cihazının özellikleri

Özellikler	**Değerler**
İç boyutlar	Yükseklik x Genişlik x Derinlik: 300 mm ×240 mm ×150 mm
Dış boyutlar	Yükseklik x Genişlik x Derinlik: 325 mm ×265 mm ×305 mm
Ağırlık	Net 7.0 kg ; Brüt 9,0 kg
Hacim	9,7 litre
Çalışma kapasitesi	6,6 litre
Isıtma	30- 80 °C aralığı
Çalışma frekansı	35 kHz, otomatik frekans
Ultrasonik tepe gücü:	640 W

Tez kapsamında gerçekleştirilen ön denemelerde termal etki olmadan oda sıcaklığında (25 ºC) gerçekleştirilen ultrasonikasyon işleminde pancarlarda acı tat gelişimi ve dolayısıyla termal etkiye olan ihtiyaç değerlendirilmiştir. Bu koşullarda gerçekleştirilen proses sonucu elde edilen pestiller duyusal olarak beğenilmemiş ve acı tat gelişimi gözlenmiştir. Ayrıca pestilin kıvam alması ve hedeflenen son briks değerine ulaşmak için de bu işlem sıcaklığı yetersiz kalmıştır. Çeşitli çalışmalarda, polifenol oksidaz (PPO) ve peroksidaz (POD) enzimlerinin, özellikle 80 °C'nin altında gerçekleşen ısıl işlemlere karşı toleranslı olduğu belirtilmektedir (Yoruk ve Marshall, 2003). Bu nedenle, bu tez kapsamında gerçekleşen ultrasonikasyon işlemleri 80 °C sıcaklıkta gerçekleştirilmiştir. Bu ön işlem, literatürde "termosonikasyon" olarak adlandırılmıştır (Bozkır vd., 2019a). Yapılan bu çalışmada oda sıcaklığında gerçekleştirilen ön denemeye göre nihai ürünün lezzet kalitesi yüksek olduğu belirlenmiştir. Bu bilgiler ışığında tez kapsamında temel olarak ultrasonifikasyon ön işlemi 35 kHz frekansta ve 80°C termal destekli olarak (termosonikasyon) planlanmıştır.

Ön denemelerde, cihaz içerisine Şekil 3.2'de görülen 1000 mL' lik iki ayrı beherlerde küp doğranmış pancar ve elmalar (1/1 w/v) su içerisinde yerleştirilmiştir. Beher içindeki Küp doğranmış pancar ve elmaların su yüzeyine çıkmalarını önlemek amacı ile üzerlerine petri kapları yerleştirilmiştir, aynı zamanda su yüzeyine karşı direnecek kadar ağırlıkla sabitlenmiştir ve Şekil 3.2'deki gibi banyo maksimum su çizgisine kadar (6,6 L) cihaz içi su haznesi (Şekil 3.2) doldurulmuştur. Cihazın su banyosu 80 °C'ye ısıtıldıktan sonra ultrasonifikasyon uygulamasına başlanmıştır. İşlem süresince, banyo sıcaklığı ve su seviyesi düzenli olarak kontrol edilmiştir.



(a) **(b)**

Şekil 3.2. a) Ultrasonikasyona hazırlık b) Ultrasonik banyo

3.1.3. Mikrodalga cihazı

Proje kapsamında kullanılan mikrodalga cihazı Bosh marka ev tipi bir mikrodalga fırın (HMT72G420, Munich, Germany) olup Şekil 3.3'te görülmektedir ve özellikleri Çizelge 3.2'de özetlenmiştir.



Şekil 3.3. Mikrodalga fırını genel görünümü

Çizelge 3.2. Mikrodalga cihazının özellikleri

Özellikler	**Değerler**
Boyutlar	(Yükseklik x Genişlik x Derinlik): 290 mm x 461 mm x 351mm
Net ağırlık	13 kg
Döner tabağın çapı	245 mm
En yüksek güç değeri	800 W (Proje kapsamında 360 W kullanılmıştır)
Besleme gerilimi	230V~ 50Hz

3.1.4. Sıcak havalı kabin tipi kurutucu

Pestil numuneleri, Yücebaş Makine Tic. Ltd. Şti. (İzmir) tarafından üretimi ve Bursa Uludağ Üniversitesi Gıda Mühendisliği Bölüm Laboratuvarına kurulumu gerçekleştirilen sıcak havalı kabinli kurutucu kullanılarak 70 °C sıcaklık, 2 m/s hava hızı ve %20 bağıl nem koşullarında kurutmaya tabi tutulmuştur. Kurutma kabininin genel görünümü ve teknik detayları Şekil 3.4'te görülmektedir ve özellikleri Çizelge 3.3'de özetlenmiştir.



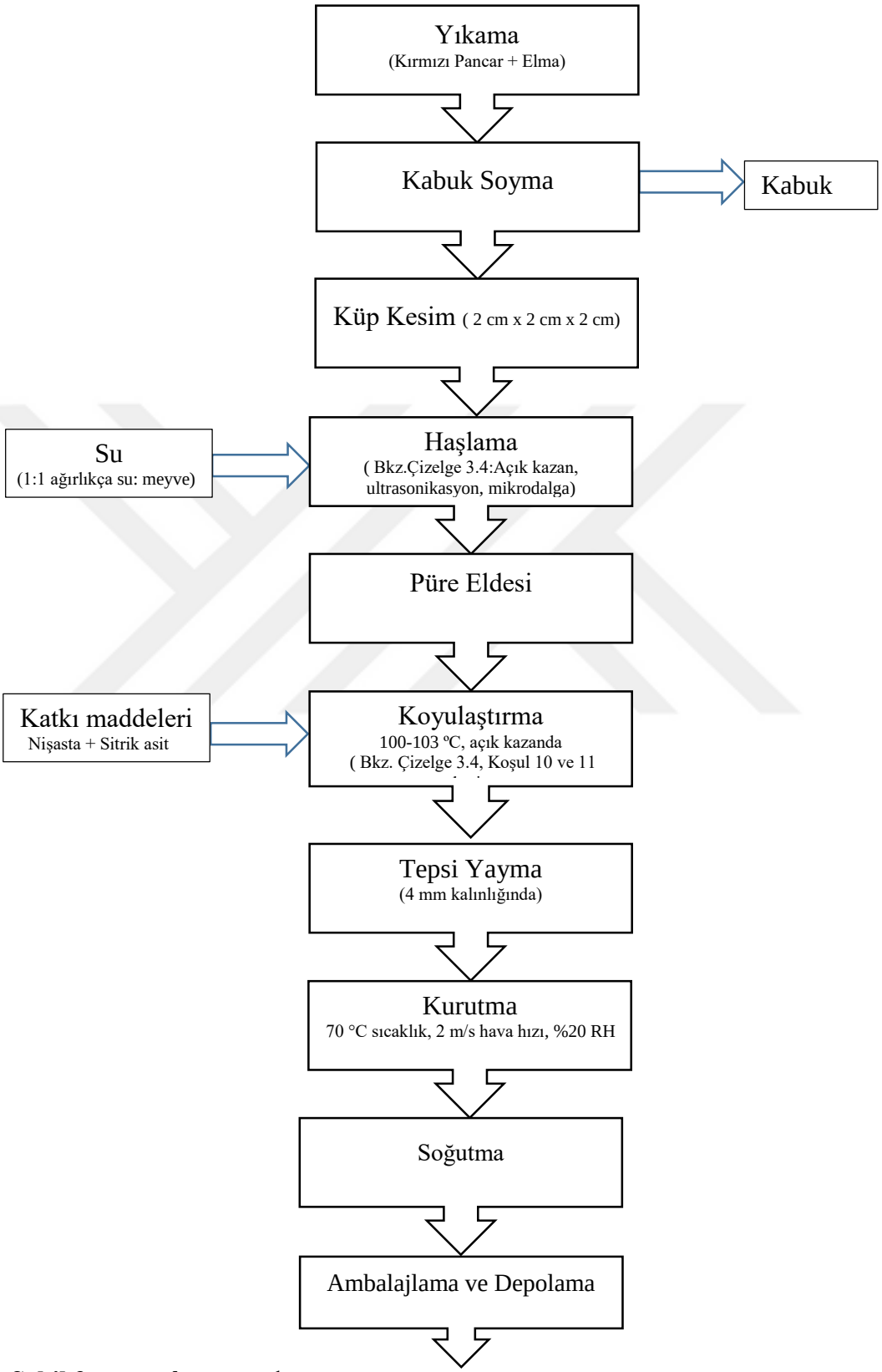
Şekil 3.4. Sıcak havalı kabin tipi kurutucunun genel görünüşü

Çizelge 3.3. Sıcak havalı kabin tipi kurutucunun özellikleri

Özellikler	**Değerler**
Boyut	(Yükseklik x Genişlik x Derinlik): 1250 mm x 715 mm x 740 mm
Enerji	220 V 50-60 Hz –2000 W
Net ağırlık	120 kg
En yüksek ayarlanabilir sıcaklık	100 ºC
En yüksek ayarlanabilir nem	%90
Sıcaklık hassasiyeti	0-40 °C arasında ±0,5 °C; 40-100 °C arasında ±2 °C
Nem hassasiyeti	% 10 – 90 Nisbi nem (RH) arasında % ±2

3.2. Pestil Üretimi

Bu tez kapsamında yapılan ön denemeler aşamasında, pestil üretimine ait formülasyonun optimizasyonu genel duyusal ve tekstürel açıdan değerlendirilerek sağlanmıştır ve Çizelge 3.4'de sunulan ön işlemlere ait parametreler seçilmiştir. Optimizasyon sonucu edilen pestil reçetesi ağırlıkça % 47 kırmızı pancar ve % 47 kırmızı elma, % 5,8 tapyoka nişastası ve % 0,2 sitrik asitten oluşmaktadır. Pestil üretimleri, Çizelge 3.4 'deki detayları belirtilen her bir ön işlemler koşulu için aynı reçete ve aynı hammadde kullanılarak Şekil 3.5'de gösterildiği gibi üretilmiştir.



Şekil 3.5. Pestil üretim akış şeması

3.2.1. Fiziksel işlemler

Kırmızı pancarların ve elmaların yaprakları ve sapları ayrılarak işlenmeye hazır hale getirilmiştir. Meyve ve sebzelerin dış yüzeyi, toprak ve diğer kirliliklerden arındırılmak için etkili bir şekilde yıkanmıştır. Yıkama sonrası kabukları soyulmuştur ve elmaların çekirdekleri çıkarılmıştır. Kırmızı pancarlar ve elmalar, bir sonraki ön işlemler aşamasında kullanılmak üzere 2 cm x 2 cm x 2 cm'lik küpler halinde kesilerek hazırlanmıştır.

3.2.2. Kurutma işlemi öncesi ön işlemler

Küp kesilmiş kırmızı pancar ve elma ağırlıkça "1:1" oranında tartılmıştır ve üzerine ağırlıkça "1:1" oranında su ilave edilmiştir. Sonra, açık kazanda, termosonikasyon, mikrodalga ve bunların kombinasyonlarından oluşan 11 farklı ön işlemlerle (Çizelge 3.4) ön haşlama işlemine tabi tutulmuşlardır. Bu ön işlemler literatürde yapılan çalışmalar (Çizelge 3.5) dikkate alınarak uygulanmıştır.

Çizelge 3.4. Ön işlem koşulları

	Kurutma öncesi uygulanan ön işlemler				
	Haşlama			**Koyulaştırma[6]**	
Koşul	**1.Ön İşlem**	**2. Ön İşlem**	**Püre Eldesi**	**3.Ön İşlem**	**Hedef Son Briks**
Kontrol	Açık kazan-15 dk[1]	-	✓[4]	105 dk	40 ºBx
1	Termosonikasyon[2]- 30 dk	-	✓[4]	78 dk	40 ºBx
2	Termosonikasyon[2]- 45 dk	-	✓[4]	58 dk	40 brx
3	Termosonikasyon[2]- 30 dk	Mikrodalga-10 dk	✓[4]	60 dk	40 brx
4	Termosonikasyon[2]- 45 dk	Mikrodalga-10 dk	✓[4]	30 dk	40 brx
5	Açık kazan-15 dk[1]	-	✓[4]	63 dk	20 brx
6	Termosonikasyon[2]- 30 dk	-	✓[4]	27 dk	20 brx
7	Termosonikasyon[2]- 45 dk	-	✓[4]	6 dk	20 brx
8	Termosonikasyon[2]- 30 dk	Mikrodalga-10 dk	✓[4]	6 dk	20 brx
9	Termosonikasyon[2]- 45 dk	Mikrodalga-10 dk	✓[4]	4 dk	20 brx
10	Termosonikasyon[2]- 45 dk	-	✓[5]	-	-
11	Termosonikasyon[2]- 45 dk	Mikrodalga-10 dk	✓[5]	-	-

[1] Atmosferik basınçta açık kazanda 95 ºC'de ısıl işlem
[2] 35 kHz frekansta ve 80 °C sıcaklıkta termal destekli ultrasonikasyon
[3] Mikrodalga gücü: 360 W
[4] 1. Ön işlem sırasında kullanılan su ile birlikte püre haline getirilir
[5] 1. Ön işlem sırasında kullanılan su süzüldükten sonra kalan meyve ve sebze püre haline getirilir
[6] Atmosferik basınçta açık kazanda 100-103 ºC'de ısıl işlem

Çizelge 3.5. Deney deseni için yararlanılan kaynaklar

Koşul	Briks	Detay	Referans
Kontrol	40	✓ 50, 60 ve 70 ºC sıcaklıkta kurutmalar arasında Tontul ve Topuz (2017) en yüksek D_{eff} ve en yüksek toplam fenolik madde değerini 70 ºC kurutma örneklerinde tespit etmiştir. ✓ Dut ve hurma pestilleri 40 ºBx başlangıç ile güneşte kurutulmuştur.	Tontul ve Topuz, 2017;Nakilcioğlu-Taş vd., 2018
1	40	✓Çileklerin sıcak hava kurutulması öncesi 10, 20, 30, and 45 dk ultrasonikasyon ön işlemi uygulanmıştır.	Garcia-Noguera vd., 2010
2	40	✓Nar pestili, 2 farklı mikrodalga güç destekli (90 ve 180 W) 50, 60 ve 70 ºC sıcak hava gerçekleştirilmiştir. ✓Havuçların tasarlanan hibrit (konvektif – mikrodalga – ultrasonik) fark güç ve sürelerde kurutulması sonucu "titreşim", "ısıtma" ve "sinerjik" etkileri ile yeni bir yaklaşım denenmiştir. ✓Patates dilimleri, 10,20 ve 30 dk ultrasonikasyon sonrası (90, 180, 360, 600 ve 900 W) mikrodalga ön işlemi sonrasında sıcak hava ile kurutulmuştur.	Tontul ve Topuz, 2017; Kroehnke vd., 2018; Dehghannya vd., 2019
3	40	✓Elma dilimleri 0-54 dk arasında farklı ultrasonikasyon ön işlemleri sonrası ortalama 71,5°C 'da kurutma ✓Patates dilimleri, 10, 20 ve 30 dk ultrasonikasyon sonrası (90, 180, 360, 600 ve 900 W) mikrodalga ön işlemi sonrasında sıcak hava ile kurutulmuştur	Opalić vd., 2009; Dehghannya vd., 2019; Kroehnke vd., 2018
4	40	✓Alıç kurutulmasında farklı ön işlem kombinasyonları arasında ultrasonikasyon ilave mikrodalga destekli sıcak hava kurutma da uygulanmıştır. ✓Çileklerin kurutulmasında hibrit uygulamalar için ultrasonikasyon sonrası kısa süreli mikrodalga ile konvektif kurutma önerilmektedir.	Abbaspour-Gilandeh vd., 2021; Szadzińska vd., 2016
5	20	Kızılcık ve karadut pestilinin kurutulmasına 20 briks ile başlanmıştır.	Şengül ve Ünver, 2021; Boz vd., 2016
6	20	Ananas dilimleri 20 ve 30 dk ultrasonikasyon uygulaması sonrası 70 ºC sıcak hava ile kuruulmuştur.	Rani ve Tripathy, 2019
7	20	✓Çileklerin sıcak hava kurutulması öncesi 10, 20, 30, and 45 dk ultrasonikasyon ön işlemi uygulanmıştır.	Garcia-Noguera vd., 2010
8	20	✓Patates dilimleri, 10,20 ve 30 dk ultrasonikasyon sonrası (90, 180, 360, 600 ve 900 W) mikrodalga ön işlemi sonrasında sıcak hava ile kurutulmuştur.	Dehghannya vd., 2019
9	20	✓Elma dilimleri 0, 10, 20 ve 30 ultrasonikasyon ve 360, 600 ve 900 MW mikrodalga ön işlemi sonrası kurutulmuştur.	Dehghannya vd., 2020
10	15	✓70 ila 100º aralığında, direk püreden veya meyve suyundan ya da 5 ila 30 dakika aralığında kaynatma yapılarak kurutulmaya başlanan farklı meyve pestillerini özetlemiştir.	Silva Simão vd., 2020
11	15	✓ Ahududular 15,30 ve 45 dk ultrasonikasyon ön işlemi ile 50, 60 ve 70ºC sıcak hava ile kurutulmuştur.	Taghinezhad, Kaveh, Khalife., ve Chen, 2021

Haşlama amaçlı yapılan birinci aşama ön işlemlerin sonunda yumuşayan kırmızı pancar ve elma, haşlama suyu ile birlikte ev tipi mekanik parçalayıcıda (Arzum, Türkiye) püre haline getirilmiştir. Bu işlem kontrol üretimi dahil olmak üzere 1 ve 9. Koşulları içeren tüm üretimlerde uygulanmıştır. 10 ve 11. Koşullar uygulanarak elde edilen üretimde haşlama suyu süzüldükten sonra kalan yumuşayan meyve ve sebze mekanik parçalayıcıda püre haline getirilmiştir. Tüm üretimler sonucu elde edilen pürenin %25'si ayrılarak tapyoka nişastası ve sitrik asit ile karıştılmak üzere ayrılmıştır. Geri kalan püre atmosferik basınçta açık kazanda koyulaştırma (100-103 ºC) işlemine tabi tutulmuştur. Hedef son çözünür kuru madde oranı 40 °Bx olan (1, 2, 3 ve 4. Koşul) üretimlerde 30 °Bx'e ulaşınca, 20 ° Bx olan (5, 6, 7, 8 ve 9. Koşul) üretimlerde 15 °Bx'e ulaşınca, nişasta içeren püre koyulaştırma işlemi sırasında yavaş yavaş eklenmiştir. Bu aşamadan sonra belirlenen kurutma öncesi hedef suda çözünür kuru madde oranına ulaşıldığında koyulaştırma işlemi

sonlandırılmıştır. Ancak 10. ve 11. koşullarda koyulaştırma işlemi uygulanmadığından haşlama işlemi sonrasında elde edilen püreye katkı maddeleri eklenip homojen bir şekilde karıştırılarak kurutma işlemine geçilmiştir.

Tüm ön işlem koşullarda gerçekleştirilen üretim sonucu elde edilen koyulaştırılmış püreler (pestil herlesi), kurutm işlemi gerçekleşinceye kadar, +4 ºC ‘da 1-2 gün süreyle depolanmıştır,

3.3. Kurutma işlemi

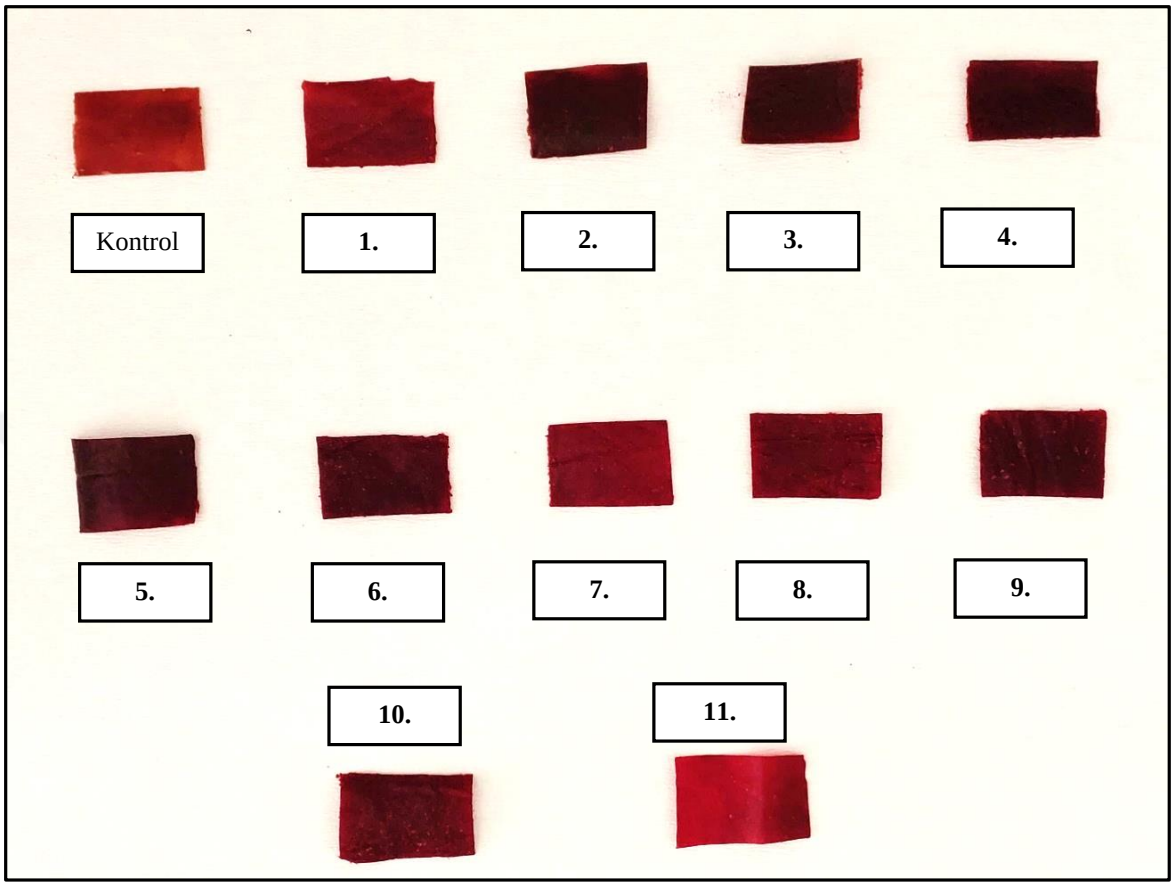
Guldiken vd. (2016) tarafında yapılan bir çalışmada, pancar tozunun elde edilmesi sırasında farklı sıcaklıkların toplam antioksidan kapasitesine (TAK) olan etkisini irdelemişlerdir. Çalışmanın sonucunda, sıcaklığın 60 ve 70 °C' den 80 °C’ye artırılması ile nihai ürünün TAK’da önemli bir düşüş raporlanmıştır. Literatürdeki bu bilgiye dayanarak, bu çalışma kapsamında gerçekleştirilen kurutma sıcaklığı 70 °C olarak saptanmıştır.

Ön işlemlerin tamamlanmasının ardından, 25±0,5 g koyulaşmış püre (herle), 8 cm ×8 cm ×0,5 cm (uzunluk, genişlik, kalınlık) boyutlarında bir kalıp kullanılarak yağlı kağıt üzerine bir spatül yardımıyla serilmiştir Daha sonra, kurutma işlemi için %20 nispi nemde ve 70 ºC'de, 2 m/s hızında konveksiyonel kabin tipi kurutucu (Yücebaş Makine Tic. Ltd. Şti., İzmir) kullanılarak kurutma işlemi gerçekleştirilmiştir (Şekil 3.6).

Kurutma işlemi, pestillerin nem içeriğinin 0,9 ile 0,10 g su/g kuru madde (KM) (% nem içeriği 8-10 aralığında) oranına ulaşmasına kadar devam ettirilmiştir. Pestillerin kurutulması sürecindeki nihai ürünün nem içeriği belirlenirken benzer ürün standartlarına dayanılarak karar verilmiştir. Üzüm pestili için TS 12680'e (TS, 2000a) göre en fazla %15, kayısı pestili için TS 12679'a (TS, 2000b) göre en fazla %18, erik pestili için TS 12678'e (TS, 2000c) göre en fazla %20 ve dut pestili için TS 12677'ye (TS, 2000d) göre en fazla %18 standartlarına uyumlu olarak seçilmiştir.

Deneyler öncesinde, sıcak havalı kurutucu bir saat boyunca boş çalıştırılarak istenilen sıcaklığa gelmesi sağlanmıştır. Kurutma işlemi boyunca, başlangıçta 15 dakika arayla, daha sonra ise sona yaklaşırken 20 dakika aralıklarla, 0,01 g hassasiyetinde dijital bir terazi (Mettler Toledo, MS3002S) kullanılarak tartımlar yapılmış ve nem içeriğindeki

değişimler kaydedilmiştir. Tartımlar, yaklaşık on saniye gibi kısa bir sürede hızlıca gerçekleştirilmiştir.



Şekil 3.6. Kurutulmuş pestil örnekleri

Kurutma işlemleri tamamlandığında elde edilen pestillerden, duyusal analiz, tekstür ve renk analizleri için yeteri kadar numune miktarı ayrıldıktan sonra diğer analizler için kalan pestil örnekleri havanlı bir öğütücüde (Retsch RM 200, Almanya) öğütülerek analizlere kadar – 20 º C dondurucuda depolanmıştır.

3.4. Pestillerin kurutma karakteristiklerinin belirlenmesi

3.4.1. Nem içeriğinin hesaplanması

Pestil örneklerinin kurutulması sırasında, nem içeriği değerleri Eşitlik 3.1 kullanılarak hesaplanmıştır.

$$M_t = \frac{(M-KM)}{KM} \quad (3.1)$$

Eşitlik 3.1' de;

M_t : Herhangi bir t anındaki nem içeriği (kg su / kg kuru madde)

M : Örneğin ağırlığı (g)

KM : Örneğin içerdiği kuru madde miktarı (g)'dır.

3.4.2. Kuruma hızının hesaplanması

Kuruma hızı, nem içeriğine karşılık kuruma zamanı eğrilerinin türevlerinin alınması ile hesaplanmıştır. Pestil örneklerinin nem içeriğine (M_t) karşı kuruma hızı (KH) ile çizilen kurutma eğirileri kullanılarak kurutma kinetiği ve kurutma hızı periyotları belirlenmiştir.

$$KH = \frac{(M_{t+dt}-M_t)}{dt} \quad (3.2)$$

Eşitlik 3.2'de;

KH **:** Kuruma hızı (kg su / kg kuru madde. dk)

M_{t+dt} **:** t+dt anındaki nem içeriği (kg su / kg kuru madde (km))

M_t **:** Herhangi bir t anındaki nem içeriği (kg su / kg kuru madde)

d_t **:** Kuruma zamanını (dk) ifade etmektedir

3.4.3. Nem oranının hesaplanması

Nem oranının hesaplanmasında Eşitlik 3.3 kullanılmıştır.

$$MR = \frac{(M_t-M_e)}{(M_0-M_e)} \quad (3.3)$$

Eşitlik 3.3 'de

MR **:** Ayrılabilir nem oranı (birimsiz)

M_t **:** Herhangi bir t anındaki nem içeriği (kg su / kg kuru madde)

M_e **:** Denge anındaki nem içeriği (kg su / kg kuru madde)

M_o **:** Başlangıçtaki nem içeriğini (kg su / kg kuru madde) tanımlamaktadır.

MR değerleri hesaplanırken, M_e değeri sıfır alınarak işlemler yapılmıştır (Inyang vd., 2018). Denge nem içeriğinin, her çalışmanın nihai nem içeriği olduğu varsayılmıştır (Maskan, 2001).

3.4.4. Kuruma eğrilerinin matematiksel modellere uyarlanması

Pestil örneklerinin kuruma davranışını analiz etmek için farklı ince tabaka kurutma modellerinin kullanılması, ürünlerin nem içeriği ve kuruma hızı gibi önemli parametrelerinin belirlenmesine yardımcı olmaktadır. Bu tez kapsamında, yaygın olarak kullanılan yedi farklı ince tabaka kurutma modeli, literatürde tanımlanmış ve önerilmiş olan modeller arasından seçilmiştir. Bu modeller, kırmızı pancar pestilinin kuruma sürecini analiz etmek ve kuruma kinetiğini anlamak için kullanılmıştır, Çizelge 3.6'te belirtilenlerden seçilmiştir.

Deneysel verilerin kurutma modelleri ile uyumu için korelasyon katsayısı (R^2), tahmini standart hata (RMSE) ve ki-kare (χ^2) değerleri kullanılmıştır. En iyi modelin seçimi için birincil kriter R^2 değerinin 1' e yakınlığı, RMSE ve χ^2 değerlerinin 0'a yakın olduğu değerlerin karşılaştırılması için 3.4 ve 3.5 'deki eşitlikler kullanılarak hesaplama yapılmıştır (Inyang vd., 2018)

$$RMSE = \left[\frac{1}{N}\sum_{t=1}^{N}\left(MR_{exp,i} - MR_{pre,i}\right)^2\right]^{\frac{1}{2}} \quad (3.4)$$

Çizelge 3.6. İnce tabaka kurutma model örnekleri

Model No	Model	Denklem	Kaynaklar
1	Lewis (Newton)	MR= exp (-kt)	Lewis, 1921
2	Page	MR = exp ($-kt^n$)	Page, 1949
3	Modifiye Page	MR = exp [$-(kt)^n$]	Overhults vd., 1973
4	Henderson & Pabis	MR = a exp (-kt)	Henderson, 1961
5	Logaritmik	MR = a exp (-kt) + c	Doymaz, 2011
6	Two Term	MR=a exp(-kt) + (1-a) exp(-kat)	Ertekin ve Yıldız, 2014
7	Wang ve Singh	MR = 1 + at + bt^2	Wang ve Singh, 1978
	MR: nem oranı; a, b, c: kurutma katsayıları; k: kurutma sabiti; t: kurutma süresi		

$$\chi^2 = \frac{\sum_{I=1}^{N}(MR_{exp,i} - MR_{pre,i})^2}{N - n} \quad (3.5)$$

$MR_{exp,i}$ **:** i. deneysel nem oranı

$MR_{pre,i}$ **:** i. tahmin edilen nem oranı

N **:** gözlemlenen deneysel veri adedi,

n **:** modelde yer alan bağımsız değişken sayısıdır.

3.4.5. Efektif nem difüzyon katsayısının hesaplanması

Kırmızı pancar pestil örneklerinin kuruma davranışlarını incelemek için Fick'in ikinci yasası kullanılmıştır. Bu yasa, kurutma işlemi sırasında nem transferinin difüzyon ile gerçekleştiğini varsaymaktadır. Özellikle plaka şeklindeki malzemeler için geçerli olan bu varsayım, nemin homojen bir şekilde dağıldığı, üründe deformasyon olmadığı, yüzey direncinin ihmal edilebilir düzeyde olduğu ve ortam koşullarının değişiminin önemsiz olduğu durumları kapsar (Süfer ve Palazoğlu, 2019). Bu bağlamda, sonsuz levhalar için efektif diffüzyon katsayısı 3.6 eşitliğine göre hesaplanır (Crank, 1975).

$$MR = \frac{8}{\pi^2}\sum_{n=1}^{\infty}\frac{1}{(2n-1)^2}\ exp\left(-\frac{(2n-1)^2\ \pi^2\ D_{eff}\ t}{4\ L^2}\right) \quad (3.6)$$

burada D_{eff} nem difüzyon katsayısı (m^2 /s), L levhanın yarı kalınlığı, t kurutma süresi (s) ve n pozitif bir tam sayıdır.

Uzun kurutma süreleri için Eşitlik 3.6 sadeleştirilerek aşağıdaki eşitlik nem difüzyon katsayısının hesaplanmasında kullanılmaktadır.

$$MR = \frac{8}{\pi^2}\ exp\left(-\frac{\pi^2\ D_{eff}\ t}{4\ L^2}\right) \quad (3.7)$$

Örneklerin nem difüzyon katsayısı (D_{eff}) kuruma süresine karşılık çizilen ln MR grafiğinin eğiminden eşitlik 3.8 kullanılarak hesaplanmıştır (Kılıç ve Tabanlıgil Calam, 2020) . Hesaplama yapılırken sıcaklığın her noktada eşit olduğu varsayılmıştır (Tütüncü ve Labuza, 1996)

$$D_{eff} = \frac{4kL^2}{\pi^2} \quad (3.8)$$

Burada k, çizilen grafiğin eğimidir.

Etkin difüzyon katsayısı gıdanın sıcaklığı, tekstürü ve nem içeriği gibi özelliklerinden etkilenmektedir. Etkin difüzyon katsayısının hesaplanması için kullanılan varsayımlar, ince tabaka modellerinin hesaplanmasında kullanılan varsayımlarla uyumludur. Ancak, diğer varsayımlar gibi, bu hesaplamalarda da hata payı bulunmaktadır. Bu hata payı genellikle D_{eff}'in dış koşullardan etkilenmesinden kaynaklanır. Hava hızı buna örnek olarak verilebilir. Bununla birlikte, etkin difüzyon katsayısının hesaplanması, farklı ürünler arasında nicel olarak karşılaştırma yapmayı mümkün kılan bir yöntemdir. Denklemler aracılığıyla, tüm kurutma sürecini kapsayan ortalama bir difüzyon katsayısının hesaplanması sağlanabilir. Kurutma karakteristiklerinin belirlenmesi açısından, D_{eff}'in hesaplanması önemli bir adımdır (Jangam ve Mujumdar, 2010; Kutlu vd., 2015).

3.5. Fizikokimyasal analizler

3.5.1. Renk tayini

Kırmızı pancar pestil örneklerinin renk ölçümleri, CR-5 Konika Minolta renk tayin cihazı (Osaka, Japan) kullanılarak belirlenmiştir. Ölçülen L* parametresi açıklık (+) veya koyuluk (-) (0=siyah, 100=beyaz), a* parametresi kırmızılık (+) veya yeşillik (-) ve b* parametresi sarılık (+) veya mavilik (-) değerlerini ifade etmektedir. C^* kroma (renk doygunluğu), 0 (donuk) ile 60 (canlı) arasında değişir. Ayrıca C^* ve H° değerleri de Eşitlik 3.9 ve 3.10 kullanılarak hesaplanmış olup H° (rengin ton açısı) değerlerinin 0˚, 90˚, 180˚, 270˚ ve 360˚ olması sırasıyla; kırmızı, sarı, yeşil, mavi ve kırmızı rengi ifade etmektedir (Koc ve Yolci Ömeroğlu, 2019).

$$C^* = (a^2+b^2)^{1/2} \quad (3.9)$$

$$H^\circ = tan^{-1}(b/a) \quad (3.10)$$

Ayrıca pestil üretimde uygulanan sıcaklık işleminin çok yüksek ve uzun süreli olmasından dolayı üründe esmerleşme meydana gelebilmektedir. Aşağıdaki eşitlik ile Browning (kahverengileşme) İndeksi (BI) tespit edilmiştir (Eşitlik 3.11) (Ding ve Ling, 2014).

$$BI = \left[100\left(\frac{a^*+1{,}75L^*}{5{,}645L^*+a^*-0{,}3012b^*} - 0{,}31\right)\right] \div 0{,}17 \quad (3.11)$$

Renk ölçümleri (Şekil 3.7), üç tekerrürlü olarak yapılmış olup hesaplamalarda ortalama değerler kullanılmıştır.



Şekil 3.7. CR-5 Konika Minolta renk tayin cihazı

3.5.2. Nem tayini

Pestil örneklerinin nem içeriği Resmi Analitik Kimyacılar Derneği (AOAC) analiz yöntemi referans alınarak belirlenmiştir (AOAC, 2023). 2,00±0,01 g numune önceden tartılan kaplara alınmıştır. Numuneler nem içeriği dengeye ulaşıncaya kadar etüv içerisinde 105 °C'de kurutulmuşlardır. Kurutma işlemi tamamlandıktan sonra, kaplar etüvden çıkarılıp desikatörde soğumaya bırakılarak tekrar tartılmıştır. Numunelerin nem miktarları yüzde (%) olarak ifade edilmiştir.

3.5.3. Briks (suda çözünür kuru madde) tayini

Pestil herlelerinin suda çözünür kuru madde miktarı (Briks, ^{o}Bx), dijital refraktometre (RFM 960, Bellingham+ Stanley) (Şekil 3.8) ile ölçülmüştür (TS, 1986).



Şekil 3.8. Dijital refraktrometre cihazı

3.6. Duyusal analiz

Kırmızı pancar pestilleri, önceden tanımlı kalite parametrelerinin derecelendirilmesi için puanlama testi ve panelistlerin ürün hakkındaki genel tercihlerini veya beğenme/beğenmeme durumlarını değerlendirmek için hedonik skala testi dahil olmak üzere iki duyusal analiz yöntemi ile değerlendirilmişlerdir. Bu çalışma için oluşturulan 10 kişilik panelist ekibi, Bursa Uludağ Üniversitesi Bilim ve Teknoloji Uygulama ve Araştırma Merkezi'nin (BİTUAM) sigara içmeyen ve duyusal analiz teknikleri hakkında daha önceden ilgili standartlar kapsamında eğitilmiş (ISO 2006; ISO 2011; ISO 2012a-b) 20 kişilik havuzundan rastgele seçilmiştir. Panelistler arasında Bursa Uludağ Üniversitesi Gıda Mühendisliği Bölüm Öğretim Üyeleri ve yüksek lisans/doktora öğrencileri yer almıştır ve her iki cinsiyeti de dengeli bir şekilde içermiştir. Üretilen pestil örnekleri oda sıcaklığında ulaştığında, 2 cm × 2 cm boyutlarında kare şeklinde bölünmüş ve rastgele üç haneli rakamlarla kodlanmış şeffaf plastik kaplarda sunulmuştur. Tadım esnasında tadı nötrlemek için tuzsuz galeta ve oda sıcaklığında su kullanılmıştır. Duyusal analizlerin gerçekleştirilmesi için sabah 10:30 ve öğleden sonra 14:00 saatleri tercih edilmiştir.

Hedonik skala testinde pestillerin renk, görünüş, genel tat, genel koku, pancara özgü aroma, pancara özgü koku, çiğnenebilirlik, tekstür ve genel kabul edilebilirlik parametreleri dokuz noktalı skala (çok beğendim “9” hiç beğenmedim “1”e kadar) kullanılarak değerlendirilmiştir (Çizelge 3.7).

Çizelge 3.7. Hedonik skala testi

Panelistin Adı ve Soyadı: **Tarih ve Saat:**				
AÇIKLAMA: Aşağıdaki tabloda verilmiş olan kalite kriterleri açısından pestil örneklerini birbirinden bağımsız olarak 9 puan üzerinden tercihlerinizi değerlendiriniz. 1: Hiç beğenmedim 2:Çok beğenmedim 3:Orta derecede beğenmedim 4:Biraz beğenmedim 5:Ne beğendim ne beğenmedim 6:Az beğendim 7:Orta derecede beğendim 8:Çok beğendim 9:Çok fazla beğendim				
Duyusal Özellikler	**Örnek Kodları**			
	253	**282**	**428**	**525**
Renk				
Görünüş				
Genel Tat				
Genel Koku				
Panacara Özgü Aroma				
Pancara Özgü Koku				
Çiğnenebilirlik				
Tekstür				
Genel Kabuledilebilirlik				

Ayrıca, tez kapsamında üretilen kırmızı pancar pestilleri, üzüm (TS, 2000a), kayısı (TS, 2000b), erik (TS, 2000c) ve dut (2000d) ürün standartlarında yer alan puanlama testi referans alınarak duyusal özellikleri 1 ile 4 arasında (4 çok iyi, 3 iyi, 2 orta,1 kötü) değerlendirilmiştir. Puanlama testi ile farklı koşullarda üretilen pestillerin renk, görünüş, tat ve koku açısından kalite farklılıkları derecelendirilmiştir. Her bir koşulda üretilen pestillerin duyusal özelliklerinin panelistler tarafından minimum 3 puan alması kabul kriteri olarak belirlenmiştir (Çizelge 3.8).

Çizelge 3.8. Puanlama testi

Panelistin Adı ve Soyadı: **Tarih ve Saat:**				
Size sunulan kodlu örnekleri renk, görünüş, tat ve koku açısından aşağıda belirtilen puanlama kriterlerine göre değerlendiriniz.				
Duyusal Özellikler	**Örnek Kodları**			
	253	**282**	**428**	**525**
Renk				
Görünüş				
Tat ve Koku				
Özellikler				**Puan**
Renk				
Kırmızı pancar pestiline özgü renk, karamelizasyon yok				4
Renkte hafif kahverengileşme, karamelizasyon yok				3
Renk koyu kahverengi, karamelizasyon mevcut				2
Yanma sonucu aşırı karamelizasyon mevcut				1
Görünüş				
Şeffaf, kalınlık yeknesak				4
Mat ve kalınlık yeknesak				3
Kalınlık yeknesak değil				2
Kalınlık düzensiz, mat, topaklaşma ve düzensiz partiküller mevcut				1
Tat ve Koku				
Kırmızı pancar pestiline özgü¸ aromatik tat ve koku mevcut				4
Kırmızı pancar pestiline özg¸ koku, tat, yabancı tat - koku mevcut değil				3
Kırmızı pancar pestiline özgü koku - tat, çok az yabancı meyve tadı mevcut				2
Yabancı tat - koku mevcut				1

3.7. Toplam antioksidan kapasite, toplam fenolik ve toplam flavonoid madde tayini

Pestil örneklerinin toplam antioksidan kapasite (TAK), toplam fenolik madde (TFM) ve toplam flavonoid madde (TFLM) analizleri spektrofotometrik yöntemlerle gerçekleştirilmiştir. Analiz yöntemleri ekstraksiyon (3.7.1) ve elde edilen ekstraktların (3.7.2-3.7.3) spektrofotometrik yöntem ile ölçüm aşamasını içermektedir. .Analizler kapsamında kullanılan tüm kimyasal malzemeler analitik saflıkta, spektrofotometrik analiz sırasında kullanılan referans standartlar ise minimum 97% saflıkta temin edilmiştir.

3.7.1. Ekstraksiyon aşaması

Pestil örnekleri toplam antioksidan kapasite (TAK), toplam fenolik madde (TFM) ve toplam flavonoid madde (TFLM) analizleri için Kamiloglu ve Çapanoglu (2014) tarafından belirtilen yöntem kullanılarak ekstrakte edilmiştir. 2 gram örnek üzerine 5 mL ekstraksiyon çözeltisi (% 75 metanol, % 0.1 formik asit içeren sulu çözelti) eklenerek soğutmalı ultrasonik su banyosunda (Bandelin Sonorex RK 510 H, Almanya) (Şekil 3.9) 15 dakika bekletilmesinin ardından örnekler 10 dakika 4°C' de 10000 g devirde santrifuj (Hitachi CF15RN, Japonya) edilmiştir ve üstteki sıvı faz ekstraksiyon sonunda toplanmıştır. Altta kalan katı kısım üzerine tekrar 5 mL ekstraksiyon çözeltisi ilave edilerek bu işlem 2 defa daha tekrarlanmıştır. Toplanan sıvı kısım en son bir tüpte birleştirilecek ve analiz edilinceye kadar -20°C' de depolanmıştır.





(a) **(b)**

Şekil 3.9. a) Ultrasonik banyo b) Soğutmalı santrifüj

3.7.2. Toplam antioksidan kapasite tayini (TAK)

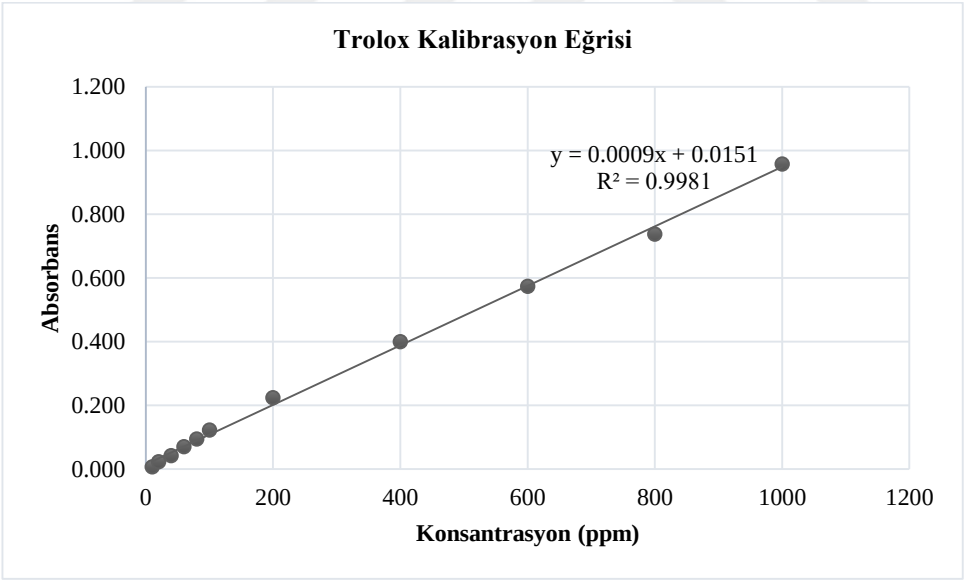
TAK analizleri CUPRAC (Bakır (II) iyonu indirgenme antioksidan kapasitesi) ve DPPH (2,2–difenil–1–pikrilhidrazil) olmak üzere iki farklı yöntem ile gerçekleştirilmiştir.

CUPRAC yöntemi Apak vd. (2004) tarafından açıklandığı gibi uygulanmıştır. 100 µL ekstrakta sırayla, 1 mL 10 mM bakır (II) klorür, 1 mL 7,5 mM neokuproin, 1 mL 1 M amonyum asetat ve 1 mL distile su (Elga Option S Calssic, Fransa) ilave edilip, son hacim 4,1 mL'ye ayarlanmışır. Oda sıcaklığında 30 dakikalık bir inkübasyon süresinin ardından 450 nm'deki absorbans, bir spektrofotometre (Agilent Technologies Cary 60, Santa Clara, California, Amerika) kullanılarak ölçülmüştür (Şekil 3.10). Numunelerin

toplam antioksidan kapasiteleri, bir Trolox standart eğrisi referans alınarak belirlenmiştir (Şekil 3.11) ve sonuçlar, Trolox eşdeğeri (TE)/100 g kuru madde olarak ifade edilmiştir.

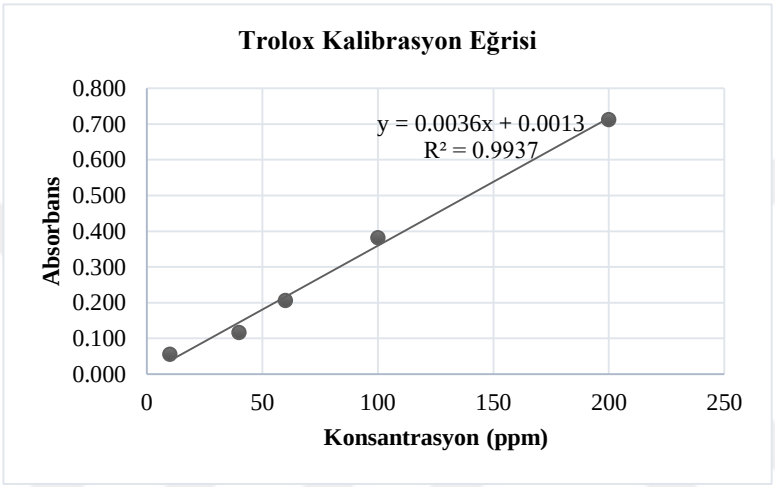


Şekil 3.10. Spektrofotometre cihazı



Şekil 3.11. CUPRAC analizine ait trolox kalibrasyon eğrisi

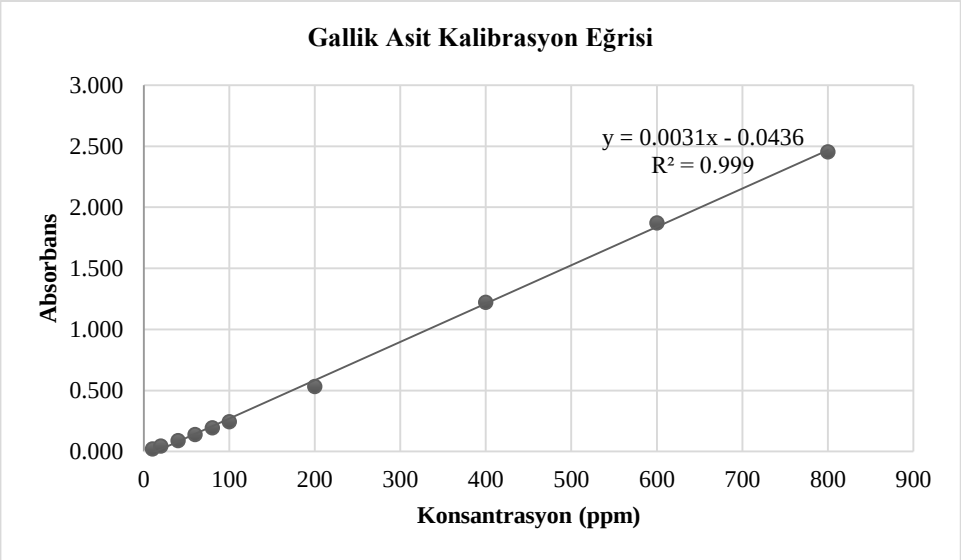
DPPH (2,2–difenil–1–pikrilhidrazil) metodu daha önce literatürde belirtilen şekilde uygulanmıştır (Kumaran ve Karunakaran, 2006). 100 µL ekstraktına 0,1 mM metanol içerisinde çözündürülmüş 2 mL DPPH reaktifi içeren bir karışım eklenmiştir. Oda sıcaklığında 30 dakikalık bir inkübasyon süresinin ardından çözeltinin absorbansı, bir spektrofotometre kullanılarak 517 nm'de ölçülmüştür. Numunelerin toplam antioksidan kapasiteleri, bir Trolox standart eğrisi referans alınarak hesaplanmıştır (Şekil 3.12) ve sonuçlar, mg Trolox eşdeğeri (TE)/ 100 g kuru madde olarak ifade edilmiştir.



Şekil 3.12. DPPH analizine ait trolox kalibrasyon eğrisi

3.7.3 Toplam fenolik madde tayini (TFM)

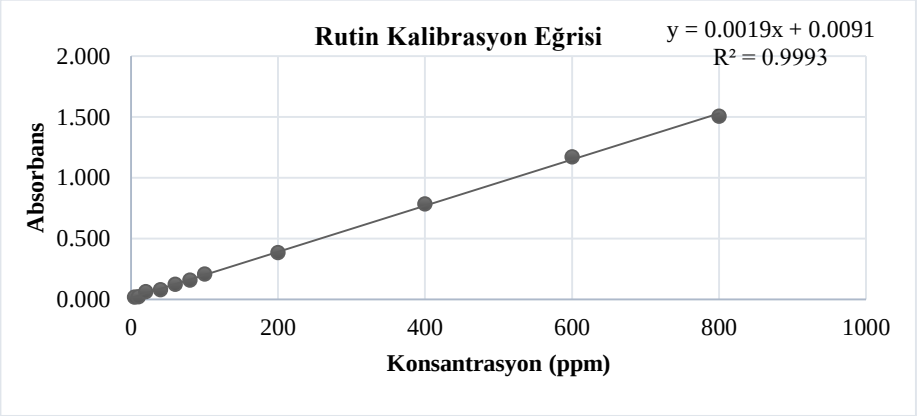
Fenolik bileşiklerin miktar tayini, literatürde (Velioğlu, Mazza, Gao ve Oomah, 1998) daha önce yapılan bir çalışmada detaylandırılan yönteme uygun olarak gerçekleştirilmiştir. 100 µL ekstrakta 0,75 mL Folin-Ciocalteu reaktifinin eklenmesinin ardından elde edilen karışımın oda sıcaklığında 5 dakika inkübasyonu sağlanmıştır. Daha sonra 0,75 mL %6'lık sodyum karbonat çözeltisi ilave edilmiştir ve karışım, oda sıcaklığında 90 dakika süreyle inkübasyona bırakılmıştır. Absorbans ölçümleri bir spektrofotometre kullanılarak 725 nm'de alınmıştır. Numunelerin toplam fenolik içeriği, bir gallik asit standart eğrisi referans alınarak belirlenmiştir (Şekil 3.13) ve sonuçlar, miligram gallik asit eşdeğeri (GAE)/ 100 gram kuru madde olarak ifade edilmiştir.



Şekil 3.13. Toplam fenolik madde tayini gallik asit kalibrasyon eğrisi

3.7.4 Toplam flavonoid madde tayini (TFLM)

Toplam flavonoid içeriği, literatürde uygulanan bir yöntem (Kim, Jeong ve Leo, 2003) doğrultusunda gerçekleştirilmiştir. Buna göre, 1 mL ekstrakta 0,3 mL %5 sodyum nitrit ($NaNO_2$) eklenmiştir. 5 dakikalık inkübasyon süresinin ardından sırasıyla 0,3 mL %10 alüminyum klorür ($AlCl_3$), 2 mL 1M sodyum hidroksit (NaOH) ve 2,4 mL distile su eklenmiş ve karışım vortekslendikten sonra, absorbans değerleri spektrofotometrede 510 nm'de ölçülmüştür. Numunelerin toplam flavonoid içeriği, bir rutin standart eğrisi referans alınarak belirlenmiştir (Şekil 3.14) ve sonuçlar, miligram rutin eşdeğeri (RE)/ 100 gram kuru madde olarak ifade edilmiştir.



Şekil 3.14. Toplam flavonoid tayini için rutin kalibrasyon eğrisi

3.8 Toplam betalain miktarı tayini

Kırmızı pancar örneklerine su 1:15 w/v oranında eklenerek ultrasonik banyoda sıcaklık 60 °C ve 40 dk bekletilmiş ve ardından elde edilen ekstrakt süzülmüştür. Pestil örneklerinin sulu ekstraktı 4000 rpm'de 5 dk santrifüj edildikten sonra elde edilen pigmentlerin (betasiyanin ve betaksantin) miktarları, 1 cm kuvars küvet kullanılarak bir spektrofotometrede iki farklı dalga boyunda (483 ve 535 nm) absorbansları okunmuştur. Sonuçlar aşağıda eşitlik 3.12 'de verilen formüle göre hesaplanmış olup (Castellanos-Santiago ve Yahia, 2008; Şimşek, 2019), kg ekstrakt başına mg pigment olarak ifade edilmektedir.

$$BC = \frac{A.DF.MW.V_d.1000}{\varepsilon.I.W_d} \quad (3.12)$$

BC: Betalain miktarı (mg/kg)

A: 535 nm (betasiyanin) ve 483 nm (betaksantin) dalga boyunda okunan absorbans

DF: Seyreltme faktörü

MW: Betasiyanin (550 g/mol) ve betaksantin (308 g/mol) molekül ağırlığı

V_d: Ekstraksiyon çözeltisinin hacmi (ml)

W_d: Örnek miktarı (g)

ε: Molar absorptivite katsayısı, betasiyanin için 60000 L/mol cm, (su içerisinde) betaksantin için 48000 L/mol cm, (su içerisinde)

I: Küvetin çapı (1cm)

3.9. Hidroksimetilfurfural (HMF) tayini

Pestil örneklerinde hidroksimetilfurfural (HMF) tayini, Rufián- Henares ve Delgado-Andrade (2009) tarafından uygulanan metot modifiye edilerek gerçekleştirilmiştir. Analizler kapsamında kullanılan tüm kimyasal malzemeler analitik saflıkta temin edilmiştir. 1,00±0,01 g numuneye 7 mL distile su ilave edilerek vortekslenmiştir. Daha sonra 4500 g 4 °C' de 10 dk santrifüjlenmiş ve süpernatant ayrı bir tüpe aktarılmıştır. Gerçekleştirilen santrifüj aşaması kalıntının üzerine 2 mL distile su ilave ikinci defa tekrarlanmıştır. Birleştirilen süpernatantlar üzerine 0,250 mL Carrez I (potasyum ferrosiyanür, 15% w/v) ve 0,250 ml Carrez II (çinko asetat 30 % w/v) çözeltileri eklenmiştir. Analizin son aşamasında da yukarıda belirtilen koşullarda santrifüjleme

işlemi gerçekleştirilip son hacim distile su ile 10 mL' ye kadar tamamlanmıştır. Ön aşaması tamamlanan pestil numunelerine ait solüsyonlar 0,45 µm membran filtrelerden (PVDF-polivinilidenflorit) geçirilerek yüksek performanslı sıvı kromatografisi–fotodiyot dizi dedektörüne (HPLC-PDA, Shimadzu LC-2030C 3D Plus, Japonya) (Şekil 3.15) enjekte edilmek üzere 1,2 ml'lik viallere aktarılmıştır. HMF analizi için HPLC şartları Çizelge 3.9'de belirtildiği gibi gerçekleştirilmiştir. Veri izleme için LabSolution (Shimadzu, Kyoto, Japonya) yazılımı kullanılmıştır. HMF'nin tanımlanmasında kolonda tutunma süresi ve karakteristik UV spektrası dikkate alınmıştır. HMF miktarı, 0,5-50 mg/kg arasında farklı derişim seviyelerini içeren kalibrasyon çalışma standartları solüsyonları ile çizilen kalibrasyon eğrisinden (R^2>0.999) yararlanılarak hesaplanmıştır (Ek 1). Analiz sırasında kullanılan kimyasallar analitik saflıkta, HMF standardı ise minimum %99,5 saflıkta (Merck, Almanya) olacak şekilde temin edilmiştir.

Çizelge 3.9. HMF analizi için HPLC koşulları

Özellikler	**Değerler**
Kolon	250 mm × 4 mm, 5 µm, Nucleosil® 100-5
Kolon sıcaklığı	32 °C
Dedektör	Fotodiyot dizi dedektörü (PDA)
Mobil faz	Asetonitril: Saf su (5: 95 v/v)
Akış hızı	1 mL/dk
Dalga boyu	280 nm
Analiz süresi	15 dk
Enjeksiyon hacmi	20 µL



Şekil 3.15. HPLC cihazı

3.10. Fenolik bileşenlerin karakterizasyonu

Fenolik bileşenlerin tanımlanması ve kantifikasyonu sıvı kromatografi tandem kütle spektrometresi (LC-MS/MS 8060 Shimadzu 8060, Kyoto, Japonya) kullanılarak gerçekleştirilmiştir (Şekil 3.16). Kromatografik ayrım için C18 kolonu (3 × 100 mm, 3 µm, GL Sciences, Tokyo, Japonya) kullanılmıştır. Ekstraksiyon aşaması tamamlanan pestil numunelerine ait solüsyonlar (Bölüm 3.7.1) 0,45 µm membran filtrelerden (PVDF-polivinilidenflorit) geçirilerek LC-MS-MS viallerine aktarılmıştır. 10 µL örnek Formik asit/Ultras saf su (1:1000, v/v; elüent A) ve Formik asit/Asetonitril (1:1000, v/v; elüent B) kullanılarak dakikada 0,4 mL akış hızında sisteme enjekte edilmiştir. Kullanılan gradyan Çizelge 3.10' de belirtilmektedir. Kolon sıcaklığı 40 °C' da tutulmuştur. Kütle spektrometresi hem pozitif hem de negatif elektrosprey iyonizasyon (ESI) modlarında çoklu reaksiyon izleme (MRM) ile çalıştırılmıştır. Nebulizasyon gazı (N_2) akışı: 3,0 L/dk, kurutma gazı (N_2) akışı: 10,0 L/dk, arayüz voltajı: 4,0 kV, desolvasyon hattı sıcaklığı: 250 °C, arayüz sıcaklığı: 300 °C ve ısı bloğu sıcaklığı: 400 °C olacak şekilde ayarlanmıştır. Verilerin elde edilmesi için LabSolution yazılımı (Shimadzu) kullanılmıştır.



Şekil 3.16. LC-MS/MS cihazı

Çizelge 3.10. Pestil örneklerindeki fenolik bileşenlerin LC-MS/MS ile tayininde kullanılan gradyan elüsyonu

Süre (dakika)	Elüent A (%)	Elüent B (%)
0	80	20
0,50	80	20
7,00	50	50
12,00	5	95
12,10	80	20
15,00	80	20

Tez kapsamında protokateşuik asit, klorojenik asit, kafeik asit, şiringik asit, sinapik asit, ferulik asit, p-kumarik asit, p-hidroksibenzoik asit, 3,4-dihidroksifenilasetik asit, rutin, epikateşin, luteolin, kuersetin, apigenin, kamferol, sinnamik asit gibi pestil yapımında kullanılan hammaddeler için literatürde raporlanan fenolik bileşikler seçilerek farklı ön işlemlerin etkisi araştırılmıştır. Flavonoidler ile fenolik asitler ve diğer biyoaktif bileşenlerin tespitinde belirlenen metot parametreleri Çizelge 3.11'de sunulmuştur.

Çizelge 3.11. Polifenollerin tespitinde kullanılan metot parametreleri

Bileşen	Alıkonma zamanı (RT)	İyonizasyon modu	Kütle (m/z)	Ana iyon (*m/z*)	Yardımcı iyonlar (*m/z*)	Referans
Fenolik asitler ve diğer polifenoller						
Klorojenik asit	2,01	ESI-	353,1	191,1	110,90	Tumbas Šaponjac vd., 2016; Borjan vd., 2022; Alwazeer vd., 2023
Ferulik asit	3,79	ESI-	192,9	134,1	178,10	Tumbas Šaponjac vd., 2016; Alwazeer vd., 2023
Kafeik asit	2,67	ESI-	178,8	135,1	89,20	Tumbas Šaponjac vd., 2016; Borjan vd., 2022; Alwazeer vd., 2023
o-salisilik asit	5,06	ESI-	137,1	93,0	65,0 75,0	El-Mesallamy vd., 2020
p-kumarik asit	3,54	ESI-	163,1	119,1	146,00 117,10 93,00 65,00 41,00	Tumbas Šaponjac vd., 2016; Borjan vd., 2022; Alwazeer vd., 2023
Vanilin	3,55	ESI-	151,0	136,1	92,1	Gong vd., 2023
Flavonidler						
İzokuersitrin	3,45	ESI-	463,1	300,0	271,0	Alwazeer vd., 2023
Epikateşin	2,44	ESI-	289,1	245,1	205,1	Tumbas Šaponjac vd., 2016 ; Borjan vd., 2022
Kuersetin	5,95	ESI-	301,0	151,2	179,00	Carrillo, Wilches-Pérez, Hallmann, Kazimierczak ve Rembiałkowska, 2019; Alwazeer vd. (2023)
Rutin	3,10	ESI-	609,1	300,0	271,10	Alwazeer vd., 2023
Taksifolin	3,87	ESI-	303,1	285,1	125,0	Gong vd., 2023

Örneklerde bulunan fenolik bileşenlerin tanımlanması için, ilgili bileşenin örnek ve kalibrasyon standartlardan elde edilen alıkonma zamanları, ana ve yardımcı iyonları karşılaştırılarak tanımlama yapılmıştır. Fenolik bileşenlerin örneklerdeki miktarı 0,5-50 µg/kg arasında farklı derişim seviyelerini içeren kalibrasyon çalışma standartları solüsyonları ile çizilen lineer kalibrasyon eğrisinden (R^2>0,999) yararlanılarak hesaplanmıştır (Ek 2, Ek 3). Analiz sırasında kullanılan kimyasallar LC-MS-MS analizine uygun ve fenolik standartları ise minimum %97 saflıkta olacak şekilde temin edilmiştir.

3.11. Element analizi

Pestil örneklerinin elementel içeriğini belirlemek için NMKL 186 (NMKL, 2007) metodu referans alınarak, numuneler %65'lik nitrik asit (HNO_3) ve %30'luk hidrojen peroksit eşliğinde kapalı sistem mikrodalga fırında (Milestone Ethos UP, ABD) yakılmıştır. Mikrodalga ünitesinde yakılan örnekler sonra ultra distile su ile 50 mL'ye tamamlanmış ve 0,45 µm membrane filtreden süzülerek ve Nexion 500 ICP-MS (PerkinElmer Inc., ABD) modeli Kütle Spektrofotometresinin bağlı olduğu Indüktif Eşleşmiş Plazma (ICP-MS) cihazında (Şekil 3.17) element içerikleri mg/kg olarak tespit edilmiştir. Cihaz parametreleri 3.12'de sunulmuştur. Nicel analiz için mikro elementler için 0,05-25 µg/L, makro elementler için 1-1000 µg/L aralığında en az beş farklı derişim aralığında çizilen lineer kalibrasyon eğrisinden (Ek 4) (R^2>0,999) faydalanılarak yapılmıştır. Kalibrasyon çalışma standartları 5 wt % (w/v) HNO_3 içerisinde 10 µg/mL konsantrasyonunda olan karışım stok standardın (Perkin Elmer, Almanya) uygun oranında 5 wt % (w/v) HNO_3 ile seyreltilmesiyle hazırlanmıştır. Analiz sırasında kullanılan %65'lik HNO_3 ve %30'luk hidrojen peroksit suprapur kalitesinde (Merck, Almanya), argon ve helyum gazı %99,99 saflığında ve su ultrasafsu cihazından (Elga Option S Calssic, Fransa) temin edilmiştir.



Şekil 3.17. ICP-MS cihazı

Çizelge 3.12. ICP-MS cihaz koşulları

Özellikler	**Değerler**
Radyo frekans gücü (RF)	1600 W
Plazma Argon Akış Hızı	20,0 L/dk
Nebulizer Akış Hızı	0,98-1,39 L/dk
Auxiliary Gaz Akış Hızı	1,2 L/dk
Örnek Çekiş Hızı	20 rpm
Dwell Süresi	50ms
Tekrar Sayısı	3
Tarama Modu	Peak hopping
Dedektör Modu	Dual

3.12. İstatistiksel analiz

Pestil üretimleri, tüm gerçekleştirilen ekstraksiyonlar ve analizler üç tekerrürlü olarak gerçekleştirilmiştir. Spektrofotometrik ve kromatografik analizlerde her tekerrürden üç paralelli ölçümler gerçekleştirilmiş olup, elde edilen sonuçlar ortalama ±standart sapma şeklinde ifade edilmiştir. Verilerin arasındaki ilişkileri araştırmak için Pearson korelasyon katsayıları belirlenmiştir. Veriler SPSS yazılımı kullanılarak tek yönlü varyans analizine (ANOVA) tabii tutularak, örnekler arasındaki farklılıkların belirlenmesinde Tukey testi kullanılmıştır ($p<0,05$). Verilerdeki örüntüleri araştırmak ve kırmızı pancar pestillerinde benzerlik ve farklılıkları vurgulamak için temel bileşen analizi (PCA) kullanılmıştır. Minitab 21,0 yazılımı kullanılarak temel bileşen analizi gerçekleştirilmiştir.

4. BULGULAR ve TARTIŞMA

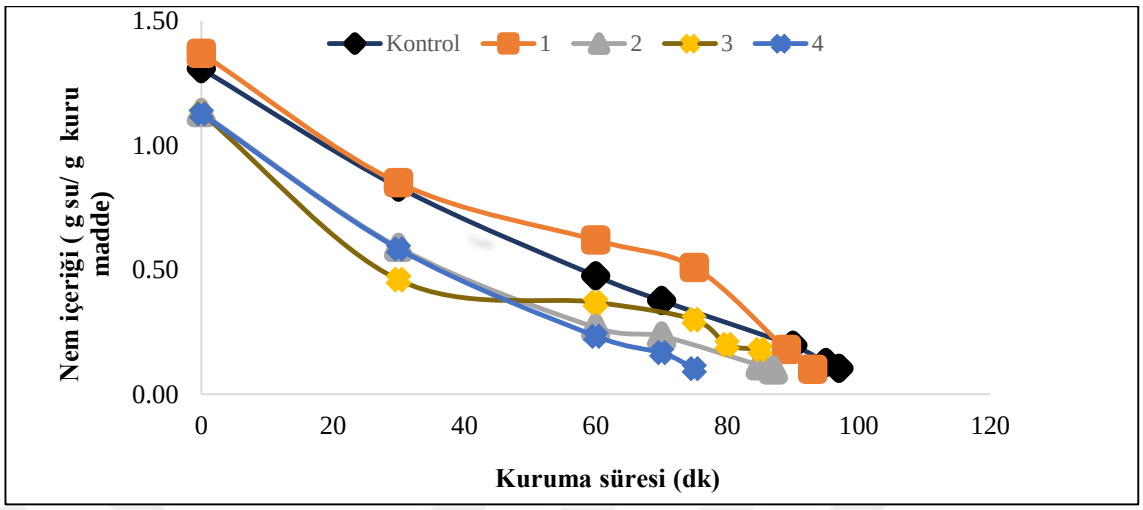
4.1. Kırmızı pancar pestilinin kurutma karakteristiği

4.1.1. Nem içeriği değişimi

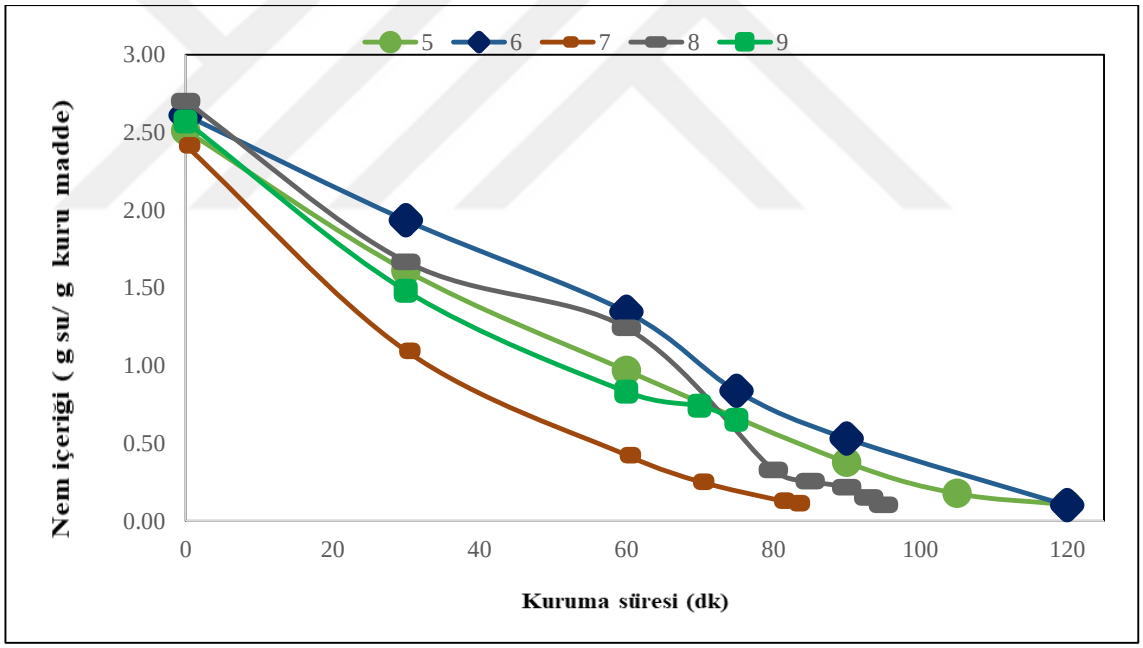
Farklı ön işlemlerle (Bkz Çizelge 3.4) elde edilen koyulaştırılmış kırmızı pestil püresi (herle) 70 °C'de sıcak hava ile kurutulmuştur. Kurutma işlemi sırasında nem içeriklerinin zamanla değişimi Şekil 4.1-4.3'de sunulmuştur.

40° Bx'e kadar koyulaştırılan ve başlangıç nem içeriği 1,13-1,37 g su/g KM olan kırmızı pancar pestil herleleri, hedef nem oranı olan 0,10 g su/ g KM'ye kadar kurutulmuştur (Şekil 4.1). Kurutma süreci sonunda istenen nem oranına ulaşmak için 75-95 dk arasında bir kurutma periyodu gerekmiştir. Benzer bir şekilde, 20° Bx'e kadar koyulaştırılan ve başlangıç nem içeriği 2,42-2,72 g su/g KM olan herlelerden kırmızı pancar pestili elde etmek için, 75 -120 dk arasında değişen bir kurutma zamanına ihtiyaç duyulmuştur (Şekil 4.2). Çalışma kapsamında ayrıca, 45 dakika termosonikasyon (10. Koşul) ve bunun 10 dk mikrodalga (11. Koşul) kombinasyonuyla gerçekleştirilen haşlama ön işlemlerinden sonra koyulaştırma işlemi uygulanmadan herle elde edilmiştir ve başlangıç nem içeriği 2,84-3,92 g su/g KM'den hedef nem oranı olan 0,10 g su/ g KM'ye kadar kurutulmuştur. Gerçekleştirilen kurutma süresi Şekil 4.3'te görüldüğü üzere 75-120 dakika aralığında değişmiştir.

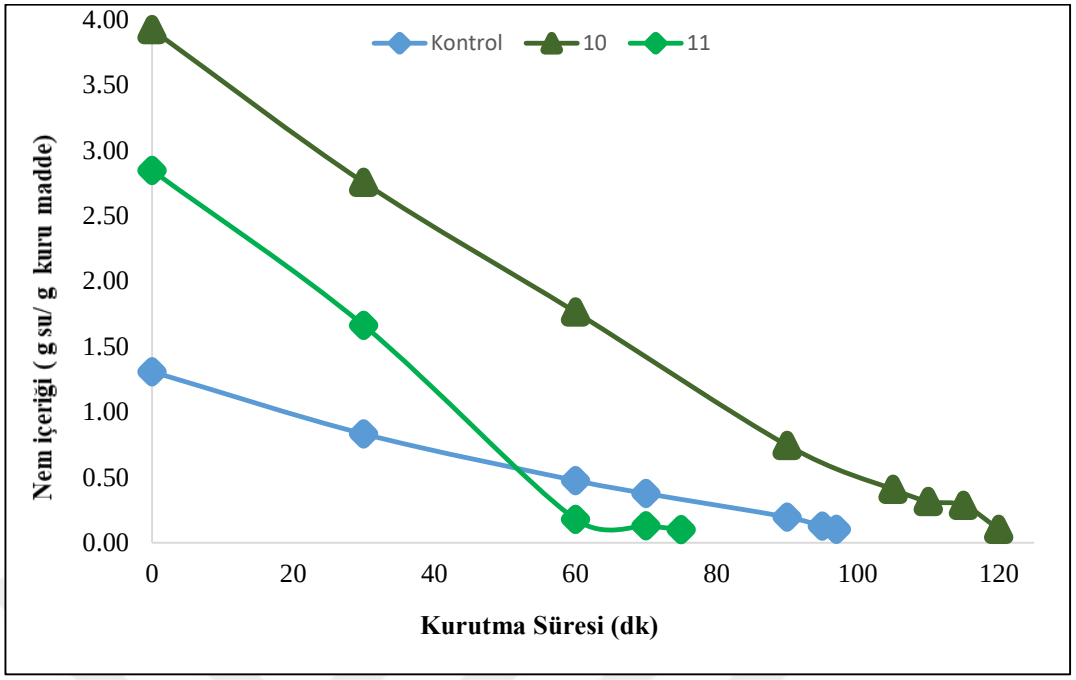
Herlenin kurutma öncesi başlangıç suda çözünür kuru madde oranından bağımsız olarak en fazla kurutma süresine (120 dk) 5., 6., ve 11. koşullarda ulaşılmıştır. En az kurutma süresine (75 dk) ise, haşlama işleminin "45 dk termosonifikasyon ve 10 dk mikrodalga " ile desteklendiği ön işlem koşullarında (4. 9. ve 11. Koşul) ulaşılmıştır. Açık kazanda gerçekleştirilen ön haşlama işlemine alternatif olarak uygulanan termosonifikasyon işleminde, kurutma zamanının artan termosonifikasyon işlemiyle %4-10 aralığında azaldığı gözlenmiştir. Termosonifikasyon işlemi sonrası haşlama işlemine eklenen 10 dk'lık mikrodalga işlemi ise kurutma zamanını %12-22 aralığında azaltmışır. Sonuç olarak, farklı ön işlem uygulamalarının ardından, aynı sıcaklıkta ve koşullarda konveksiyonel sıcak hava ile kurutulan kırmızı pancar pestillerinin kuruma sürelerinin ön işlemlerden etkilendiği gözlemlenmektedir



Şekil 4.1. Kırmızı pancar pestil kurutmalarında nem oranı değişimi (Kontrol, 1-4. Koşul)



Şekil 4.2. Kırmızı pancar pestil kurutmalarında nem oranı değişimi (5-9. Koşul)



Şekil 4.3. Kırmızı pancar pestil kurutmalarında nem oranı değişimi (10-11. Koşul)

Özkan Karabacak (2021), havuçlu kırmızıbiber pestili üzerine yaptığı bir çalışmada, açık kazanda 40° Bx'e kadar yaptığı koyulaştırma işlemi ile elde ettiği pestil karışımını 0,07 g su/g KM'e kadar 60 ve 70 °C' de sıcak hava ile kurutmuş ve kurutma işlemi sırasıyla 175 ve 110 dakikada tamamlanmıştır. Benzer koşullarda koyulaştırma işlemi geçiren muşmula ve dut pestilinin pestilinin 70 °C'de sıcak hava kabin kurutucuda kurutulması için kurutulma süresi sırasıyla 115 dk ve 100 dk olarak raporlanmıştır (Suna, 2019; Suna ve Özkan-Karabacak, 2019). Bu tez kapsamında "Kontrol" koşulunda üretilen kırmızı pancar pestili kurutma süresinin literatürde raporlanan bu sonuçlarla uyumlu olduğu gözlenmiştir.

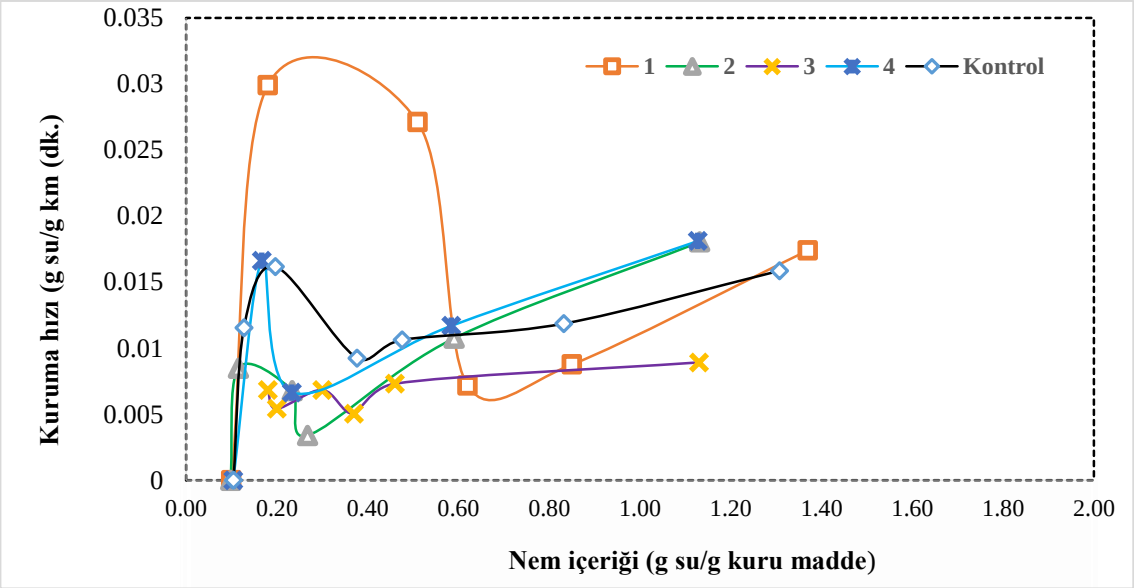
Literatürde yapılan çalışmalarda pestil üretiminde kurutma öncesi ön işlem olarak haşlama işlemi yaygın olarak kullanılmaktadır (Özkan Karabacak, 2021; Özkan Karabacak vd., 2023a). Ancak, haşlama işlemine alternatif olarak veya destekleyen nitelikte ultrasonifikasyon/termosonifikasyon ve mikrodalga uygulamalarına ait çalışmalara rastlanmamıştır. Diğer taraftan, bu tekniklerin ön işlem olarak meyve ve sebzelerin kurutulması sırasında kurutma süresini azaltmak ve nihai ürünün kalitesini iyileştirmek amacıyla kullanıldığı raporlanmıştır. Nowacka, Wicktor, Sledz, Jurek, Witrowa-Rajchert (2012) tarafından yapılan bir çalışmada, ultrason banyosunda 10, 20

ve 30 dakika süreyle 35 kHz ultrason gücü ile ön işlem görmüş elma küplerinin konveksiyon yöntemi kullanılarak 70 °C' de ve 1,5 m/s hava hızında kurutulmuştur ve çalışmanın sonucunda 30 dk ultrason banyo uygulamasının, işlem görmemiş örneklere kıyasla kuruma süresini %31 oranında azalmasına neden olduğu raporlanmıştır. Kavun dilimlerinin kurutulması için yapılan bir çalışmada, 25 kHz frekansda 10, 20 ve 30 dakika sürelerinde uygulanan ultrason ön işlemi sonrasında kurutma işlemi 50, 60 ve 70 °C sıcaklıklarda gerçekleştirilmiştir. Çalışmanın sonucunda, 20 ve 30 dakika boyunca uygulanan ultrason ön işleminin kuruma süresini sırasıyla %25 (50 °C) ve %40 (70 °C) oranında azalttığı belirtilmiştir (Silva vd., 2020). Benzer şekilde, yer elmasının kurutulması için yapılan bir çalışmada, kurutma öncesi 5-15 dakika arasında uygulanan ultrasonikasyon ön işlemlerinin kurutma süresini azalttığı raporlanmıştır (Aydar, Mataracı, Sağlam ve Yılmaz, 2022).

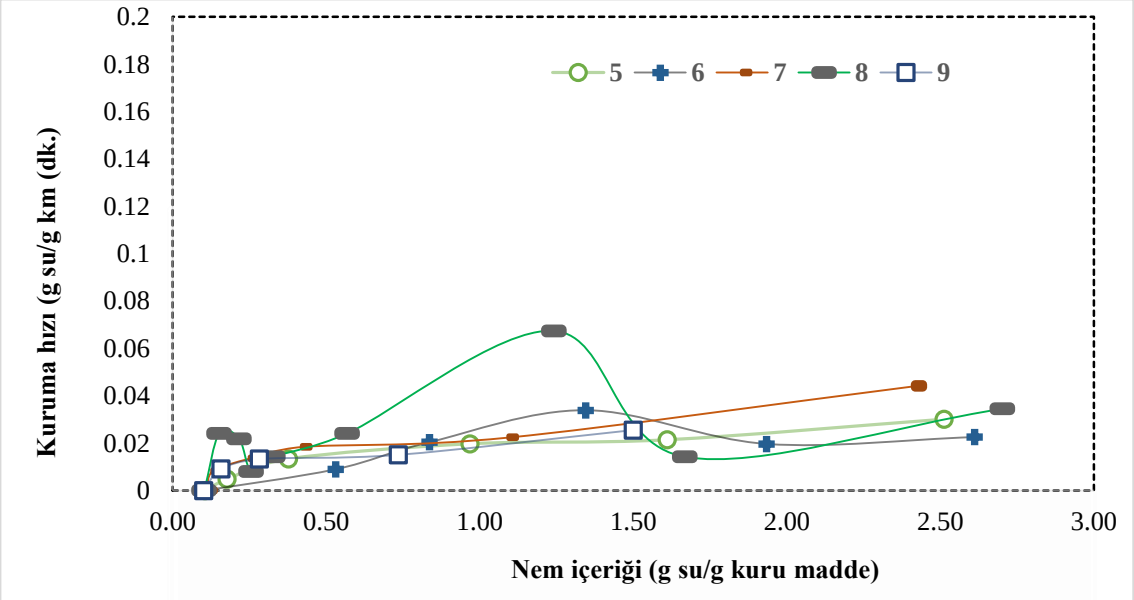
Tatlı patatesin 80° C sıcak hava ile kurutulması öncesi uygulanan mikrodalga ön işleminin, geleneksel buharda ve geleneksel sıcak suda haşlama ön işlemlerine göre kurutma süresini azalttığı raporlanmıştır (Liu vd., 2015). Ahududuların üzerine yapılan bir çalışmada, ahududunun mikrodalga enerjisi ve ultrason destekli hibrit bir sistemi (100–200 W, 55 °C) kullanılarak kurutulmasında, kurutma süresinin mikrodalga kullanımıyla %79, mikrodalga kullanılmadığı koşullara göre ise konveksiyonel kurutmaya göre %59 oranında azaldığı rapor edilmiştir. Bu çalışma, kombine hibrit proseslerin kurutma kinetiğini ve enerji kullanımını önemli ölçüde iyileştirdiğini göstermektedir (Kowalski vd., 2016). Benzer şekilde, Abbaspour-Gilandeh vd. (2021) tarafından alıç meyvesinin kurutulması üzerine yapılan bir çalışmada, ultrasonik ön işleminin mikrodalga destekli sıcak hava kurutma işlemininin diğer farklı kurutma tekniklerine (sıcak hava, mikrodalga-sıcak hava, kızılötesi-sıcak hava, dondurarak kurutma, ultrasonik + sıcak hava, ultrasonik + mikrodalga-sıcak hava, ultrasonik + kızılötesi-sıcak hava) göre kurutma süresini kısalttığı raporlanmıştır. Önal vd. (2021)'nin Rocha armutunun kurutulması için yaptığı çalışmada, mikrodalga (4 dakika boyunca 539 W) ve ultrasonikasyon (35 kHz- 160 W gücü ile 30 °C sıcaklıkta 10 dakikalık uygulama) ön işlemlerini karşılaştırmış ve mikrodalga ön işlem koşulunun daha kısa kuruma süresi sağladığı tespit edilmiştir. Kurutma süresinde belirgin değişiklik yaratmayan ultrasonik ön işlem örneklerinde ise kalite özelliklerinin daha iyi korunduğu raporlanmıştır.

4.1.2. Kuruma hızı değişimi

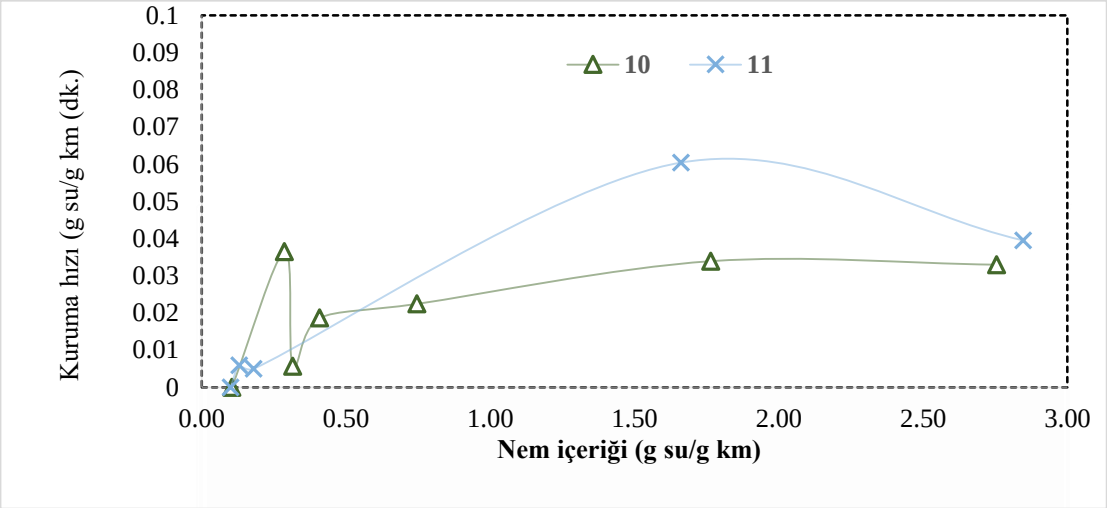
Farklı ön işlem koşullarıyla hazırlanmış herlenin kurutulmasıyla elde edilmiş kırmızı pancar pestil örneklerinin kuruma hızları Eşitlik 3.2 kullanılarak hesaplanmıştır. Pestil örneklerinin nem içeriğine karşı çizilen kuruma hızı grafikleri Şekil 4.4, Şekil 4.5 ve Şekil 4.6'de sunulmuştur.



Şekil 4.4. Kırmızı pancar pestil kurutmalarında kuruma hızıma değişimi (Kontrol, 1-4.Koşul)



Şekil 4.5. Kırmızı pancar pestil kurutmalarında kuruma hızıma değişimi (5-9.Koşul)



Şekil 4.6. Kırmızı pancar pestil kurutmalarında kuruma hızıma değişimi (10.-11.Koşul)

Şekil 4.4, Şekil 4.5 ve Şekil 4.6'da görüldüğü üzere gerçekleştirilen termosonikasyon ve termosonikasyon ile kombine edilmiş mikrodalga ön işlem uygulamalarının kuruma hızını önemli ölçüde etkilediği görülmektedir. Başlangıç nem içeriğinin (g su/ g km) diğer koşullara göre yüksek olduğu durumlarda (5.-11. koşullarda) kuruma hızının da başlangıç periyodunda yüksek olduğu görülmektedir. Bu çalışma kapsamında kuruma evresinde genellikle azalan bir kuruma hız periyodu gözlemlenmiştir, yani birim zamanda buharlaşan nem miktarı, bir önceki zamana kıyasla azalmıştır. Kuruma hızının azalmaya başladığı, difüzyonun etkili olduğu dönemlerde oluşan bu hız düşüşleri, yüzeyde oluşan kuru tabakanın altındaki nemli tabakalara büzüşerek baskı yapması ve alt tabakalarda nemin bulunması nedeniyle baskıya direnç göstermesinden kaynaklanabildiği belirtilmektedir. Bu durum, kuruma sonucunda üst tabakada büzüşmenin gerçekleşemediği ve sert kabuk oluşumunun meydana geldiği durumlarda kuruma hızını ani bir şekilde düşürebilmektedir. Kabuk bağlanması, çözünür kuru madde göçüne bağlı olarak da meydana gelebilmektedir (Cemeroğlu, Karadeniz, Ozkan vd., 2003).

Diğer taraftan bu çalışma kapsamında, sabit oranlı bir kuruma hız periyodunun da belirgin olmarak ortaya çıkmadığı da görülmüştür (Şekil 4.4-4.6). Isı iletimi ve kütle iletimi hızının eşit olduğu bu periyodun görülmemesi, pestil ürünlerinin üst tabakasında uzun bir süre boyunca sabit su tabakasının bulunmamasından veya nem ölçümlerinin uzun zaman aralıklarında gerçekleştirilmemesinden kaynaklanabildiği düşünülmektedir (Prakash vd., 2004).

Bazı üretim koşullarında (1, 8, 9 ve 10) azalan kuruma hız periyodu sırasında kuruma hızında ani kısa artışlar da gözlenmiştir. En yüksek kuruma hızı, haşlama ön işleminin 45 dakika termosonikasyon ile gerçekleştirildiği ve evaporasyonun 20 °Bx'e kadar sürdürüldüğü üretimde (8. Koşul), dakikada 0,0067 g su/g kuru madde olarak elde edilmiştir. Literatürde raporlanan ultrason destekli kurutma çalışmalarında, kuruma hızının genellikle kısa bir süre arttığı belirtilmiştir. Bu dönemin, çoğunlukla ortam ile ürün yüzeyi nemindeki farka bağlı olduğu ve aynı zamanda ön ısıtma dönemi olarak adlandırıldığı belirtilmektedir. Bu ani artış periyodunun ardından daha uzun süre devam eden ve asıl kuruma işleminin gerçekleştiği düşen hız periyodunun gözlemlendiği raporlanmıştır (Oladejo, Ekpene, Onwude, Assian, & Nkem, 2021; Malvandi, Nicole Coleman, Loor, & Feng, 2022; Wang vd., 2022b).

Bozkır vd. (2019b) tarafından Trabzon hurmasının kurutma ve kalite özelliklerine ultrason ve ozmotik dehidrasyon ön işlemlerinin etkisinin araştırıldığı çalışmada, ultrason destekli ozmotik dehidrasyon uygulaması ile kurutulan numunelerin kuruma süresinin önemli ölçüde azaldığı ve kuruma hızının arttığı raporlanmıştır.

Oladejo vd. (2021)'nin yaptığı bir araştırmada, sarı manyok örneklerine kurutma işlemi (sıcak havayla konveksiyonel kurutma) öncesi uygulanan ultrasonikasyon işleminin (20 kHz ve 600 W güçte 10 dakika), kuruma süresini işlem görmemiş örneklere göre %35 oranında azalttığı, kuruma hızını da %63'lük arttırdığı belirtilmiştir.

Szadzińska vd. (2016), mikrodalga ve ultrason destekli konvektif kurutmanın çilek örneklerinde, ısı ve kütle transferini önemli ölçüde iyileştiren etkileri olduğunu raporlamıştır. Mikrodalganın ısıtma etkisi ve ultrasonun titreşim etkisi ile birlikte hareket eden bu enerji kaynaklarının sinerjistik etkisi, kuruma hızında artışa yol açmıştır.

4.1.3. Kuruma eğrilerinin matematiksel modellere uyarlanması

Farklı ön işlemler sonucu elde edilen kırmızı pancar pestil herlelerinin kuruma davranışına uygun ince tabaka matematiksel modelleri irdelenmiştir. Deneysel verilerin kurutma modelleri ile uyumunu değerlendirmek için korelasyon katsayısı (R^2), tahmini standart hata (RMSE) ve ki-kare (χ^2) değerleri kullanılmıştır. En iyi modelin seçimi için R^2 değerinin 1'e yakın olması, birincil kriter olarak belirlenmiştir. Ayrıca, RMSE ve χ^2

değerlerinin 0'a yakın olması da tercih edilmiştir. Bu değerler karşılaştırılarak en uygun model belirlenmiştir. Kurutma modellerine uygun parametreler Çizelge 4.1, 4.2'de sunulmuştur.

Çizelge 4.1. Kuruma modellerine ait sabitler ve modellerin istatistiksel uygunluk parametreleri (Kontrol, Koşul 1-4)

Model No[1]			Ön İşlem Koşulları[2]				
			Kontrol	**1**	**2**	**3**	**4**
1	**Model sabitleri**	***k***	0.02140	0.02060	0.02490	0.01830	0.02840
	İstatiksel parametreler	R^2	0.98360	0.93210	0.99210	0.98340	0.99260
		RMSE	0.01056	0.02848	0.00917	0.17831	0.01452
		X^2	0.00223	0.00982	0.00077	0.32191	0.00172
2	**Model sabitleri**	***n***	1.43470	1.41960	1.16690	1.34160	1.33440
		k	0.00303	0.00310	0.01200	0.00410	0.00690
	İstatiksel parametreler	R^2	0.94860	0.82970	0.97330	0.97450	0.98730
		RMSE	0.00542	0.02017	0.00594	0.00821	0.00440
		X^2	0.00063	0.00547	0.00038	0.00078	0.00019
3	**Model sabitleri**	***n***	1.43470	1.41960	1.16690	1.34160	1.33440
		k	0.01755	0.01690	0.02258	0.01650	0.02400
	İstatiksel parametreler	R^2	0.94860	0.82970	0.97330	0.97450	0.98730
		RMSE	0.00542	0.02017	0.00594	0.00821	0.00440
		X^2	0.00063	0.00547	0.00038	0.00078	0.00019
4	**Model sabitleri**	***k***	0.02140	0.02090	0.02490	0.01830	0.02840
		a	2.14470	1.47060	1.10010	1.52590	1.12513
	İstatiksel parametreler	R^2	0.98360	0.91540	0.99210	0.98340	0.99260
		RMSE	0.07266	0.05295	0.01419	0.07287	0.02001
		X^2	0.11733	0.03770	0.00215	0.06144	0.00392
5	**Model sabitleri**	***k***	0.03070	0.02690	0.03460	0.02910	0.03920
		a	1.85726	1.54130	1.11728	1.23146	1.08112
		c	0.07972	0.07001	0.08670	0.14173	0.09198
	İstatiksel parametreler	R^2	0.93920	0.88750	0.95340	0.92390	0.97060
		RMSE	0.04899	0.06089	0.02758	0.04433	0.02981
		X^2	0.05647	0.04091	0.00974	0.02653	0.01088
6	**Model sabitleri**	***k***	0.01356	0.01303	0.01440	0.01057	0.01618
		a	0.57781	0.58105	0.52380	0.73106	0.75494
	İstatiksel parametreler	R^2	0.98360	0.93210	0.99210	0.98340	0.99260
		RMSE	0.04739	0.05774	0.07691	0.06219	0.06876
		X^2	0.04492	0.04483	0.06309	0.04475	0.04633
7	**Model sabitleri**	***b***	0.00010	0.00001	0.00010	0.00003	0.00009
		a	-0.01300	0.98738	-0.01870	-0.01220	-0.01880
	İstatiksel parametreler	R^2	0.93490	0.87800	0.97390	0.88830	0.99030
		RMSE	0.17720	0.06086	0.00786	0.00838	0.00467
		X^2	0.69780	0.04980	0.00066	0.00081	0.00021

1 Çizelge 3.6'da İnce tabaka matematiksel modellerin detayları sunulmuştur.

2 Çizelge 3.4'de ön işlem koşullarının detayları sunulmuştur.

Çizelge 4.2. Kuruma modellerine ait sabitler ve modellerin istatistiksel uygunluk parametreleri (Koşul 5-11)

Model No[1]			Ön İşlem Koşulları[2]						
			5	6	7	8	9	10	11
1	Model sabitleri	*k*	0.02370	0.02030	0.03400	0.02780	0.03200	0.02300	0.06510
	İstatiksel parametreler	R^2	0.97770	0.96830	0.99410	0.96180	0.99020	0.96010	0.97900
		RMSE	0.03524	0.02724	0.01084	0.03696	0.01701	0.03646	0.08232
		X^2	0.00894	0.00972	0.00131	0.01383	0.00236	0.01215	0.04879
2	Model sabitleri	*n*	1.43730	1.71760	1.32260	1.67180	1.33190	1.59820	2.04740
		k	0.00310	0.00070	0.00840	0.00137	0.00610	0.00138	0.00054
	İstatiksel parametreler	R^2	0.98490	0.96950	0.98730	0.90000	0.98430	0.97310	0.98260
		RMSE	0.01065	0.00913	0.00357	0.02150	0.01782	0.01028	0.00655
		X^2	0.00102	0.00120	0.00016	0.00535	0.00209	0.00113	0.00039
3	Model sabitleri	*n*	1.43730	1.71760	1.32260	1.67180	1.33190	1.59820	2.04740
		k	0.01790	0.01500	0.02710	0.01939	0.02560	0.01620	0.02520
	İstatiksel parametreler	R^2	0.98490	0.96950	0.98730	0.90000	0.98430	0.97310	0.98260
		RMSE	0.01065	0.00913	0.00357	0.02150	0.00509	0.01028	0.00655
		X^2	0.00102	0.00120	0.00016	0.00535	0.00025	0.00113	0.00039
4	Model sabitleri	*k*	0.02370	0.02190	0.03400	0.02780	0.03200	0.02300	0.04150
		a	1.99210	1.64560	1.21680	1.52166	1.17304	1.47110	1.50863
	İstatiksel parametreler	R^2	0.97770	0.96540	0.99410	0.96180	0.99020	0.96010	0.96870
		RMSE	0.17710	0.05654	0.02236	0.06286	0.02656	0.06086	0.08948
		X^2	0.28229	0.04604	0.00625	0.04572	0.00691	0.03951	0.07205
5	Model sabitleri	*k*	0.02720	0.02780	0.04620	0.33320	0.04220	0.02530	0.05090
		a	1.29540	2.08760	1.46961	1.66500	1.19650	1.48914	1.62418
		c	0.04165	0.03861	0.04712	0.03792	0.06682	0.02652	0.03525
	İstatiksel parametreler	R^2	0.96700	0.92540	0.95940	0.95330	0.96860	0.97150	0.93620
		RMSE	0.05092	0.09636	0.05600	0.08215	0.04084	0.06666	0.11575
		X^2	0.03177	0.14857	0.04481	0.09111	0.02044	0.05687	0.16078
6	Model sabitleri	*k*	0.01510	0.01350	0.02195	0.01734	0.02078	0.01442	0.02592
		a	0.56970	0.62201	0.54889	0.60344	0.53982	0.59532	0.60138
	İstatiksel parametreler	R^2	0.97770	0.96540	0.99410	0.96180	0.99020	0.96010	0.96870
		RMSE	0.06276	0.04683	0.06017	0.05636	0.07470	0.05448	0.06040
		X^2	0.03545	0.03158	0.04525	0.03675	0.05468	0.03166	0.03284
7	Model sabitleri	*b*	0.00004	0.00008	0.00010	0.00010	0.00010	0.00002	0.00020
		a	-0.01310	-0.00900	-0.02170	-0.01310	-0.02000	-0.01050	-0.01620
	İstatiksel parametreler	R^2	0.98070	0.90380	0.98770	0.88790	0.99080	0.94950	0.89320
		RMSE	0.00786	0.22820	0.04011	0.25862	0.00583	0.00449	0.31303
		X2	0.00056	0.74989	0.02011	0.77394	0.00033	0.00021	0.88188

1 Çizelge 3.6'da İnce tabaka matematiksel modellerin detayları sunulmuştur.

2 Çizelge 3.4'de ön işlem koşullarının detayları sunulmuştur.

Farklı ön işlemlerden geçirilen yaklaşık 40 °Bx'e sahip kırmızı pancar pestillerinin (Kontrol, 1.2, 4. Koşullar) kuruma davranışlarını en iyi açıklayan modeller için yüksek R^2 (0,93210-0,99260) değerini ve en düşük χ^2 (0,00077-0,00982) ve RMSE (0,00917-0,02848) değerlerini veren Lewis, yaklaşık 20 °Bx'e sahip kırmızı pancar pestillerinin (5, 6, 10 ve 11) için ise en yüksek R^2 (0,9650-0,98490) değerini ve en düşük χ^2 (0,000127 – 0,001108) ve RMSE (0,000655– 0,1065) değerlerini veren Page ve Modifiye Page modelleri olarak belirlenmiştir. Bunların dışında kalan 3. ve 8. Koşulları için en yüksek R^2 değerini (0,96180-0,9910) ve en düşük χ^2 (0,03675-0,06309) ve RMSE (0,05636-0,07691) değerlerini Two Term modeli, 7. ve 8. koşulları için en yüksek R^2 değerini (0,99020-0,99410) ve en düşük χ^2 (0,00691-0,00625) ve RMSE (0,02236-0,026561) değerlerini Henderson & Pabis modeli sağlamıştır. Elde edilen bu sonuçlar, kırmızı pancar pestili kuruma davranışını açıklayan tek bir matematiksel model olmadığı ve uygulanan ön işlemlere de bağlı olarak farklı modeller ile açıklanabileceği sonucuna varılmıştır.

Mikrodalga (90 ve 180 W), sıcak hava (60 ve 70°C) ve vakum (250 mbar ile 60 ve 70°C) kurutma teknikleri ile dut pestilinin kurutma kinetiği ve fizikokimyasal özelliklerinin incelendiği bir çalışmada, Page ve Modified Page modeli en yüksek R^2 (0,9997) değerine, en düşük RMSE (0,000927) ve χ^2 (0,000011) değerlerine sahip ve en iyi uyumu sağlayan model olarak belirlenmiştir (Suna ve Özkan-Karabacak, 2019). Başka bir çalışmada, mikrodalga (90 W ve 180 W), sıcak hava (60 ve 70 °C) ve vakum (200 ve 300 mbar ile 60 ve 70 °C) kurutma yöntemleri ile muşmula pestili kurutma özellikleri incelenmiştir. Bu çalışmada, R^2, RMSE ve χ^2 değerleri sırasıyla 0,8820 ile 0,9995, 0,001676 ile 0,111869 ve 0,000048 ile 0,155179 arasında değişmektedir ve en iyi uyum sağlayan modelin Page ve Modifiye Page olduğu bildirilmiştir (Suna, 2019). Son yıllarda yapılan güncel bir çalışmada da ısı pompası ile kurutulan kızılcık-kapya pestilinin kuruma davranışını en iyi bu iki modelin açıkladığı raporlanmıştır (Durgut Malçok, Özkan Karabacak, Tunçkal & Tamer, 2023).

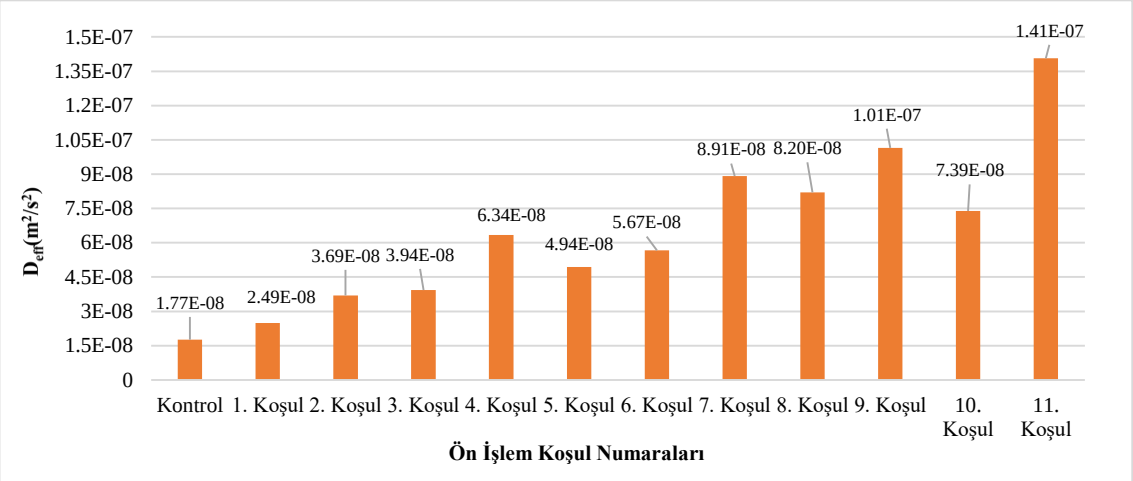
Termosonikasyon ön işlemine tabi tutulan pestilin kurutulmasıyla ilgili ince tabaka modellemesi literatürde yaygın olmasa da, sebze ve meyvelerin kurutulması öncesinde ultrasonifikasyon uygulanmasıyla ilgili çalışmalar mevcuttur ve bu alandaki çalışmaların sayısı artmaktadır. Ananas dilimlerinin 40 kHz 'de 20 ve 30 dakika ultrasonik banyo ön

işlem sonrası 70 °C'de sıcak hava ile kurutulmasında, Logaritmik model en yüksek R^2 (0,99602 ve 0,99692) en düşük RMSE (0,0156 ve 0,0138) değerleri ile uyum gösteren model olarak belirlenmiştir (Rani ve Tripathy, 2019). Patatesin ultrasonik (20 kHz) ön muamelesi sonrası 60 °C'de sıcak hava ile kurutulmasında Modifiye Page ve Henderson & Pabis modelinin en iyi uyumu gösterdiği raporlanmıştır (Rashid vd., 2020). Tatlı muz kabuğu dilimlerinin kuruma hızlarını ve kalite parametrelerini arttırmak için ultrasonikasyon ve karbonasyon-ultrasonikasyon destekli konvektif kurutma tekniklerinin değerlendirilmesi üzerine yapılan bir araştırmada, Wang and Singh modeli deneysel verilere en iyi şekilde uyan model olarak tanımlanmıştır (Kaur, Modi & Sharma, 2022).

Ultrason ön işleminin (0, 20 ve 40 dakika) ve mikrodalga gücünün (120, 150 ve 180 W) olduğu 60 °C'de sıcak hava ile birleştirilmiş mikrodalga uygulaması ile kurutulan domates dilimleri çalışmasında Page modeli (R^2 > 0,99) deneysel verilere uyum gösteren en iyi model olarak belirlenmiştir (Horuz, Jaafar & Maskan, 2017).

4.1.4. Efektif nem difüzyon katsayısı (D_{eff}) değerleri

Değerlendirilen D_{eff} değerleri, Şekil 4.7'de grafiksel olarak sunulmuştur. Bu değerler, Eşitlik 3.8 kullanılarak hesaplanmış olup, $8{,}91x10^{-08}$ - $1{,}01x10^{-07}$ (m^2/s) aralığında yer almaktadır.



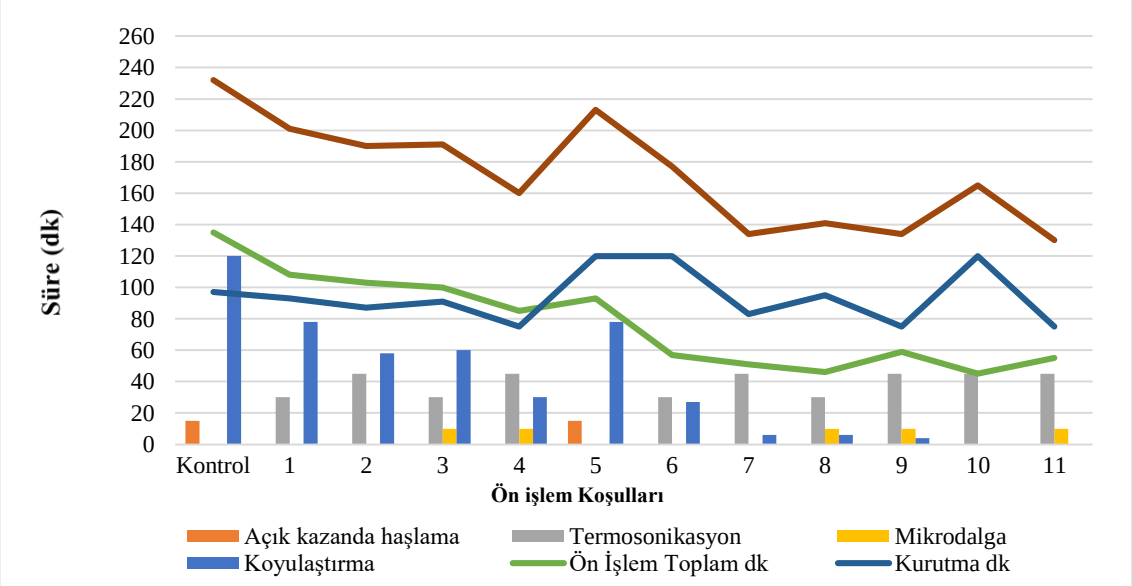
Şekil 4.7. Farklı ön işlemler uygulanarak elde edilen kırmızı pancar pestil ürünlerinin D_{eff} değerleri

Kurutma öncesi kırmızı pancar pestili herlesinin sahip olduğu başlangıç suda çözünür kuru madde miktarından bağımsız olarak, herlenin elde edilmesinde uygulanan 30 dk termosonikasyon ön işlemi (1. ve 6. Koşul), sadece açık kazanda haşlama ön işleminin uygulandığı kontol Kontrol ve 5. Koşullara göre D_{eff} değerini 1,77x10 $^{-8}$ m^2/s' den 2,49x10^{-08} m^2/s'e, ve 4,94x10 $^{-8}$ m^2/s'den 5,67x10^{-08} m^2/s' ye artırmıştır. Aynı etki 45 dk olarak uygulanan termosonikasyon (3. ve 7. Koşul) işleminde de görülmüştür. Termosonifikasyon işlemi ile hibrit bir şekilde uygulanan mikrodalga işleminin de D_{eff} değerini artırdığı gözlenmiştir. Termosonikasyon uygulaması, kırmızı pancar pestil örneklerinde, mekanik ve termal uyarımlarla oluşan mikroskobik kanalların artmasını sağlamıştır ve bunlarda hücre yapısının zayıflamasına yol açmıştır. Bu durum, sıcak hava ile kurutma sırasında nem transferine karşı iç direncin azalmasına ve yüzeyde oluşan sıcaklık artışının etkisiyle kütle transferinin hızlanmasına neden olmuştur. Mikrodalga ön işlemi de kütle transfer hızını artırarak kuruma süresinde zaman tasarrufu sağlamış ve tüm mikrodalgasız ön işlemlere göre daha etkili bir performans sergilediği gözlenmiştir. Sonuç olarak, Şekil 4.8 'de belirgin bir şekilde görüldüğü üzere, termosonikasyon ve mikrodalga ön işlemleri kırmızı pancar pestil ürünlerinde kütle transferi karekterize eden efektif nem difüzyon katsayısında artışa yol açmıştır.

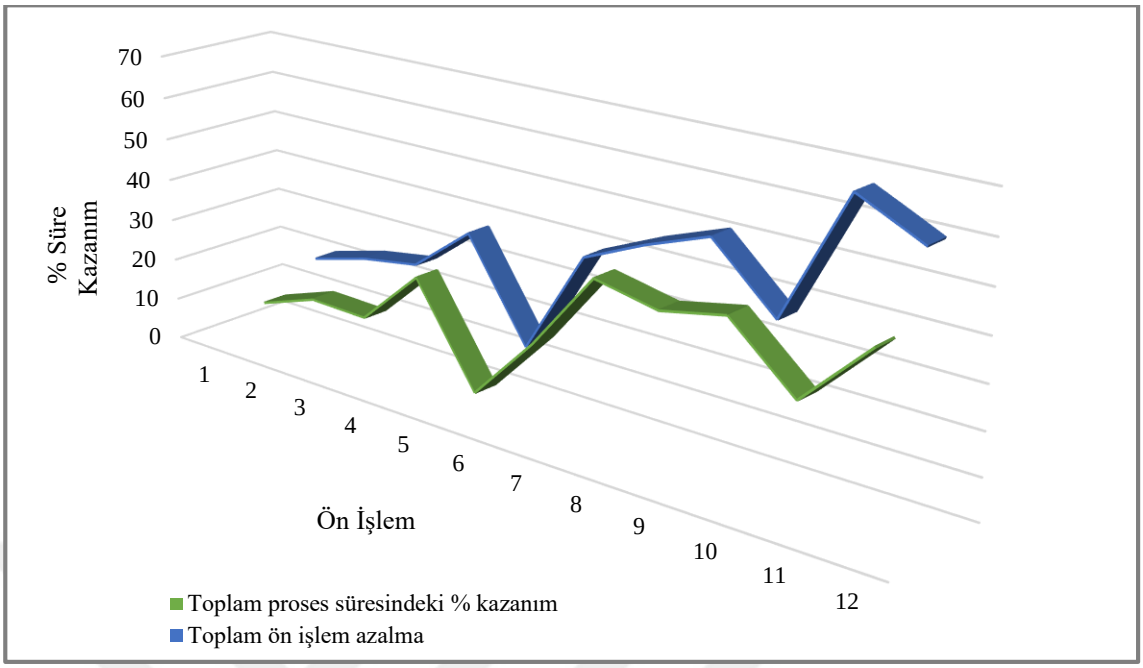
Bu çalışma kapsamında elde edilen efektif nem difüzyon katsayı aralığı, gıda ürünleri için önerilen sınırlar içindedir. Gözenekli ve katı gıdalarda nem difüzyonu genellikle 3,6 x 10^{-10} m^2/s ile 3,6 x 10 $^{-5}$ m^2/s arasında değişmiştir (Labuza, 1984; Doulia vd., 2000). Kırmızı pancar pestilinin kurutulması sırasında uygulanan kurutma koşullarında (70°C'da konvektif sıcak hava ile kurutma) dut pestilinin kurutulmasını inceleyen Suna ve Özkan-Karabacak (2019), D_{eff} değerini 8,73× 10^{-8} $m^2/$ s olarak, Özkan Karabacak vd. (2021) kabak pestilinde 9,61x 10^{-09} $m^2/$ s, olarak raporlamıştır. Diğer taraftan bu çalışma kapsamında elde edilen sonuçlarla uyumlu olarak literatürde, acı su kabağının sıcak hava ile kurutulması öncesi uygulanan mikrodalga ön işleminin kuruma süresinin azalmasına ve nem yayılımının artmasına yol açtığı (Srimagal vd., 2017) ve siyah zeytin kurutulmasında farklı güçlerde uygulanan ultrasonikasyon işleminin D_{eff} değerlerini artırdığı (Aydar, 2020) raporlanmıştır.

4.2. Kırmızı pancar pestili üretiminde toplam ısıl işlem sürelerinin karşılaştırılması

Bu çalışma kapsamında, farklı ön işlemlerden (Çizelge 3.4) geçirilmiş kırmızı pancar herlesinin sabit sıcaklık ve koşulda sıcak hava ile kurutulmasıyla pestil üretilmiştir. Ön işlem, kurutma ve toplam ısıl işlem süre değişimleri Şekil 4.9'da sunulmuştur. Üretim aşamasında ön işlem olarak haşlama (açık kazanda, 45 dk termosonifikasyon, 30 dk termosonifikasyon, 30 veya 45 dk termosonifikasyon sonrası 10 dk mikrodalga) ve 40 veya 20 °Bx'e kadar koyulaştırma işlemi kullanılmıştır. 10. ve 11. Koşulda ise koyulaştırma işlemi gerçekleştirilmeden suyu süzülen ve püre haline getirilen herleden pestil elde edilmiştir. En uzun ön işlem süresi 135 dk ile Kontrol koşulunda, en kısa ön işlem süresi ise 10 numaralı koşulda 45 dk olarak elde edilmiştir. Kurutma süresi de 75dk ile 120 dk arasında herlenin suda çözünür kuru madde değerinin (°Bx) azalmasıyla artış göstermiştir. Toplam ısıl işlem süresi incelendiğinde ise en uzun ısıl işlem süresi Kontrol koşulunda 232 dk olarak ve en kısa toplam ısıl işlem süresi 130 dakika ile 11.Koşulda elde edilmiştir. Sonuç olarak, bu çalışma kapsamında açık kazanda haşlama işlemine alternatif olarak sunulan termosonifikasyon ve mikrodalga destekli haşlama ön işlemleri (1.-9. Koşullar) Kontrol koşuluna göre ön işlem süresini ve toplam proses süresini %13-42 ve %20-51 arasında azaltmıştır (Çizelge 4.10). Ayrıca koyulaştırma işlemi gerçekleştirilmeden üretilen kırmızı pancar pestillerinde (10. ve 11.Koşul) bu süre sırasıyla %23-43 ve %59-67 azaltmıştır.



Şekil 4.8. Ön işlem, kurutma ve ısıl işlem toplam süre değişimleri



Şekil 4.9. Kırmızı pancar pestili üretiminde kullanılan farklı ön işlemlerin proses sürelerine olan etkisi

Guo vd. (2021)'de havuçların kızılötesi kurutulması öncesi uygulanan 3 farklı güçteki (20, 28 ve 40 kHz), 3 farklı ısıdaki (60, 70 ve 80 °C) termosonikasyon uygulamasında, sıcak su ile haşlama ön işlemine göre POD enziminde %65,21, %73,33 ve %81,43 azalma, haşlama süresinde de %13,6, %15 ve %15,8 azalma raporlanmıştır. Benzer şekilde, kırmızı pancar pestil ürünlerinde de termonikasyon ve mikrodalga uygulamanın kombine edilmesi toplam ön işlem süresinde ve toplam ısıl işlem süresinde azalma etkisi gösterdiği sonucuna varılmıştır.

4.3. Fizikokimyasal analiz sonuçları

4.3.1. Nem tayini

Farklı ön işlem uygulamalarından sonra kurutulan kırmızı pancar pestil örneklerinin nem içeriği %8,76- 10,23 aralığında, su aktivitesi ise 0,6- 0,67 aralığında belirlenmiştir. Pestil standartlarına göre; pestiller üretildiği meyveye göre en çok% 15-20 nem içerebilir (TS, 2000a, b, c, d). Bu nedenle, pestil üretiminde bu nem düzeyinin altına düşene kadar kurutmalar gerçekleştirilmiş ve elde edilen kırmızı pancar ürünlerinin nem düzeyinin benzer ürün standartlarına uygun olduğu tespit edilmiştir. Maskan vd. (2002)

çalışmasında %15 nem değerlerinin, mikrobiyal aktiviteyi, şeker kristalizasyonu, enzimatik olmayan esmerleşme, aroma kaybı ve lipit oksidasyonu gibi diğer reaksiyonları engellediği belirtilerek, hava hızı dışındaki kurutma süresi, sıcaklık, kalınlık gibi faktörlerin nem düzeyi üzerinde önemli etkisi olduğu tespitinde bulunulmuştur. Tontul ve Topuz (2017)'de nar pestillerini literatür ile uyumlu olacak şekilde 10–12 g/100 g nem seviyesine kadar kurutulduğunu ifade etmiştir. Yine farklı bileşenlerce zenginleştirilmiş nar pestili çalışmasında nem içeriği 6,35-12,22 g/100g olarak tespit edilmiştir (Tontul, ve Topuz, 2017). Benzer şekilde Nakilcioğlu-Taş vd. (2018) çalışması ile keçiboynuzu unu ikamesi ile üretilen hurma pestillerinin nem değerlerini %15,48- 17,60 aralığında, keçiboynuzu unu ikamesi ile üretilen dut pestillerinin nem değerlerini ise %10,96- 12,29 olarak raporlamıştır.

4.3.2. Renk tayini

Kurutma modellerine uygun parametreler Çizelge 4.3'de sunulmuştur.

Çizelge 4.3. Kırmızı pancar pestillerinin renk değerleri

Ön İşlem Koşulları	*L**	*a**	*b**	*C**	H°	BI
Kontrol	30,80±0,02^{a}	10,83±0,11^{b}	7,83±0,06^{a}	13,35±0,11^{b}	35,84±0,23^{a}	26,47
1	26,06±0,13^{bc}	7,42±0,08^{d}	2,66±0,05^{d}	7,87±0,10^{e}	19,64±0,07^{b}	20,54
2	23,85±0,24^{ef}	6,80±0,09^{d}	2,14±0,10^{e}	7,19±0,32^{e}	18,37±0,17^{c}	20,44
3	26,83±0,15^{b}	7,17±0,07^{d}	2,47±0,05^{d}	7,67±0,11^{e}	18,98±0,51^{bc}	19,30
4	20,98±0,49^{g}	8,77±0,24^{c}	2,05±0,07^{e}	9,00±0,24^{d}	13,15±0,12^{g}	29,01
5	23,60±0,33^{f}	3,99±0,14^{e}	1,22±0,16^{f}	4,29±0,38^{f}	14,75±0,24^{f}	12,39
6	21,29±0,56^{g}	8,82±0,64^{c}	1,98±0,12^{e}	9,09±0,64^{d}	11,90±0,52^{h}	28,73
7	23,56±0,39^{f}	10,77±0,28^{b}	2,48±0,07^{d}	10,96±0,14^{c}	13,06±0,18^{g}	31,52
8	24,82±0,09^{de}	14,41±0,11^{a}	4,39±0,04^{b}	15,07±0,10^{a}	16,96±0,22^{d}	39,75
9	23,39±0,06^{f}	10,50±0,10^{b}	2,42±0,05^{d}	10,77±0,11^{c}	12,96±0,16^{g}	30,99
10	23,22±0,18^{f}	11,06±0,03^{b}	3,03±0,12^{c}	11,48±0,08^{c}	14,96±0,15^{f}	32,96
11	25,74±0,71^{cd}	10,53±0,11^{b}	2,95±0,07^{c}	10,96±0,10^{c}	16,01±0,14^{d}	28,62

Satır boyunca verilen üst simgeler örnekler arasında anlamlı farklılık olduğunu göstermektedir (p <0,05)

Kırmızı pancar pestili örneklerinin renk değerlerinden, aydınlık değerini veren L* değeri, kırmızılık-yeşillik indeksi olan a^* değeri, sarılık-mavilik indeksi olan b^* değeri, renk tonunu gösteren H^o değeri ve doygunluk indeksi olan C^* değerleri ölçülmüş ve yüksek aydınlık L^*, b^* ve H^o değerleri Kontrol koşulunda, en yüksek a^* ve c^* değerleri ise 8. Koşulda üretilen kırmızı pancar pestili örneklerinde gözlemlenmiştir.

Şengül ve Ünver (2022) tarafından yapılan bir çalışmada, farklı tatlandırıcılar ile üretilen kızılcık pestillerinin L^*, a^*, b^*, C^* ve H^o değerleri sırasıyla 26,58-57,85, 8,13-12,08, 3,31-3,90, 8,79-19,29, 18,10- 22,42 olarak tespit edilmiştir. Üzüm çekirdeği tozu ve kabuk tozunun, üzüm pestilindeki etkilerinin araştırıldığı bir çalışmada L^*, a^*, b^*, C^* ve H^o değerleri sırasıyla 28,05-52,43, 5,98-13,92, 3,83-27,21, 7,10-28,17 ve 32,65-74,93 arasında değişmiştir (Özaltın ve Çağındı, 2023). Çalışmalar arasındaki farklılıklar pestil çeşidinden, üretimde kullanılan meyvenin türünden, formülasyon ve işleme koşullarındaki farklılıklardan kaynaklanabildiği düşünülmektedir.

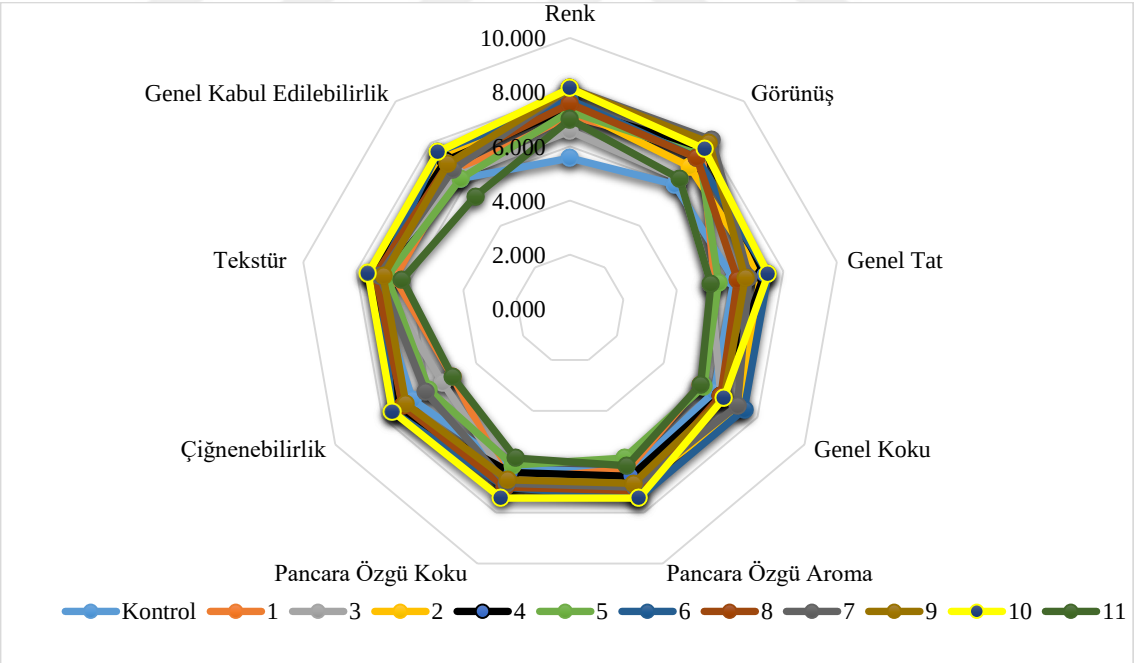
Pestil üretimde uygulanan sıcaklık işleminin çok yüksek ve uzun süreli olması dolayısıyla kahverengileşme indeksi (BI) hesaplanmaktadır. Çizelge 4.3'de sunulduğu gibi BI değeri en düşük 5. koşulda 12,33 ve en yüksek 8. koşul 39,76 olarak elde edilmiştir. Kahverengileşmedeki bu düşük değerler, kırmızı pancar pestil örneklerinin düşük a^* ve b^* değerlerlerine sahip olmasına dayandırılabilir (Verma ve Yadev, 2022). Diğer taraftan Polatcı, Taşova ve Saraçoğlu (2020) tarafından armut posasının 70 ° C sıcak hava ile kurutulması üstüne yapılan bir çalışma da ise BI değeri 151,03 olarak hesaplanmıştır (Polatcı vd., 2020).

4.4. Duyusal analiz sonuçları

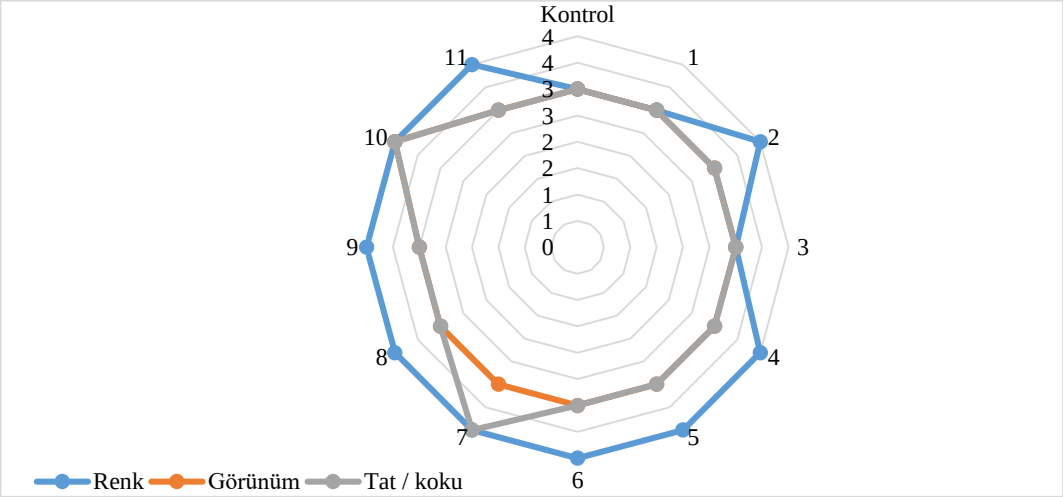
Kırmızı pancar pestil örneklerine ait hedonik skala testi değerlendirme sonuçları aşağıda Şekil 4.11 ‘de gösterilmektedir. Renk, görünüş, genel tat, genel koku, pancara özgü aroma, pancara özgü koku, çiğnenebilirlik, tekstür ve genel kabul edilebilirlik parametreleri dokuz noktalı skala (çok beğendim “9” hiç beğenmedim “1”e kadar) kullanılarak değerlendirilmiştir. Elde edilen sonuçlara göre duyusal parametreler için en yüksek değerleri 6,5±0,6 ile 8,1±1,1 aralığında 10. Koşulda üretilen kırmızı pestil için elde edilirken, en düşük değerler ise 5,0±0,8 ile 7,0±1,3 aralığında 11. Koşulda üretilen ürünler için elde edilmiştir. Diğer taraftan her bir ürünün tüm parametreler için elde ettiği

ortalama puanlar ise 5,9±0,6 ile 7,5±0,4 aralığında değerlendirildiğinden bu çalışma kapsamında farklı ön işlem koşullarda üretilen pestillerin genel anlamda panelistler tarafından beğenildiği sonucuna varılmıştır.

Pestile özgü renk, karamelizasyon varlığı ve kahverengileşme (renk parametresi), matlık, kalınlık ve yeknesak yapı (görünüş parametresi), pestile özgü aromatik tat ve koku gibi (tat ve koku parametresi) TSE kriterleri (TSE 2000a-d) referans alınarak gerçekleştirilen puanlama testinde panelistler ürünlerin duyusal özelliklerini 1 ile 4 arasında (4 çok iyi, 3 iyi, 2 orta,1 kötü) değerlendirilmiştir. Elde edilen sonuçlar Çizelge 4.12'de sunulmuştur. TSE tarafından yayınlanan pestil standartlarında (TSE 2000a-d) her bir koşulda üretilen pestillerin duyusal özelliklerinin panelistler tarafından minimum 3 puan alması kabul kriteri olarak belirlenmiştir. Bu bağlamda tüm pestiller hedonik skala testi ile uyumlu olarak kabul edilebilir özelliklere sahip olduğu sonucuna varılmıştır. Diğer taraftan 10.Koşulda üretilen kırmızı pancar pestilleri tüm panelistlerden ortalama olarak 3,9±0,4 puan alarak en yüksek puanlamaya sahip ürün olmuştur.



Şekil 4.10. Hedonik skala testi sonuçları



Şekil 4.11. Kırmızı pancar pestilin puanlama testi sonuçları

4.5. Toplam antioksidan kapasite (TAK), toplam fenolik (TFM) ve toplam flavonoid madde (TFLM) analiz sonuçları

Farklı ön işlem koşullarında üretilen onbir farklı kırmızı pancar pestiline ait TAK, TFM ve TFLM analiz sonuçları Çizelge 4.4 sunulmuştur.

Çizelge 4.4. Toplam antioksidan kapasite (TAK), toplam fenolik (TFM) ve toplam flavonoid madde (TFLM) analiz sonuçları

Ön İşlem Koşulları	TAK		TFM (mg GAE/100 g KM)	TFLM (mg GAE/100 g KM)
	CUPRAC (mg/100 g KM)	DPPH (mg/100 g KM)		
Kontrol	587,48±42,90^{b}	30,85±2,84^{bc}	220,6±9,63^{b}	365,08±15,71^{b}
1	515,38±11,96^{c}	31,98±1,06^{b}	205,46±3,80^{c}	340,48±6,20^{c}
2	183,90±4,01^{h}	17,28±0,88^{e}	82,01±2,03^{i}	138,62±3,31^{i}
3	182,07±26,48^{h}	14,05±0,46^{f}	76,26±2,37^{i}	128,19±3,86^{i}
4	347,3±10,21^{e}	24,65±0,50^{d}	149,13±1,55^{ef}	248,13±2,53^{ef}
5	870,78±25,05^{a}	48,18±0,76^{a}	313,17±10,63^{a}	517,46±17,35^{a}
6	304,84±40,50^{ef}	24,93±2,57^{d}	146,43±5,82^{f}	245,47±9,49^{f}
7	255,29±17,34^{g}	22,94±0,72^{d}	113,11±2,15^{h}	190,96±3,51^{h}
8	348,05±7,98^{e}	28,20±0,63^{c}	157,54±2,30^{e}	263,66±3,76^{e}
9	301,72±10,37^{f}	23,69±0,95^{d}	130,75±4,83^{g}	218,78±7,88^{g}
10	420,81±19,47^{d}	32,46±0,88^{b}	178,90±3,05^{d}	299,12±4,97^{d}
11	530,50±19,16^{c}	33,68±2,26^{b}	218,34±5,76^{b}	362,96±9,40^{b}

Satır boyunca verilen üst simgeler örnekler arasında anlamlı farklılık olduğunu göstermektedir ($p < 0,05$)

4.5.1. Toplam antioksidan kapasite (TAK) sonuçları

Farklı ön işlem koşulları uygulanarak üretilen kırmızı pancar pestillerinin TAK seviyelerinde meydana gelen değişimler iki farklı (CUPRAC ve DPPH) kullanılarak ölçülmüştür. En yüksek toplam antioksidan kapasite CUPRAC metodu (182,07±26,48 - 870,78±25,05 mg TE/100 g KM) ile elde edilmiş olup, daha sonra bu metodu DPPH metodu (14,05±0,46 – 48,18±0,76 mgTE/100 g KM) takip etmiştir. Gıda maddelerinin toplam antioksidan aktivitelerini belirlemede kullanılan çeşitli analitik yöntemlerde bir antioksidan, seçilen bir ölçme yöntemi ile yüksek toplam antioksidan aktivite gösterirken aynı antioksidan diğer bir yöntemle daha düşük bir aktivite gösterebildiği literatürde raporlanmıştır. Her iki metot ile elde edilen TAK seviye farkı metotların çalışma mekanizma farkları ile ilişkilendirilmiştir. CUPRAC metodu ile gıda maddelerinde bulunan hem hidrofilik hem de lipofilik antioksidanlar tespit edilebiliyorken, DPPH metodu ile sadece lipofilik antioksidanların tespit edilebiliyor olması da gözlenen bu durumun sebebi olarak gösterilmiştir (Apak vd., 2007; Capanoglu, Kamiloglu, Ozkan ve Apak, 2018; Kamiloglu, 2019 a-b; Özkan Karabacak, Tunçkal, Tamer, Yolci Omeroglu, Copur, 2022; Özkan Karabacak vd., 2023b).

Farklı ön işlemlerle üretilen kırmızı pancar pestillerinin her iki metot ile de en yüksek TAK seviyesi açık kazanda 15 dk haşlama işlemini ve koyulaştırma işleminin herlenin 20 Bx'e kadar sürdürüldüğü 5. Koşul ile elde edilmiştir.

Açık kazanda haşlama işlemine (kontrol koşulu) alternatif olarak uygulanan termosonikasyon ve mikrodalga uygulamalarının kırmızı pancar pestillerinin toplam antioksidan kapasitelerine yaptığı etki irdelendiği zaman CUPRAC için %9-69 ve DPPH için %8-54 oranında bir azalma sağlandığı gözlenmiştir. Diğer taraftan her iki antioksidan yönteminde 5 numaralı koşul kontrol koşullarına göre %48-56 arasında bir artış meydana geldiği gözlenmiştir. Elde edilen bu sonuçlara göre farklı ön işlem üretim koşullarının toplam antioksidan kapasitelerinde (Çizelge 4.4) önemli farklılıklar yarattığı ($p<0,05$) sonucunu ortaya koymuştur. Sonuç olarak kırmızı pancar pestili üretiminde uygulanan farklı işlem koşullarının toplam antioksidan kapasitelerini önemli ölçüde etkilediği belirlenmiş olup, bu durum pestilin besin değeri açısından optimize edilmiş üretim koşullarının önemini ortaya koymuştur.

Isıl işlemlerin toplam fenolik bileşikler gibi toplam antioksidan bileşenler üzerindeki etkisi literatürde farklılık göstermektedir. Bazı araştırmalar, ısıl işlemler sonucunda hücre duvarları ve hücre matrisinin bozulmasının antioksidan miktarını artırabileceğini öne sürerken, diğerleri bu işlemlerin ardından antioksidan içeriğinde azalma veya kayda değer bir değişiklik gözlemlenmediğini rapor etmektedir (Meral, 2016). Öte yandan, ultrasonikasyonun antioksidan etkinliğe katkısı, uygulama yapılan gıda matrisine göre değişiklik gösterebilmektedir (Meena vd., 2024).

Güldiken vd. (2016) çalışmasında, taze kırmızı pancar, kurutulmuş pancar ve pancar püresinin toplam antioksidan kapasitesi dört farklı yöntemle (DPPH, ABTS, FRAP, CUPRAC) analiz edilmiştir. Taze pancar örneklerinde antioksidan kapasite, DPPH yöntemiyle 137 mg TE/100 g, ABTS yöntemiyle 190 mg TE/100 g, FRAP yöntemiyle 181 mg TE/100 g ve CUPRAC yöntemiyle 3889 mg TE/100 g olarak belirlenmiştir. Kurutulmuş pancarda bu değerler sırasıyla 143, 188, 170 ve 3567 mg TE/100 g olarak ölçülürken, pancar püresinde 139, 186, 148 ve 3529 mg TE/100 g olarak tespit edilmiştir. Benzer bir çalışma olan Tontul ve Topuz, (2017) araştırmasında, farklı formülasyonlara sahip nar pestil örneklerinin antioksidan aktiviteleri 1,24 ile 2,00 g TE/100 g KM arasında değişim göstermiştir.

Alıç meyvesinde ultrasonik ön işlem ve sıcak hava, mikrodalga-sıcak hava, kızılötesi-sıcak hava ve dondurarak kurutmanın toplam antioksidan aktivitesi incelenmiştir. Mikrodalga-sıcak hava yöntemi ve ultrasonik ön işlemin %26,38 ile en yüksek DPPH miktarına sahip olduğunu bildirmişlerdir. Mikrodalga enerjisi, kurutma sıcaklığı ve ultrasonik güç hücre yapısına zarar verebilir ve daha sonra elektron verici hidrojen atomları olabilecek bileşikleri serbest bırakabilir ve böylece serbest radikalleri inhibe edebileceğini rapor etmişlerdir (Abbaspour-Gilandeh vd., 2021). Kurutmadan önce ultrasonik ön işlemin kullanılması da antioksidan aktiviteyi artırır, çünkü ultrasonik daha yüksek serbest radikalleri inhibe eder (Xu vd., 2021). Ayrıca bizim çalışmamızda da ultrasonik ön işlemin arttırdığı gibi bamya (Xu vd., 2021), patates (Rashid vd., 2019) ve papaya (Chandra vd., 2021) gibi bitkilerde ultrasoniğin antioksidanları artırmadaki olumlu etkileri bildirilmiştir.

Papaya dilimlerine vakum ve konvektif hava kurutma ile birlikte ön işlem olarak ultrason işlemi ve ultrason işlemi olmadan ozmotik dehidratasyon uygulanmış olup antioksidan aktivitesi incelenmiştir. Antioksidan aktivite değerleri farklı kurutma teknikleriyle %29,38 ile %49,38 arasında değişmiştir. En yüksek ultrason destekli ozmotik dehidratasyonun olduğunu bildirmişler ve ultrasoniğin toplam fenol üzerinde artışın gösterdiğini rapor etmişlerdir. Fenolik asitler doğal antioksidan potansiyele sahip olduğundan, toplam fenoldeki bir artış antioksidan kapasitede artışa ve dolayısıyla daha yüksek bir serbest radikal temizleme potansiyeline yol açabileceğini bildirmişlerdir (Chandra vd., 2021).

Kırmızı pancarda termal destekli ultrasonik ekstraksiyonun etkisine farklı sıcaklık ve sürelerde (40-80°C, 5-210 dk) antioksidan aktivite miktarının değişimi incelenmiştir. 40°C' de 15-210 dk arasında bekletilen ekstraktlardaki antioksidan aktivite madde miktarı % 2,34'den % 35,9 olarak bulunmuştur. 60°C' de 40-50 dk arasında ise % 68-69,7 olarak en yüksek toplam fenolik madde miktarı tespit edilmiştir (Şimşek, 2019). Kaur vd. (2021) araştırmasında taze pancarın toz hale getirmek için farklı haşlama işlemlerine (sıcak suda haşlama ve soğuk suya daldırma, buharda haşlama ve soğuk suya daldırma ve buzdolabı altında buharda haşlama) tabi tutulmuştur. Farklı haşlama işlemleri sonrasında antioksidan aktivite miktarına bakılmış olup ve %47,69 ila %76,54 arasında tespit edilmiştir. Araştırmada ısıl işlemin antioksidanlar üzerinde olumsuz etkileri olduğu bilinen bir gerçek olduğunu ancak buharda haşlama işleminden kaynaklanan ısının, hidroksil radikaline hidrojen atomu bağışlamak için kısmi oksidasyona sahip olanlar gibi yeni oluşan bileşiklerin dengelenmesi veya polifenol aromatik yapısının halka etrafındaki eşleşmemiş elektronun yer değiştirmesini tolere etmesi nedeniyle antioksidan potansiyelini etkilemediği varsayılabildiğini rapor etmişlerdir. Yapılan bir çalışmada, ön işlem olarak ultra yüksek basınç (UHP), ultrason (US) ve bunların kombinasyonunun (UHP-US) vakumla dondurularak kurutulmuş çilek dilimlerinin özellikleri üzerindeki etkileri araştırılmıştır. DPPH miktarı %68,68-92,66 olarak tespit edilmiştir. Kontrol numune en düşük gözlenirken ultrason işlemi en yüksektir. Araştırmacılar ultrasonun sinerjik etkilerinden kaynaklandığını bildirmişlerdir (Zhang vd., 2020)

Bir başka çalışmada, taze pancarın üç farklı kurutma yönteminde antioksidan aktivite miktarı araştırılmıştır. Taze pancarın DPPH değeri güneşte ve fırında kurutma sonrasında belirgin bir şekilde artmıştır. DPPH için elde edilen sonuçlar, dilimlerin ısıl işleminin toplam fenolik seviyesindeki artış nedeniyle antioksidan aktivitesini önemli bir artışa yol açtığını göstermiştir (Hamid ve Mohammed Nour, 2018). Bu da güneşte kurutmanın yeşil yapraklı sebzelerin antioksidan özelliklerinde önemli bir artışa neden olduğunu gözlemleyen Oboh ve Akindahunsi, (2004) raporuyla uyumludur. Ayrıca Ravichandran vd. (2013) antioksidan kapasitenin betalain ve polifenollerin varlığına bağlı olduğunu ve termal işlemden sonra arttığını vurgulamıştır. Kırmızı pancar pestillerin antioksidan kapasitesi arasındaki ilişkiyi daha ayrıntılı olarak ortaya koymak amacıyla daha fazla araştırmaya ihtiyaç duyulmaktadır.

4.5.2. Toplam fenolik madde sonuçları (TFM)

Kırmızı pancar pestili örneklerinde, geleneksel 40 brx kurutma başlangıçlı üretim yöntemine benzer şekilde yapılan üretimlerde fenolik bileşiklerin içeriği çeşitli işlemlere bağlı olarak önemli ölçüde değişmektedir. Çizelge 4.4'de sunulan verilere göre, - arasında ölçülmüştür. En yüksek toplam fenolik içeriği, 5 numaralı koşulda (313,17±10,63 mg GAE/100 g KM) gözlenirken; en düşük ise 3 numaralı koşul (76,26±2,37 mg GAE/100 g KM) olan pestillerde gözlenmiştir. Termosonikasyon ve mikrodalga uygulamalarında kontrol numuneye kıyasla diğer numunelerde azalma saptanmıştır. Bu sonuçlar, farklı işlemlerin fenolik bileşikler üzerindeki etkilerini göstermektedir.

Ön işlem suyunun süzülmesi sonrası kurutulan 11. koşuldaki fenolik madde artışının, mikrodalga etkisiyle ilişkili olduğu düşünülebilir. Chuah vd. (2008) çalışmasında, çeşitli pişirme tekniklerinin toplam fenolik içerik ve antioksidan aktivite üzerindeki etkileri değerlendirilmiş ve su miktarının azaltıldığı pişirme işlemlerinde antioksidan aktivite ile biyoaktif bileşiklerin korunduğu bulunmuştur. Bu bulgu, mikrodalga işleminin fenolik bileşiklerin korunmasında etkili olduğunu göstermektedir. Literatürde, ısıl işlemin fenolik bileşiklere etkisine dair bulgular çeşitlilik göstermektedir; bazı çalışmalar ısıl işlemin hücre duvarı ve matris yapısının bozulmasıyla fenolik asit miktarını artırabileceğini öne sürerken, diğerleri fenolik bileşenlerde azalma veya belirgin bir değişiklik olmadığını bildirmektedir (Meral, 2016). Bu durum, ısıl işlemlerin fenolik

bileşikler üzerindeki etkisinin bileşiğin yapısına ve işlem koşullarına bağlı olarak değişebileceğini göstermektedir.

Açık kazanda haşlama işlemine (kontrol koşulu) alternatif olarak uygulanan termosonikasyon ve mikrodalga uygulamalarının kırmızı pancar pestillerinin toplam fenolik içeriklerine yaptığı etki irdelendiği zaman %1-62 oranında bir azalma sağlandığı gözlenmiştir. Diğer taraftan toplam fenolik yönteminde 5 numaralı koşul kontrol koşuluna göre %41 oranında bir artış meydana geldiği saptanmıştır. Elde edilen bu sonuçlara göre farklı ön işlem üretim koşullarının toplam fenolik içeriğinde (Çizelge 4.4) önemli farklılıklar yarattığı ($p<0,05$) sonucunu ortaya koymuştur. Sonuç olarak kırmızı pancar pestili üretiminde uygulanan farklı işlem koşullarının toplam fenolik içeriklerini önemli ölçüde etkilediği belirlenmiş olup, bu durum pestilin besin değeri açısından optimize edilmiş üretim koşullarının önemini vurgulamaktadır.

Guldiken vd. (2016) tarafından yapılan çalışmada, taze kırmızı pancar örneklerinin fenolik içeriği 255 mg GAE/100 g, kurutulmuş örneklerde 347 mg GAE/100 g, reçelinde 231 mg GAE/100 g ve püresinde 236 mg GAE/100 g olarak ölçülmüştür. Gençdağ vd. (2019) araştırmasında ise kırmızı pancar suyu üretiminde enzim ön işlemi uygulayarak toplam fenolik madde miktarını 245,2 mg GAE/100 g olarak rapor etmişlerdir.

Tontul ve Topuz (2017) nar pestillerini farklı kurutma yöntemleriyle işleyerek, bu ürünlerin toplam fenolik içeriğini 852,36 ile 1 327,02 mg GAE/100 g arasında değişen değerlerde bulmuşlardır. Ersus ve Hepçimen (2021) ise farklı formülasyonlarla geliştirilen nar pestili çalışmasında, toplam fenolik değerleri 2 974,75 ile 3 655,16 mg GAE/100 g arasında ölçülmüştür. Suna ve Özkan Karabacak (2019) çalışmasında farklı kurutma koşullarına tabi tutulan dut meyvesi posalarındaki toplam fenolik bileşik değerlerini değerlendirmiş ve 134,98 ila 209,14 mg GAE/100 g KM arasında değişen değerleri gözlemlemiştir. Bir başka çalışmada, taze pancarın üç farklı kurutma yönteminde toplam fenolik madde miktarı araştırılmıştır. Taze pancarın güneşte ve fırında kurutmadan sonra önemli ölçüde toplam fenolik maddede artış göstermiştir. Ancak dondurarak kurutmanın toplam fenolikler üzerinde önemli bir etkisi olmadığını rapor etmişlerdir. Bu çalışmada toplam fenolikler için elde edilen sonuçlar, kurutma sırasında sıcaklık uygulamasının pancarın toplam fenoliklerini önemli ölçüde arttırdığını

göstermiştir (Hamid & Mohammed Nour, 2018). Kaur vd. (2021) araştırmasında taze pancarın toz hale getirmek için farklı haşlama işlemlerine (sıcak suda haşlama ve soğuk suya daldırma, buharda haşlama ve soğuk suya daldırma ve buzdolabı altında buharda haşlama) tabi tutulmuştur. Farklı haşlama işlemleri sonrasında toplam fenol madde miktarına bakılmıştır. Sonucunda, toplam fenol miktarı 77,88'den 416,65 mg GAE/100 g olarak tespit edilmiştir.

Kırmızı pancarda termal destekli ultrasonik ekstraksiyonun etkisine farklı sıcaklık ve sürelerde (40-80°C, 5-210 dk) toplam fenol miktarının değişimi incelenmiştir. 40 °C' de 15-210 dk arasında bekletilen ekstraktlardaki toplam fenolik madde miktarı 1,76 mg GAE/kg'dan 35,25 mg GAE/kg olarak bulunmuştur. 60 °C' de 40-50 dk arasında ise 89-91,2 mg GAE/100 g olarak en yüksek toplam fenolik madde miktarı tespit edilmiştir (Şimşek, 2019).

Abbaspour-Gilandeh vd. (2021) araştırmasında ultrasonik ön işlem ve sıcak hava, mikrodalga-sıcak hava, kızılötesi-sıcak hava ve dondurarak kurutmanın alıç meyvesinin biyoaktif bileşenleri üzerinde etkisi incelenmiştir. Taze alıç meyvesinin 79,82 mg GAE/g tespit edilirken; ultrasonik-sıcak hava işlemi 36,28 mg GAE/g, ultrasonik + mikrodalga–sıcak hava işlemi ise 68,22 mg GAE/g olarak tespit edilmiştir. Kurutma yöntemleri arasında, ultrasonik ön işlemle mikrodalga-sıcak hava kurutma yöntemi, ultrasonik ön işlemle hücre yapısına daha az zarar verilmesi nedeniyle fenolik bileşiklerin en az bozunmasını göstermiştir. Ultrasonik ön işlemin farklı kurutma yöntemleriyle birlikte uygulanmasının fenolikleri iyileştirdiğini rapor etmişlerdir. Aynı şekilde bizim çalışmamızda da ultrasonik ön işlemle mikrodalga + sıcak hava kurutma diğer yöntemlere göre daha yüksek toplam fenolik madde miktarına sahiptir. Ayrıca Xu vd. (2021) çalışmasında ultrasonik ön işlemin bamya meyvesinde toplam fenolik madde miktarını geliştirdiğini bildirmiştir. Ayrıca Rashid vd. (2019) araştırmasında patateslerde toplam fenolik madde elde etmek için ultrasonik ön işlemin kullanılmasının hücre kırılmasına yol açtığını ve böylece genellikle hücre bileşenlerinin ayrışması sırasında meydana gelen membran matrisinden fenolik bileşiklerin salındığını bildirmiştir. Yapılan bir çalışmada, ön işlem olarak ultra yüksek basınç (UHP), ultrason (US) ve bunların kombinasyonunun (UHP-US) vakumla dondurularak kurutulmuş çilek dilimlerinin özellikleri üzerindeki etkileri araştırılmıştır. Toplam fenolik madde miktarı 153,07 ila 233,32 mg GAE/g olarak

tespit edilmiştir. Kontrol numune en düşük gözlenirken kombinasyon işlemi en yüksektir (Zhang vd., 2020).

Bir başka çalışmada ise papaya dilimlerine vakum ve konvektif hava kurutma ile birlikte ön işlem olarak ultrason işlemi ve ultrason işlemi olmadan ozmotik dehidratasyon uygulanmış olup toplam fenol miktarı incelenmiştir. Toplam fenol değerleri farklı kurutma teknikleriyle 13,50–74,67 mg GAE/g arasında değişmiştir. En yüksek ultrason destekli ozmotik dehidratasyonun olduğunu bildirmişler ve ultrasoniğin toplam fenol üzerinde artışın gösterdiğini rapor etmişlerdir (Chandra vd., 2021). Araştırmalar, toplam fenolik bileşiklerin ve fenolik maddelerin seviyelerinin, kullanılan ön işlem tekniklerinden etkilendiğini göstermektedir. Er, (2011), Demir ve Kılınç (2018), Yıldız ve İzli, (2020) ve Baltacıoğlu vd. (2023) araştırmalarında termosonikasyon sıcaklığı ve süresi, mikrodalga gücü ve süresi ile uygulanan dalga boylarındaki değişikliklerin, gıda ürünlerinin antioksidan içeriğinde, özelliklerine bağlı olarak değişikliklere neden olabileceğini belgelemişlerdir

4.5.3. Toplam flavonoid analiz sonuçları (TFLM)

Pestil örneklerinin toplam flavonoid sonuçları, Çizelge 4.4'de gösterildiği üzere, 5 numaralı koşulda en yüksek (517,46 mgRE/100 g KM) tespit edilirken, en düşük tespit edilen ise 3 numaralı koşul (128,19 mgRE/100 g KM) olarak tespit edilmiştir. Termosonikasyon ve mikrodalga uygulamalarında kontrol numuneye kıyasla diğer numunelerde azalma saptanmıştır. Fakat 5 numaralı koşulda ise artma gözlenmiştir. Bu sonuçlar, farklı işlemlerin flavonoid bileşikler üzerindeki etkilerini göstermektedir.

Guldiken vd. (2016) tarafından yapılan çalışmada, taze kırmızı pancar, kurutulmuş pancar ve pancar püresinin toplam flavonoid analiz edilmiştir. Taze kırmızı pancar örneklerinin flavonoid içeriği 260 mg RE/100 g, kurutulmuş örneklerde 230 mg RE/100 g, reçelinde 143 mg RE/100 g ve püresinde ise 290 mg RE/100 g olarak ölçülmüştür. Benzer şekilde, püre işleminin taze domateslerin toplam flavonoid içeriğinde taze ağırlık bazında iki kata kadar artış sağladığı bildirilmiştir (Kamiloğlu vd., 2014). Tontul ve Topuz (2017) nar pestillerini farklı kurutma yöntemleriyle işleyerek, bu ürünlerin toplam flavonoid içeriği 96,72–123,81 mg CE/100 g arasında değişen değerlerde bulmuşlardır.

Mikrodalga destekli sıcak hava kurutma tekniği ile kurutulan pestiller, sıcak hava ile kurutulanlara göre daha yüksek flavonoid tespit etmişlerdir.

Kaur vd. (2021) araştırmasında taze pancarın toz hale getirmek için farklı haşlama işlemlerine (sıcak suda haşlama ve soğuk suya daldırma, buharda haşlama ve soğuk suya daldırma ve buzdolabı altında buharda haşlama) tabi tutulmuştur. Farklı haşlama işlemleri sonrasında toplam flavonoid miktarına bakılmıştır. Sonuç olarak 42,75'den 279,95 mg QE/100 g olarak tespit edilmiştir. Taze ve toz pancar örneklerinde toplam flavonoid içeriği için elde edilen sonuçlar göz önünde bulundurulduğunda, buharla haşlama yoluyla ısı uygulamasının, geliştirilen pancar tozundaki toplam flavonoid içeriğin arttırılmasına önemli ölçüde katkıda bulunduğu bildirilmiştir. Buhardan gelen gizli ısı hücreleri parçalamış ve endojen oksidatif enzimleri deaktive ederek geliştirilen pancar tozundaki flavonoid içeriğini arttırmış olduğunu rapor etmişlerdir.

Açık kazanda haşlama işlemine (kontrol koşulu) alternatif olarak uygulanan termosonikasyon ve mikrodalga uygulamalarının kırmızı pancar pestillerinin toplam flavonoid içeriklerine yaptığı etki irdelendiği zaman %0,5-64 oranında bir azalma sağlandığı gözlenmiştir. Diğer taraftan toplam flavonoid yönteminde 5 numaralı koşul kontrol koşuluna göre %42 oranında bir artış meydana geldiği saptanmıştır. Elde edilen bu sonuçlara göre farklı ön işlem üretim koşullarının toplam flavonoid içeriğinde (Çizelge 4.4) önemli farklılıklar yarattığı ($p<0,05$) sonucunu ortaya koymuştur. Sonuç olarak, kırmızı pancar pestili üretiminde uygulanan çeşitli işlem koşullarının toplam flavonoid içeriği üzerinde önemli bir etkiye sahip olduğu tespit edilmiştir. Bu durum, pestilin besin değerini artırmaya yönelik optimize edilmiş üretim koşullarının önemini vurgulamaktadır.

Abbaspour-Gilandeh vd. (2021) araştırmasında ultrasonik ön işlem ve sıcak hava, mikrodalga-sıcak hava, kızılötesi-sıcak hava ve dondurarak kurutmanın alıç meyvesinin toplam flavonoid analizinin etkisi incelenmiştir. Taze alıç meyvesinin 72,72 mg QE/g tespit edilirken; ultrasonik-sıcak hava işlemi 28,56 mg QE/g, ultrasonik + mikrodalga–sıcak hava işlemi ise 51,17 mg QE/g olarak tespit edilmiştir. Kurutma yöntemleri arasında, ultrasonik ön işlemle mikrodalga-sıcak hava kurutma yöntemi, ultrasonik ön işlemle hücre yapısına daha az zarar verilmesi nedeniyle flavonoidlerin en az

bozunmasını göstermiştir. Kızılcık atıştırmalıklarında (Nowacka vd., 2019), bamyada (Xu vd., 2021) ve alıç meyvesinde (Li vd., 2020) kurutmadan önce ultrasonik ön işlem kullanımının toplam flavonoidi artırdığı sonucuna varmışlardır ki bu da bu çalışmanın sonuçlarıyla tutarlıdır. Bir başka çalışmada ise taze pancarın üç farklı kurutma yönteminde toplam flavonoid miktarı araştırılmıştır. Taze pancarın güneşte ve fırında kurutmadan sonra toplam flavonoid maddede düşüş göstermiştir. Ancak dondurarak kurutmanın toplam fenolikler üzerinde önemli bir etkisi olmadığını rapor etmişlerdir. Pancar dilimlerinin kurutulmasından sonra flavonoidler için elde edilen sonuçlar, ısının pancarın flavonoidleri üzerinde olumsuz bir etkiye sahip olduğunu göstermiştir. Ayrıca ısıl işlem sırasında flavonoid gibi makromoleküllerin kaybı, sert kurutma koşullarından, özellikle de kullanılan sıcaklık ve süreden kaynaklanıyor olabildiğini bildirmişlerdir (Hamid & Mohammed Nour, 2018).

Bir başka çalışmada Vietnam'da yetiştirilen pancarın ısıyla ve dondurularak kurutma yöntemlerinin toplam flavonoid içerikleri incelenmiştir. Isı ile kuruulan pancarın 9,1 µg RE/ g flavonoid içerirken, dondurularak kurutmada ise 15,3 µg RE/ g içermiştir (Hung & Duy, 2012).

Yapılan bir çalışmada, ön işlem olarak ultra yüksek basınç (UHP), ultrason (US) ve bunların kombinasyonunun (UHP-US) vakumla dondurularak kurutulmuş çilek dilimlerinin özellikleri üzerindeki etkileri araştırılmıştır. Toplam flavonoid miktarı 8,44 ila 12,05 mg RE/g olarak tespit edilmiştir. Kontrol numune en düşük gözlenirken kombinasyon işlemi en yüksektir. Bu da ultra yüksek basınç ve ultrasonun sinerjik etkilerinden kaynaklanıyor olabildiğini rapor etmişlerdir (Zhang vd., 2020).

4.6. Toplam betalain analiz sonuçları

Kırmızı pancar pestil örneklerinin betaksantin, betasiyanin ve toplam betalain sonuçları Çizelge 4.5'de verilmiştir. Kırmızı pancar pestili örneklerinin en yüksek betaksantin içeriği, 4 numaralı ön işlem koşulunda (257,10±18,52 mg/kg) elde edilmiştir. En düşük betaksantin içeriği 2 numaralı ön koşulda (128,68±13,02 mg/kg) tespit edilmiştir. 4 numaralı ön koşul betasiyanin içeriği en yüksek (355,90±13,22 mg/kg) tespit edilirken; 2 numaralı ön koşul ise en düşük betasiyanin (171,64±15,69 mg/kg) tespit edilmiştir.

Çizelge 4.5. Kırmızı pancar pestillerin betalain bileşimleri (mg/kg)

Ön İşlem Koşulları	Betaksantin	Betasiyanin	Toplam Betalain
Kontrol	145,86±7,71^{d}	168,53±9,20^{f}	314,40±16,91^{ef}
1	151,76±16,13^{cd}	208,27±23,59^{ef}	360,03±39,72^{ef}
2	128,68±13,02^{d}	171,64±15,69^{f}	300,32±28,71^{f}
3	229,00±23,36^{a}	306,01±33,60^{b}	535,01±56,97^{b}
4	257,10±18,52^{a}	355,90±13,22^{a}	613,00±31,70^{a}
5	200,07±5,25^{b}	288,59±8,45^{bc}	488,66±13,69^{bc}
6	147,98±5,34^{d}	234,70±6,55^{de}	382,68±11,89^{de}
7	131,64±3,49^{d}	209,80±2,06^{def}	341,44±1,44^{ef}
8	192,20±29,60^{b}	289,10±61,60^{bc}	481,30±91,21^{bc}
9	130,76±3,89^{d}	220,17±12,02^{de}	350,93±15,91^{de}
10	143,76±11,14^{d}	229,04±20,80^{de}	372,80±31,94^{ef}
11	179,41±7,22^{bc}	255,37±10,08^{cd}	434,79±17,30^{bc}

Sütunlardaki farklı harfler istatistiksel olarak önemli farklılıkları temsil etmektedir ($p<0,05$).

Toplam betalain sonuçlarında ise 4 numaralı ön işlem koşulu en yüksek (613,00±31,70 mg/kg) saptanmışken; en düşük 2 numaralı ön koşul (300,31±28,71 mg/kg) saptanmıştır. Bu bileşenlerin ön işlem suyunun süzülmesinden sonra kurutulan 4 numaralı koşuldaki betalain bileşimlerinin artışı, mikrodalga etkisiyle açıklanabilir. Sıcaklık, gıda işlemede betalain stabilitesi üzerindeki en önemli faktör olduğunu bildirmiştir (Azeredo, 2009).

Cardoso-Ugarte vd. (2014) tarafından yapılan bir çalışmada, dondurularak kurutulmuş kırmızı pancarda 400 W gücünde bir mikrodalga ekstraksiyon yönteminin 90-120 saniye süreyle uygulanmasının optimal miktarda betanin üretimini sağladığı, aynı gücün 140-180 saniye boyunca uygulanmasının ise maksimum betaksantin miktarına ulaşılmasını sağladığı belirlenmiştir.

Diğer bir çalışmada, vakumla kurutulan kırmızı pancar dilimlerinin, vakum uygulanmadan kurutulan örneklere kıyasla daha yüksek seviyelerde betasiyanin ve betaksantin içerdiği ve vakumla kurutulan örneklerde betasiyanin miktarında %20,

betaksantin miktarında %12 artış olduğu tespit edilmiştir. Bu artış, betalainlerin oksijene maruz kalma sonucu bozunmasını engellemede vakum uygulamasının koruyucu etkisine atfedilmiştir. Ayrıca, araştırmalar kaynama sıcaklıklarında uygulanan ısıl işlemlerin betalainlerin parçalanmasına neden olabileceğini, 60, 120 ve 180 saniyelik kısa süreli uygulamalar sonrasında betasiyaninlerin sırasıyla %6, %22 ve %51 oranında, betaksantinlerin ise %18 oranında azaldığını göstermektedir (Khan, 2016).

Yapılan başka bir çalışmada, ultrasonik banyoda farklı sıcaklıkların (40-80°C) ve sürelerin (5-210 dakika) kırmızı pancar (Beta vulgaris L.) betalain içeriği üzerindeki etkisi incelenmiştir. Elde edilen sonuçlar, 40°C'de 15 dakikalık ekstraksiyon süresi sonrasında ekstraktlardaki toplam betalain içeriğinin 60,44 mg/kg olduğunu, aynı sıcaklıkta 210 dakikalık ekstraksiyon süresi sonunda ise bu değerin 280,57 mg/kg'a yükseldiğini göstermiştir. 60 ve 80°C sıcaklıklarda farklı sürelerle uygulanan termal destekli ultrasonik ekstraksiyon yöntemleri karşılaştırıldığında, betalain ekstraksiyonunun 210 dakikalık en uzun sürede dahi tam olarak sağlanamadığı saptanmıştır. Ayrıca çalışmada, termal ultrasonik ekstraksiyonda 60 ve 80°C sıcaklıklarda artan sürelerin betalain içeriğini olumsuz yönde etkilediği ve betalainlerde kısmi azalma veya parçalanmaya neden olduğu belirlenmiştir (Şimşek, 2019).

Kontrol koşuluna göre uygulanan ön işlem koşullarının yaptığı etki irdelendiği zaman betaksantin içeriği %4-76, betasiyanin içeriği %2-128 ve toplam betalain içeriği ise %11-94 oranında artış sağlanmıştır. Diğer taraftan betaksantin içeriği %1-11 oranında azalma göstermiştir. Ayrıca toplam betalain içeriği ise sadece 2 numaralı koşulda kontrol numuneye kıyasla %4 oranında azalma göstermiştir. Geleneksel pestil üretiminin kontrol grubu olarak belirlendiği örneklere göre tüm alternatif diğer koşullar betasiyanin miktarında artışa yol açmıştır. Bir başka deyişle termosonikasyon ve termosonikasyon + mikrodalga ön işlemlerinin dahil edildiği tüm koşullarda betasiyanin değeri kontrol örneğinden yüksek bulunmuştur.

Farklı araştırmacılar, 70°C'nin altındaki sıcaklıklarda betalainlerin parçalanmasında enzimlerin (glikozoksidaz, peroksidaz ve polifenoloksidaz) etkili olabileceğini belirtmiş ve bu enzimlerin inaktivasyonu için 70°C'de 2 dakikalık bir uygulamanın yeterli olduğunu rapor etmişlerdir (Delgado-Vargas vd., 2000; Ravichandran vd., 2013).

Termal işlem uygulanmış üç farklı pancar ürünü (pancar suyu, pancar püresi ve bütün pancar) üzerinde yapılan araştırmada, işlem süreleri arttıkça bu ürünlerin betalain içeriklerinde azalma meydana geldiği gözlemlenmiştir (Prieto-Santiago vd., 2020).

Shehatta vd. (2024) tarafında yapılan çalışmasında, kırmızı pancarda fırında kurutma ve dondurarak kurutma yöntemleri uygulanarak betalain pigmentlerine olan etkileri araştırılmıştır. Fırında kurutma işlemi 60°C'de uygulanmış olup betalain pigmentlerinin stabilitesinde bir azalma meydana getirdiği bildirilmiştir. Dondurarak kurutulmuş örneklerle karşılaştırıldığında, betaksantin ve betasiyanin içeriklerinde sırasıyla %83,22 ve %88,09 oranında azalma görülmüştür.

Kırmızı pancara uygulanan iki farklı ön işlem (suda haşlama ve mikrodalga) sonrasında 50, 60, 70 ve 80°C sıcaklıklarında kurutma işlemi gerçekleştirilmiştir. Bu işlemler sonucunda kırmızı pancarın toplam betalain içeriğindeki değişim incelendiğinde, 70°C'de kurutmanın en az etkiye sahip olduğu, 80°C'de kurutmanın ise betalain içeriği üzerinde en belirgin azaltıcı etkiyi gösterdiği saptanmıştır (Er, 2011). Betalain pigmentleri oldukça kararsız olup yüksek sıcaklıklarda, oksijen ve ışığa maruz kaldıklarında bozunma eğilimindedir. Betalain stabilitesini etkileyen çeşitli faktörler arasında pigment içeriği, kimyasal yapı, gıda matrisi, gıda katkı maddeleri, enzimler, pH, ısıl işlem, su aktivitesi, oksijen, ışık ve depolama sırasında maruz kalınan sıcaklıklar yer almaktadır (Fu ve ark., 2020). Sonuç olarak, kırmızı pancar pestili üretiminde kullanılan farklı işlem koşullarının betalain bileşimini önemli ölçüde etkilediği belirlenmiş ve bu durum pestilin besin değerini koruyarak optimize edilmiş üretim koşullarının önemini vurgulamaktadır.

4.7. UPLC-ESI-MS/MS ile polifenollerin karakterizasyonu

Kırmızı pancar pestillerin UPLC-ESI-MS/MS analizi, 5 flavonoid, 6 fenolik asit ve diğer biyoaktif bileşikler dahil olmak üzere 11 ana bileşiğin tanımlanmasını sağlamıştır. Bileşiklerin çoğunun tanımlanması negatif modda gerçekleştirilmiştir.

4.7.1. Flavonoidler

Kırmızı pancar pestillerinde beş flavonoid tespit edilmiş olup, toplam flavonoidlerin %0,12-94,24'ünü temsil eden ana bileşikler epikateşin ve izokuersitrindir (Çizelge 4.6). Flavonol türevleri antioksidan ve antikarsinojenik özelliklerle ilişkili değerli fitokimyasallardır (Borjan vd., 2022). Kırmızı pancar pestillerinde tespit edilen flavonoidler istatistiksel bir farklılık göstermiştir ($p<0,05$). Epikateşin bileşeni 6 numaralı ön koşulda en yüksek (4306,23±103,54 µg/kg) tespit edilirken; 3 numaralı ön koşul en düşük (651,88±0,65 µg/kg) tespit edilmiştir.

Epikateşin bileşeninden sonra en yüksek miktarda bulunan diğer bileşenin izokuersitrin olduğu tespit edilmiştir. En yüksek izokuersitrin içeriği, 1 numaralı ön koşulda (161,55±8,22 µg/kg) gözlenirken; en düşük miktar, 3 numaralı ön koşulda (56,29±2,27 µg/kg) gözlenmiştir. Her iki bileşende de kırmızı pancar pestil örneklerinde flavonoidler açısından daha yüksek verim sağladığı belirlenmiştir. Rutin bileşeni en yüksek miktarda 10 numaralı ön koşulda (16,89±0,05 µg/kg) saptanmış olup, en düşük miktar 3 numaralı ön koşulda (7,78±0,36 µg/kg) belirlenmiştir. Kuersetin, en yüksek düzeyde 2 numaralı ön koşulda (38,59±1,93 µg/kg), en düşük düzeyde ise 9 numaralı ön koşulda (5,00±0,18 µg/kg) bulunmuştur. Son olarak, taksifolin en yüksek seviyede 6 numaralı ön koşulda (4,94±0,20 µg/kg), en düşük seviyede ise 4 numaralı ön koşulda (2,01±0,02 µg/kg) gözlenmiştir.

Bu bulgularla tutarlı olarak, Borjan vd. (2022) tüm pancar özütlerinde en bol bulunan flavonoidlerden epikateşinin baskın polifenoller arasında olduğunu bildirmiştir. Tumbas Šaponjac vd. (2016) araştırmasında epikateşin ve kateşin bileşenlerini bol miktarda tespit etmiştir. Bu çalışmada, pancar posası ekstraktlarında epikateşin, kateşin ve quercetin sırasıyla 3,88 g/100g, 156,04 g/100g ve 0,41 g/100g bulunmuştur.

Çizelge 4.6. Kırmızı pancar pestillerde UPLC-ESI-MS/MS ile belirlenen flavonoid içeriğindeki değişimler (µg/kg)

Ön işlem koşulları	Epikateşin	Rutin	İzokuersitrin	Taksifolin	Kuersetin
Kontrol	2693,17±109,03^{c}	14,49±0,36^{bc}	119,10±1,31^{cd}	2,95±0,02^{cd}	13,59±0,35^{d}
1	1771,29±165,76^{e}	12,74±0,62^{def}	161,55±8,22^{a}	3,00±0,36^{cd}	15,59±0,60^{d}
2	2307,19±109,48^{d}	10,84±0,25^{gh}	96,43±2,58^{ef}	4,02±0,24^{b}	38,59±1,93^{a}
3	651,88±0,65^{g}	7,78±0,36^{i}	56,29±2,27^{h}	2,01±0,06^{f}	5,87±0,86^{g}
4	1240,70±98,96^{f}	9,33±0,07^{h}	73,67±1,25^{g}	2,01±0,02^{f}	5,43±0,64^{g}
5	2371,00±182,25^{d}	13,16±1,42^{cde}	132,47±10,24^{bc}	3,39±0,12^{c}	18,21±2,06^{c}
6	4306,23±103,54^{a}	13,43±0,24^{cde}	146,35±0,41^{ab}	4,94±0,20^{a}	32,21±0,85^{b}
7	1978,33±168,21^{e}	14,26±0,39^{cd}	83,87±1,35^{fg}	2,56±0,24^{de}	18,11±0,84^{c}
8	3097,76±16,57^{b}	15,96±1,67^{ab}	128,42±12,08^{c}	3,38±0,22^{c}	8,68±1,00^{e}
9	1807,34±138,79^{e}	12,33±0,85^{efg}	80,69±0,23^{fg}	2,69±0,17^{de}	5,00±0,18^{g}
10	2882,42±141,92^{bc}	16,89±0,05^{a}	153,74±21,61^{a}	3,20±0,42^{c}	8,52±0,80^{ef}
11	2812,91±5,97^{c}	11,46±0,01^{fg}	105,47±0,29^{de}	2,28±0,18^{ef}	6,40±0,21^{fg}

Sütunlardaki farklı harfler istatistiksel olarak önemli farklılıkları temsil etmektedir ($p<0,05$)

Kontrol koşuluna göre uygulanan ön işlem koşullarının yaptığı etki irdelendiği zaman epikateşin için %4-59, rutin bileşeninde %10-16, izokuersitrin bileşeni %7-35, kuersetin bileşeni %14-184 ve taksifolin bileşeninde ise %1-67 oranında artış sağlanmıştır. Diğer taraftan epikateşin için kontrol koşullarına göre %11-75 arasında bir azalış meydana geldiği gözlenmiştir. Aynı şekilde rutin, izokuersitrin, kuersetin ve taksifolin bileşenlerinde sırasıyla %1-46, %11-52, %36-63 ve %8-31 oranında azalma olduğu saptanmıştır.

Elde edilen bu sonuçları genel bir ifadeyle açıklandığı zaman farklı ön işlem üretim koşullarının flavonoid bileşenlerinde önemli farklılıklar olduğunu ($p<0,05$) ortaya koymuştur. Ayrıca ön işlem koşullarının özelliğine ve flavonoidlerin kimyasal yapısına göre bu etkilerin farklı olabileceği de gözlenmiştir. Örneğin termosonifikasyon işlem süresinin 30 dk'dan 45 dk'ya artırılması pestillerin taksifolin seviyelerini %1-36 oranında artırırken, rutin içeriklerinde %12-25 oranında azalmasına neden olmuştur

Tanımlanan flavonoidler arasında, rutin, taksifolin ve kuersetin bileşeninin en yüksek değerleri sırasıyla 2, 6 ve 10 numaralı ön koşul numuneleridir. Borjan vd. (2022) araştırmasında da ultrasonik ekstraksiyonda yüksek tespit edilmiştir. Bizim çalışmamızda da flavonoidler ultrasonik ön işlemli pestillerde yüksek bulunmuştur.

4.7.2 Fenolik asitler ve diğer polifenoller

Kırmızı pancar pestillerinde kafeik asit, p-kumarik asit, klorojenik asit, ferulik asit, o-salisilik asit ve vanilin dahil olmak üzere altı fenolik asit ve diğer polifenoller tespit edilmiştir. Toplam fenolik asitlerin %0,01-98,60'ını temsil eden ana bileşikler klorojenik asittir (Çizelge 4.7). Kırmızı pancar pestillerinde tespit edilen fenolik asitler ve diğer poifenollerde istatistiksel olarak anlamlı bir farklılık ($p<0,05$) gözlenmiştir.

Klorojenik asit bileşeni 6 numaralı ön koşulda en yüksek (92638,67±1077,40 µg/kg) tespit edilirken; 3 numaralı ön koşul en düşük (16351,71±329,13 µg/kg) tespit edilmiştir. En yüksek ferulik asit içeriği, 1 numaralı ön koşulda (432,22±13,82 µg/kg) gözlenirken; en düşük miktar, 3 numaralı ön koşulda (128,70±0,76 µg/kg) gözlenmiştir. p-kumarik asit bileşeni en yüksek miktarda 6 numaralı ön koşulda (49,84±5,48 µg/kg) saptanmış olup, en düşük miktar 9 numaralı ön koşulda (16,59±2,44 µg/kg) belirlenmiştir. En yüksek vanilin içeriği, 1 numaralı ön koşulda (554,20±36,88 µg/kg) tespit edilirken, en düşük ise 3 numaralı ön koşulda (143,64±1,79 µg/kg) tespit edilmiştir. Kafeik asit, en yüksek düzeyde 1 numaralı ön koşulda (54,93±2,05 µg/kg), en düşük düzeyde ise 9 numaralı ön koşulda (10,83±0,01 µg/kg) bulunmuştur. Son olarak, o-salisilik asit en yüksek seviyede 2 numaralı ön koşulda (55,70±0,08 µg/kg), en düşük seviyede ise 11 numaralı ön koşulda (20,62±3,17 µg/kg) gözlenmiştir.

Borjan vd. (2022) araştırmasında kırmızı pancar ekstraktlarında protokateşuik asidin tüm pancar ekstraktlarında en bol bulunan fenolik asit olduğu, bunu klorojenik asit, kafeik asit ve kumarik asidin izlediğini bildirmişlerdir.

Çizelge 4.7. Kırmızı pancar pestillerde UPLC-ESI-MS/MS ile belirlenen fenolik asit ve diğer polifenollerin içeriğindeki değişimler (µg/kg)

Ön işlem koşulları	Klorojenik asit	Ferulik asit	Kafeik asit	o-salisilik asit	p-kumarik asit	Vanilin
Kontrol	56274,93±719,86^{b}	259,72±4,68^{c}	19,93±0,66^{e}	42,51±0,59^{cd}	34,14±1,95^{b}	234,86±6,03^{d}
1	46783,23±414,76^{d}	432,22±13,82^{a}	54,93±2,05^{a}	42,86±2,48^{cd}	48,93±3,23^{a}	554,20±36,88^{a}
2	53430,91±477,30^{bc}	245,37±11,01^{cd}	24,89±0,62^{c}	55,70±0,08^{a}	46,43±0,35^{a}	223,83±1,53^{d}
3	16351,71±329,13^{g}	128,70±0,76^{f}	13,47±0,99^{fg}	47,83±0,37^{b}	21,86±0,27^{d}	143,64±1,79^{g}
4	19001,83±192,20^{g}	184,90±7,45^{e}	13,63±0,61^{f}	46,74±0,28^{bc}	20,56±2,96^{de}	177,14±0,29^{f}
5	51236,94±383,32^{c}	335,03±5,99^{b}	25,01±0,29^{c}	38,41±0,83^{d}	45,74±3,12^{a}	310,37±19,14^{c}
6	92638,67±1077,40^{a}	337,86±14,74^{b}	37,88±0,20^{b}	51,44±4,76^{ab}	49,84±5,48^{a}	209,86±6,00^{de}
7	25139,23±1928,66^{f}	172,86±6,31^{e}	11,33±0,21^{gh}	24,43±0,39^{f}	24,44±0,28^{cd}	167,57±5,77^{fg}
8	41683,02±2151,84^{e}	317,55±12,90^{b}	20,83±0,48^{e}	29,55±3,55^{e}	38,66±0,10^{b}	181,45±2,93^{ef}
9	23426,25±490,18^{f}	222,84±1,44^{d}	10,83±0,01^{h}	23,97±2,54^{f}	16,59±2,44^{e}	164,54±5,80^{fg}
10	45136,42±3556,85^{d}	324,02±35,34^{b}	21,82±2,51^{de}	29,95±1,64^{e}	27,98±2,27^{c}	211,68±25,36^{de}
11	45449,35±1449,61^{d}	179,25±1,79^{e}	23,08±0,04^{cd}	20,62±3,17^{f}	27,1±0,08^{c}	362,36±12,93^{b}

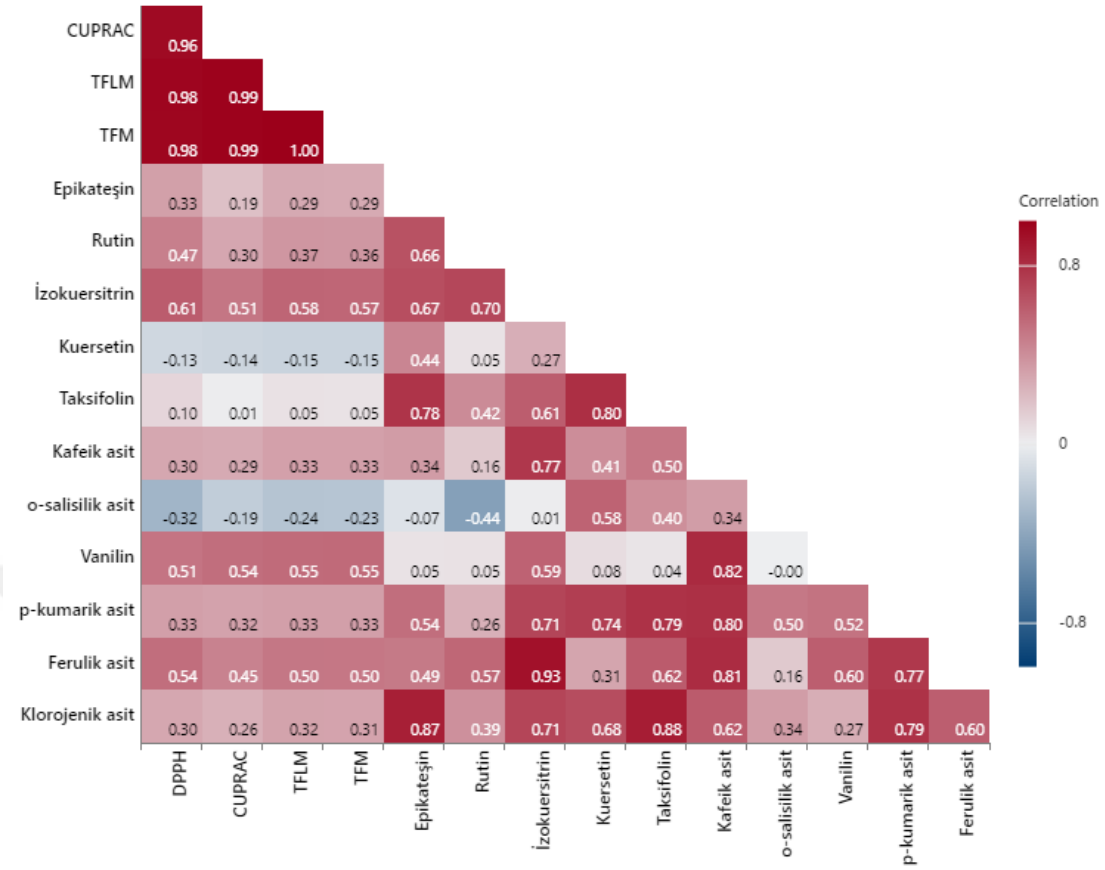
Sütunlardaki farklı harfler istatistiksel olarak önemli farklılıkları temsil etmektedir ($p<0,05$).

Kontrol koşuluna göre uygulanan ön işlem koşullarının yaptığı etki irdelendiği zaman kafeik asit için %4-175, o-salisilik asit bileşeninde %0,8-31, vanilin bileşeni %32-135, p-kumarik asit bileşeni %13-45 ve ferulik asit bileşeni %22-66 oranında artış sağlanmıştır. Ayrıca klorojenik asit bileşeni 6 numaralı ön koşulda %64 oranında artış gözlenmiştir. Diğer taraftan kafeik asit bileşeni için kontrol koşullarına göre %31-45 arasında bir azalış meydana geldiği saptanmıştır. Aynı şekilde o-salisilik asit %9-51, vanilin %4-38, p-kumarik asit %18-51, ferulik asit bileşeni %5-50 ve klorojenik asit bileşeninde ise %5-70 oranında azalma olduğu saptanmıştır. Elde edilen bu sonuçları genel bir ifadeyle açıklandığı zaman farklı ön işlem üretim koşullarının fenolik asitler ve diğer biyoaktif bileşenlerinde önemli farklılıklar olduğunu ($p<0,05$) ortaya koymuştur.

Yapılan başka bir çalışmada pancar posası ekstraktlarda fenolik bileşen analizi yapılmıştır. Sonuç olarak protokateşuik asit, gallik asit, klorojenik asit, ferulik asit, kafeik asit ve kumarik asidi tespit etmişlerdir (Tumbas Šaponjac vd., 2016). Vulic vd. (2012) tarafından yapılan çalışmada dört pancar çeşidinde protokateşuik, kafeik ve ferulik asitlerin varlığını bildirmiştir; pancar posalarındaki fenolik madde içeriği 1,87 mg/g ila 11,98 mg/g arasında değişmektedir.

4.7.3. Korelasyon katsayısı

Bireysel fenolikler ve toplam fenolik içerik ile antioksidan kapasite arasındaki korelasyon katsayısı Şekil 1'de gösterilmiştir. Kırmızı pancar pestillerin antioksidan kapasitesinin belirlenmesinde fenolik içeriğin önemini doğrulamak için, iki farklı yöntemle ölçülen antioksidan kapasite ile toplam fenolik içerik arasında bir Pearson korelasyonu gerçekleştirilmiştir (Şekil 4.11). TFM, DPPH ve CUPRAC yöntemleri ile değerlendirilen antioksidan aktivite ile yüksek düzeyde korelasyon göstermiştir ($0.98 \leq r \leq 0.99$). Karşılaştırılabilir doğrusal korelasyonlar Straus vd. (2012) ve Sawicki vd. (2016) tarafından yapılan çalışmalarda da gözlemlenmiştir. Fenolik bileşikler antioksidan aktivite gösterebilir ve çeşitli hastalıkların önlenmesine yardımcı olabilir. Bu bağlamda, toplam fenolik içerik, araştırma yönteminden bağımsız olarak, farklı ön işlem içeren kırmızı pancar pestillerin antioksidan kapasitesinin büyük ölçüde belirleyicisidir (Olumese & Oboh, 2016). TFLM, DPPH ve CUPRAC yöntemleri ile değerlendirilen antioksidan aktivite ile yüksek düzeyde korelasyon göstermiştir ($0.98 \leq r \leq 0.99$). Farklı antioksidan testleri arasındaki korelasyon katsayısındaki değişkenlik, genel antioksidan kapasitenin kapsamlı bir değerlendirmesinin tek bir testle yapılamayacağını göstermektedir. Bu nedenle sonuçların tam olarak yorumlanabilmesi için farklı mekanizmalar kullanılarak çoklu analizlerin yapılması önerilmektedir (Apak vd., 2016). Ek olarak önceki araştırmalar, Folin-Ciocalteu tekniğinin toplam fenolik içerik analizine özel olmayabileceğini, çünkü bazı indirgeyici ajanların analize müdahale edebileceğini ve fenolik konsantrasyonun fazla tahmin edilmesine yol açabileceğini göstermiştir (Çapanoğlu vd. 2018). Diğer çalışmalarla tutarlı olarak toplam fenolik içerik ile toplam antioksidan kapasite arasında pozitif bir korelasyon gözlemlenmiştir.



Şekil 4.12. Kırmızı pancar pestillerinde bireysel fenolik ve TAK, TFM ve TFLM arasındaki pearson korelasyon katsayısı

Çalışma sonucunda, antioksidan kapasiteye esas olarak hangi fenolik bileşiklerin katkıda bulunduğu açık değildir. Bu çalışmada, izokuersitrin, vanilin ve ferulik asit DPPH testi ile belirlenen antioksidan kapasite ile orta düzeyde korelasyon gösterdiği bulunmuştur ($0.51 \leq r \leq 0.61$). Epikateşin, rutin, kafeik asit, p-kumarik asit, ve klorojenik asidin DPPH testi ile belirlenen antioksidan kapasite ile zayıf pozitif korelasyon gösterdiği bulunmuştur ($0.30 \leq r \leq 0.47$). Kuersetin ve o-salisik asit ise düşük bir negatif korelasyon bulunmuştur ($0.13 \leq r \leq 0.32$). CUPRAC testinde ise izokuersitrin ve vanilin orta düzeyde korelasyon göstermiştir ($0.51 \leq r \leq 0.54$). Rutin, kafeik asit, p-kumarik asit, ferulik asit ve klorojenik asit ise düşük düzeyde pozitif korelasyon göstermiştir ($0.26 \leq r \leq 0.45$). Kırmızı pancarın ana fenolik bileşik türleri tanımlanmıştır. Ancak, doğal olarak oluşan bileşikler arasında 4000'den fazla flavonoid türü olduğu bilinmektedir (Iwashina, 2000). Bu nedenle, kırmızı pancar pestillerin fenolik bileşiklerin kimyasal bileşimi ile antioksidan kapasiteleri arasındaki ilişkiyi belirlemek için daha fazla araştırmaya ihtiyaç vardır.

4.8. Hidroksimetilfurfural (HMF) analiz sonuçları

Hidroksimetilfurfural (HMF), pek çok gıda ürününde bulunan ve hem yararlı (antioksidan, anti-kanserojen, anti-alerjen, anti-enflamatuar ve anti-mikrobiyal) hem de zararlı (kanserojen, genotoksik, mutajenik ve organotoksik) sağlık etkilerine sahip bir bileşiktir. HMF, yüksek sıcaklıklarda gerçekleşen karamelizasyon ve Maillard reaksiyonları sonucunda oluşur ve gıdaların yüksek sıcaklıkta işlenmesi neticesinde ısıl işlem etkisinin bir indikatörü olarak kabul edilir (Tontul, 2017; Hidalgo vd., 2018). Türk Standartları Enstitüsü'ne (Üzüm pestili, TS12680) göre pestilin HMF seviyesi 50 mg/kg'ın altında olmalıdır (TS, 2000a). Kırmızı pancar pestillerinde tespit edien HMF miktarı Çizelge 4.8'de sunulmuştur.

Çizelge 4.8. HMF analiz sonuçları

1.Ön İşlemler (dk)						2.Kurutma (dk)	1+2 (dk)	HMF (mg/kg)
Ön İşlem	Haşlama (A)			Koyulaştırma (B)	A+B (dk)			
	Açık Kazan	*Termosonifikasyon*	*Mikrodalga*					
Kontrol	15	0	0	120	135	97	232	282,01±5,85^{a}
1	0	30	0	78	108	93	201	100,07±4,13^{c}
2	0	45	0	58	103	87	190	25,73±0,92^{e}
3	0	30	10	60	100	91	191	120,05±0,2^{b}
4	0	45	10	30	85	75	160	70,71±0,50^{d}
5	15	0	0	78	88	120	208	2,23±0,40^{f}
6	0	30	0	27	57	120	177	<LOQ
7	0	45	0	6	51	83	134	0,31±0,06^{f}
8	0	30	10	6	46	95	141	<LOQ
9	0	45	10	4	59	75	134	<LOQ
10	0	45	0	0	45	120	165	1,09±0,10^{f}
11	0	45	10	0	55	75	130	<LOQ

Sütunlardaki farklı harfler istatistiksel olarak önemli farklılıkları temsil etmektedir (p<0,05).
<LOQ: Analitik metodun tayin limitinin altında tespit edilmiştir.

Çizelge 4.7'de belirtildiği üzere, kırmızı pancar pestillerinin içerdiği hidroksimetilfurfural (HMF), Kontrol şartlarında en yüksek seviyeye (282,01±5,85 mg/kg) ulaşırken ve 5 ile 11. Koşullarda LOQ ile 2,23 mg/kg aralığında tespit edilmiştir. Bu sonuçlar, termosikasyon ve mikrodalga hibrit ön işlemleri sayesinde koyulaştırma sürecindeki ısıl işlem süresinin azalması ile HMF miktarında bir düşüş sağlandığını ortaya koymaktadır.

Ayrıca koyulaştırma işlem süresinin azaltılması kurutma işlemine giren herlenin 40 Bx olan suda çözünür kuru madde miktarı (Kontrol ve 1.-4. Koşulları), 5.-9. Koşullarda 20 Bx'e indirilmiştir. Ayrıca 10. ve 11. Koşullarda koyulaştrma işlemi bertaraf edilerek pestil üretimi gerçekleştirilmiştir. Isıl işlem süresini azaltmak için proses sırasında yapılan tüm bu optimizasyon işlemleri nihai pestil ürününün HMF miktarını metodun LOQ seviyesine kadar düşürmüştür.

Benzer şekilde, literatürde yapılan diğer çalışmalar da ultrasonikasyon ve mikrodalga (Çetin ve Sağlam, 2022) ile termosonikasyon (Pedreschi vd., 2021) işlemlerinin son üründeki HMF miktarında azalmaya yol açtığını ortaya çıkmıştır.

Literatürde kırmızı pancar pestillerin HMF seviyesinin incelendiği bir çalışmaya rastlanmamıştır, ancak pestil ve pekmezlerin içerdiği HMF seviyelerine dair bir çok çalışma mevcuttur. Yıldırım (2008) tarafından Kırklareli ilinde geleneksel olarak üretilen pancar pekmezlerinin bazı kimyasal kalite özelliklerinin belirlenmesi amacıyla gerçekleştirilen çalışmada, 10 ayrı üreticiden 15 gün aralıklarla üç kez örnek toplanmış ve ortalama HMF değeri 231,76 mg/kg olarak ölçülmüştür. Boz vd. (2016) tarafından yapılan bir çalışmada, dut pestillerinin HMF içeriği 67,92–140,42 mg/kg aralığında bulunmuş olup, HMF miktarlarının pişme süresi ile sakkaroz ve glikoz şurubu kullanımından önemli ölçüde etkilendiği belirtilmiştir. Araştırmacılar, dut pestillerinin HMF içeriğinin glikoz ve sakkaroz şurubu ilavesiyle önemli ölçüde azaldığını, ancak pişirme süresinin artmasıyla birlikte HMF miktarının da arttığını bildirmiştir. Tontul ve Topuz, (2017) araştırmasında nar pestilinin farklı kurutma teknikleri ile üretiminde HMF düzeylerini 7,89–333,33 mg/kg olarak rapor etmişlerdir. Keçiboynuzu unu ikamesi ile üretilen dut pestillerinin HMF değerleri 11,62–26,55 mg/kg, keçiboynuzu unu ikamesi ile üretilen hurma pestillerinin HMF değerleri ise 94,61–123,71 mg/kg aralığında tespit edilmiştir (Nakilcioğlu-Taş vd., 2018). Bir başka çalışmada hindistan cevizi unu ile zenginleştirilmiş dut pestillerinin HMF değerleri ise 11,64–21,55 mg/kg aralığında olduğu bildirilmiştir (Yüksel vd., 2020). Özkan-Karabacak (2021) çalışmasında, havuç+domates, havuç+kırmızıbiber ve havuç pestili örneklerinde HMF miktarlarını sırasıyla 111,65–289,24 mg/kg, 71,63–620,84 mg/kg ve 99,28–297,91 mg/kg aralıklarında tespit ettiğini belirtmiştir. Farklı kurutma teknikleri (sıcak hava, vakum ve mikrodalga kurutma) ile balkabağı pestillerin HMF içerikleri incelenmiştir. Pestillerin

sonuçları 29,73-115,86 mg/kg arasında tespit edilmiştir. Çalışmada üründeki HMF konsantrasyonu kurutma sıcaklığı, işleme süresi, oksijenin varlığı veya yokluğu ve manyetik dalgalar gibi faktörlerden etkilendiğini vurgulamıştır (Özkan Karabacak, 2023). Kayısı pestilinin fizikokimyasal özelliklerinin araştırıldığı bir başka çalışmada, kurutma işlemleri güneşte, 55°C'de vakumda ve 90 W gücünde mikrodalgada gerçekleştirilmiştir. Pestil örneklerinin HMF içeriği kurutma yöntemine göre farklılık göstermiş olup, mikrodalgada kurutulan örneklerde 13,62 mg/kg, vakumda kurutulan örneklerde 19,39 mg/kg ve güneşte kurutulan örneklerde 45,64 mg/kg olarak belirlenmiştir (Suna, Tamer, İncedayı, Özcan Sinir ve Çopur, 2014).

Literatürde yapılan çalışmalarda raporlanan HMF seviyeleri arasındaki bu farklılığın temel olarak üretimde kullanılan hammadde, formülasyon ve kurutma şartlarından kaynaklandığı düşünülmektedir.

4.9. Mineral madde analiz sonuçları

Kırmızı pancar pestili örneklerine ait mineral madde analiz sonuçları Çizelge 4.9'da verilmiştir. Kırmızı pancar pestili örneklerinin en yüksek Na içeriği, 6 numaralı ön işlem koşulunda (2047,66 ±12,36 mg/kg) elde edilmiştir. En düşük Na içeriği ise Kontrol (850,0±0,01 mg/kg) koşulunda tespit edilmiştir. 2 numaralı koşul ise en yüksek Mg içeriğine (545,33 ±3,60 mg/kg) sahip iken, en düşük Mg içeriğine (259,34±1,37 mg/kg) 8 numaralı koşul sahip olmuştur. Pestillerin P seviyeleri, 487,30±16,20 (8. Koşul) ile 913,42±13,76 (1. Koşul) arasında elde edilmiştir. K, 8. ve 11. Koşullarda en düşük ve yüksek seviyelerde 3485,38±6,72 mg/kg ve 7955 7955,00±305,00 mg/kg olarak tespit edilmiştir. Ca seviyesi Kontrol, 2 ve 11 numaralı ön işlem koşulları için en yüksek seviyede tespit edilmiştir ve kendi aralarında istatistiksel olarak fark gözlenmemiştir ($p>0,05$). 8 ve 9 numaralı ön işlem koşulları ise en düşük Ca içerdiği tespit edilmiştir. 2 numaralı koşul, en yüksek Mn (3,15±0,06 mg/kg), Fe (8,50±0,53 mg/kg) ve Zn (5,01±0,05 mg/kg) içeriklerine sahip olduğu gözlenmiştir.

Çizelge 4.9. Kırmızı pancar pestili örneklerinin mineral madde içerikleri (mg/kg)

Ön İşlem Koşulları	Na	Mg	P	K	Ca	Mn	Fe	Zn
Kontrol	850,01±0,01^{g}	397,95±8,74^{c}	592,80±26,70^{def}	7280,10±69,70^{ab}	113,33±1,44^{a}	1,24±0,05^{h}	5,39±0,05^{cd}	2,95±0,04^{de}
1	1124,10±34,70^{f}	402,99±3,62^{c}	913,42±13,76^{a}	4308,00±19,61^{cde}	91,75±1,34^{b}	1,58±0,01^{fg}	7,69±0,54^{ab}	4,07±0,01^{b}
2	1213,50±20,40^{ef}	545,33±3,60^{a}	1006,30±18,10^{a}	5725,98±10,87^{cde}	114,52±1,81^{a}	3,15±0,06^{a}	8,50±0,53^{a}	5,01±0,05^{a}
3	1589,30±28,20^{bc}	302,08±0,25^{e}	638,74±3,31^{cde}	6208,70±45,20^{abcd}	84,85±1,30^{c}	1,46±0,02^{g}	6,09±0,06^{bc}	2,31±0,24^{c}
4	1636,50±59,10^{b}	387,9±14,9^{c}	790,10±72,70^{b}	6792,00±142,00^{ab}	92,95±2,66^{b}	2,10±0,09^{c}	7,13±0,04^{bc}	3,41±0,12^{cd}
5	1271,46±2,18^{e}	437,04±2,14^{b}	953,15±12,72^{a}	6126,06±10,3^{2abcd}	93,24±1,45^{b}	1,76±0,04^{ef}	7,91±0,37^{ab}	3,55±0,25^{c}
6	2047,66±12,36^{a}	360,42±0,75^{d}	687,70±42,40^{bcd}	6143,80±33,90^{abcd}	82,84±0,57^{c}	2,42±0,01^{b}	6,28±0,17^{bc}	1,96±0,08^{fg}
7	1662,89±4,10^{b}	344,44±3,79^{d}	684,62±7,43^{bcd}	6439,90±34,80^{abc}	79,82±0,50^{c}	1,86±0,01^{de}	7,14±0,02^{abc}	1,94±0,03^{fg}
8	1305,09±8,08^{e}	259,34±1,37^{f}	487,30±16,20^{f}	3485,38±6,72^{e}	67,10±0,68^{d}	2,04±0,03^{cd}	5,35±1,43^{cd}	1,27±0,08^{h}
9	1469,55±3,57^{d}	280,21±0,794^{ef}	547,72±1,50^{ef}	4107,48±13,84^{de}	64,96±2,35^{d}	2,06±0,02^{c}	3,35±0,06^{d}	1,56±0,13^{gh}
10	1283,20±15,30^{e}	393,38±5,41^{c}	730,16±8,26^{bc}	5182,80±29,80b^{cde}	82,90±1,64^{c}	2,12±0,05^{c}	5,82±0,10^{bc}	2,81±0,01e
11	1488,70±49,30^{cd}	403,42±13,03^{c}	898,64±6,55^{a}	7955,00±305,00^{a}	114,48±0,98^{a}	1,48±0,04^{g}	9,03±0,71^{a}	4,47±0,01^{b}

Aynı sütunda farklı harfler ile gösterilen uygulamalar arasındaki fark istatistiksel olarak önemli düzeydedir ($p < 0,05$)

Vaitkevičienė, Sapronaitė, ve Kulaitienė (2022) tarafından yapılan bir araştırmada, çiğ kırmızı pancar köklerinde ortalama kuru madde bazında K, P, Ca, Mg, fe ve Zn miktarlarını sırasıyla 3129 mg/100 g, 266 mg/100 g, 134 mg/100 g, 344 mg/100 g, 45,9 mg/100 g ve 24 mg/100 g olarak rapor edilmiştir. Özkan Karabacak ve Çopur (2021) tarafından yapılan bir çalışmada, 70°C sıcak hava ile kurutulmuş havuçlu kırmızı biber pestili örneklerinde mineral madde içerikleri; Na 1017,05 mg/kg, K 4198,58 mg/kg, Ca 596,16 mg/kg, Mg 274,10 mg/kg, P 553,62 mg/kg, Mn 2,08 mg/kg, Fe 8,16 mg/kg ve Zn 4,06 mg/kg olarak tespit edilmiştir. Ayrıca kırmızı pancar pestil örneklerinin tamamında sodyum (Na) seviyeleri, organik mango, şeftali ve enginar püresi içeren ev yapımı meyve pestilinde belirlenen değerden (180 mg/kg, United States Department of Agriculture, 2019a) daha yüksek, ancak ticari meyve pestilinde tespit edilen değerden (3170 mg/kg) daha düşük bulunmuştur (United States Department of Agriculture (USDA), 2019b). Diğer taraftan kırmızı pancar pestillerinin tespit edilen diğer mineral seviyeleri USDA raporunda (USDA, 2019c) bildirilen meyve pestili (K: 1640 mg/kg, Ca: 180 mg/kg, Mg: 140 mg/kg, P: 240 mg/kg ve Mn: 1,84 mg/kg) seviyelerinden daha yüksek bulunmuştur. Özetle, bu çalışma kapsamında üretilen kırmızı pancar pestili örneklerinin hammaddeye bağlı olarak özellikle Ca, K, Na, P ve Mg gibi mineraller bakımından zengin bir içeriğe sahip olduğu belirlenmiştir. Uygulanan analiz yöntemi, çoklu elementlerin tespit ve miktar tayinine olanak sağladığı için minerallerin yanı sıra diğer elementlerin varlığı da değerlendirilmiştir. Bu kapsamda, pestillerde Zn, Fe ve Mn, elementlerinin tespit edildiği saptanmıştır. Ayrıca, elde edilen sonuçların literatürde yapılan çalışmalarla uyumlu olduğu ve yukarıda belirtildiği üzere bazı çalışmalarda elde edilen sevieyelere kıyasen daha yüksek olduğu sonucuna varılmıştır (Çağındı ve Ötleş, 2005; Özkan-Karabacak ve Çopur, 2020; Göncü, Kuzumoğlu ve Çelik, 2022).

Protein sentezinde önemli bir rol oynayan fosfor (P), enzim aktiviteleri, vücuttaki su dengesinin korunması ve sindirim salgılarının üretiminde kritik bir öneme sahiptir (İncedayi, Tamer, Sinir, Suna ve Çopur, 2016). Kalsiyum (Ca) ise kemik ve diş yapısının temel bileşeni olarak iskelet sisteminin güçlenmesini sağlar; hücre duvarlarının stabilitesi, oluşumu ve geçirgenliği için gereklidir. Magnezyum (Mg) enzim aktivasyonu için elzemdir ve demir (Fe), elektron taşınımı, enzim aktivasyonu ve klorofil sentezinde rol alır (Awolu, Okedele, Ojewumi, ve Oseyemi, 2018). Kırmızı pancar pestilinde tespit

edilen tüm diğer minerallerin de bağışıklık sistemi ve metabolizma üzerinde olumlu etkilere sahip olduğu literatürde raporlandığından (Awolu vd., 2018), bu koşullarda işlenmiş pestillerin mineral içeriği bakımından fonksiyonel özelliğinin yüksek olduğu sonucuna varılmıştır.

Açık kazanda haşlama işlemine (kontrol koşulu) alternatif olarak uygulanan termosonikasyon ve mikrodalga uygulamalarının kırmızı pancar pestillerinin mineral sevieylerine yaptığı etki irdelendiği zaman Na için %32-140 ve Mn'da %17-154 oranında bir artış sağlandığı gözlenmiştir. Diğer taraftan K için Kontrol koşullarına göre %11-52 arasında bir azalış meydana geldiği gözlenmiştir. Elde edilen bu sonuçlara göre farklı ön işlem üretim koşullarının mineral içeriklerinde (Çizelge 4.9) önemli farklılıklar yarattığı ($p<0,05$) sonucunu ortaya koymuştur. Ayrıca ön işlem koşullarının özelliğine ve minerallerin kimyasal yapısına göre bu etkilerin farklı olabileceği de gözlenmiştir. Örneğin termosonifikasyon işlem süresinin 30 dk'dan 45 dk'ya artırılması pestillerin Na seviyelerini %19-44 oranında artırırken, Fe içeriklerinde %32-44 oranında azalmasına neden olmuştur Sonuç olarak kırmızı pancar pestili üretiminde uygulanan farklı işlem koşullarının mineral içeriklerini önemli ölçüde etkilediği belirlenmiş olup, bu durum pestilin besin değeri açısından optimize edilmiş üretim koşullarının önemini ortaya koymuştur.

Literatürde pestil üretiminde termosonifikasyon/ultrasonikasyon ve mikrodalga ön işlemlerinin kullanıldığı ve bu işlemlerin elde edilen ürünlerin mineral madde içeriklerine olan etkileri raporlanmamıştır. Ancak yapılan diğer proseslerde bu ilemlerin etkisi irdelenmiştir. Er (2011), suda haşlama ve mikrodalga işlemi gibi iki farklı ön işlem uygulanan kırmızı pancar örneklerinin 50, 60, 70 ve 80 ºC sıcaklıklarda kurutularak mineral içerikleri üzerine etkilerini incelenmiştir. 70 ºC sıcaklıkta kurutmanın en iyi sonuçlar verdiği gözlenmiş ve haşlama sonrası kurutulmuş örneklerde Ca içeriğini 1157,1 ppm, 600 W mikrodalga ön haşlama sonrası kurutulmuş örneklerde ise 1141,4 ppm olarak tespit etmiştir. Aynı çalışmada, K içerikleri sırasıyla 16138 ppm ve 14610 ppm; Fe içeriği 51,48 ppm ve 46,99 ppm; Na içerikleri ise 4326,7 ppm ve 2866,4 ppm olarak bulunmuştur. Bu çalışma kapsamında da benzer şekilde mikrodalga işlemi sonrasında mineral madde miktarlarında azalma gözlemlenmiştir. Aadil vd. (2015)'nin yaptığı bir çalışmada ultrason uygulanan tüm greyfurt suyu örneklerinde Na, K, Ca ve Zn

seviyelerinde anlamlı bir artış olduğu gözlenirken Mg seviyesinde ise anlamlı bir azalma olduğu kaydedilmiştir. Kontrol grubuna kıyasla, 90 dakika boyunca işleme tabi tutulan örneklerin mineral elementler için en yüksek değerlere ulaştığı sonucuna varılmıştır.
Demirok ve Yıkmış (2022) tarafından yapılan bir araştırmada ultrason-mikrodalga işleminden sonra, kontrol meyve suyu örneğine kıyasla ürürünün Zn, Mg, Na ve Cu içeriklerinde önemli artışlar tespit edilmiştir. Mineral maddelerdeki değişimin ana nedeni olarak ultrason uygulamasında ortaya çıkan kavitasyon olduğu bildirilmiştir. Ayrıca benzer şekilde Erdal, Yıkmış, Demirok, Bozgeyik ve Levent (2022) tarafından gerçekleştirilen bir araştırmada gilaburu sirkesi örneklerine ultrason-mikrodalga işlemi uygulandığında ürünlerin mineral içeriklerinde ortaya çıkan değişimler bu çalışma kapsamında elde edilenlerle uyumlu olduğu sonucuna varılmıştır. Elde edilen tüm bu sonuçlar irdelendiğinde uzun süreli sonikasyon işleminin, sıvıda farklı yapıların birleşimini teşvik ederek yeni türlerin oluşumuna ve sıvı fazında iyonların azalmasına neden olduğu belirtilebilir (Carvalho, Souza, Martinis ve Korn, 1995). Ayrıca sonikasyon işleminin, mineral kayıplarını azaltarak suyu homojenleştirdiği ve minerallerin hücrelerden çözeltiye geçişi, hücresel yapıdaki hasarın etkisiyle hücre içeriğindeki maddelerin aktivitesini artırabildiği de literatürde raporlanmıştır (Carcel, Benedito, SanJuan, Sanchez, 1998).

4.10. Temel bileşen analizi

Temel bileşen analizi (PCA), büyük veri kümelerinin boyutunu azaltarak sonuçların daha anlamlı bir şekilde yorumlanmasına katkıda bulunmak için kullanılmıştır. İstatistiksel analiz için tutulması gereken faktör sayısı, veri setinin yanı sıra açıklanan varyans miktarına da bağlıdır (Chaari vd., 2023).

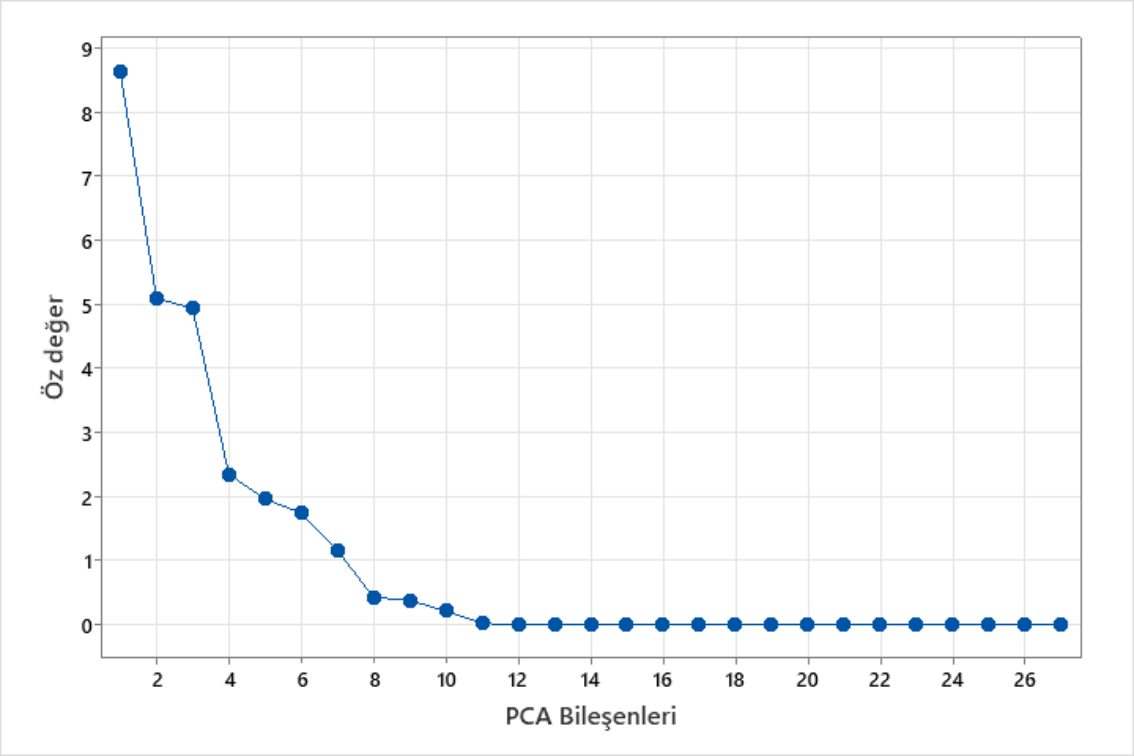
Şekil 4.14'e göre, yükleme grafiğinde her nokta bir değişkenin (TFM, TFLM, CUPRAC, DPPH bireysel fenolikler, elementler, HMF ve betalain bileşimleri) skora katkısını temsil ederken, skor grafiğinde her nokta test edilen bir örneği temsil etmektedir. Temel bileşen analizinde, analizin güvenilirliğini korumak için özdeğerleri 1.00'den büyük olan bileşenler korunmuştur (Şekil 4.13). İlk yedi temel bileşenin varyasyonların sırasıyla %32,00, %18,90, %18,30, %8,70, %7,30, %6,50 ve %4,30 açıkladığı ve varyasyonun

kümülatif oranının toplam varyansın %96.00'sına karşılık geldiği bulunmuştur (Çizelge 4.10).

PCA'da, orijinal verilerden iki temel bileşen oluşturulmuş ve varyasyonun %50,90'ını açıklamıştır (PC1-%32,00 ve PC2-%18,90).

Çizelge 4.10. Yedi temel bileşene kadar açıklanan varyans oranları

Değişkenler	PC1	PC2	PC3	PC4	PC5	PC6	PC7
Özdeğer	8,6316	5,1075	4,9434	2,3568	1,9702	1,7500	1,1656
Yüzde %	32,0	18,90	18,30	8,70	7,30	6,50	4,30
Kümülatif	32,0	50,9	69,2	77,9	85,2	91,7	96,0
DPPH	0,221	0,170	0,254	-0,128	0,096	-0,064	0,179
CUPRAC	0,218	0,237	0,213	-0,045	0,071	0,047	0,141
TFLM	0,224	0,210	0,237	-0,087	0,081	0,042	0,105
TFM	0,224	0,213	0,236	-0,084	0,078	0,043	0,105
Epikateşin	0,181	-0,246	0,115	-0,174	0,236	0,217	0,034
Rutin	0,127	-0,191	0,287	0,096	0,233	-0,066	0,082
İzokuersitrin	0,278	-0,117	0,186	-0,011	-0,083	-0,011	-0,102
Kuersetin	0,180	-0,236	-0,261	-0,042	0,032	0,086	0,130
Taksifolin	0,201	-0,321	-0,035	-0,081	-0,042	0,158	0,204
Kafeik asit	0,261	-0,071	-0,006	-0,033	-0,300	-0,036	-0,409
o-salisilik asit	0,081	-0,040	-0,273	0,057	-0,388	0,360	0,138
Vanilin	0,244	0,134	0,023	0,015	-0,145	-0,228	-0,461
p-kumarik asit	0,287	-0,141	-0,059	-0,064	-0,196	0,088	-0,007
Ferulik asit	0,263	-0,128	0,168	0,048	-0,276	-0,075	-0,024
Klorojenik asit	0,253	-0,201	-0,006	-0,114	0,064	0,317	-0,026
Na	-0,137	-0,151	-0,063	-0,494	-0,020	0,093	-0,103
Mg	0,223	0,090	-0,291	0,054	0,109	-0,062	0,212
P	0,208	0,160	-0,251	-0,147	-0,016	-0,253	0,053
K	0,013	0,224	-0,172	-0,159	0,380	0,351	-0,108
Ca	0,165	0,208	-0,257	0,093	0,227	0,175	-0,076
Fe	0,164	0,164	-0,250	-0,274	0,082	-0,148	-0,146
Zn	0,192	0,214	-0,271	0,025	0,034	-0,158	-0,024
Mn	0,059	-0,228	-0,287	0,063	0,029	-0,308	0,302
Betalain	-0,126	-0,218	-0,026	-0,324	0,228	-0,011	-0,399
Betaksantin	-0,114	0,268	0,007	-0,273	-0,326	0,179	0,135
Betasiyanin	-0,140	0,186	0,077	-0,392	-0,306	0,058	0,191
HMF	0,013	0,161	-0,024	0,424	-0,064	0,450	-0,216

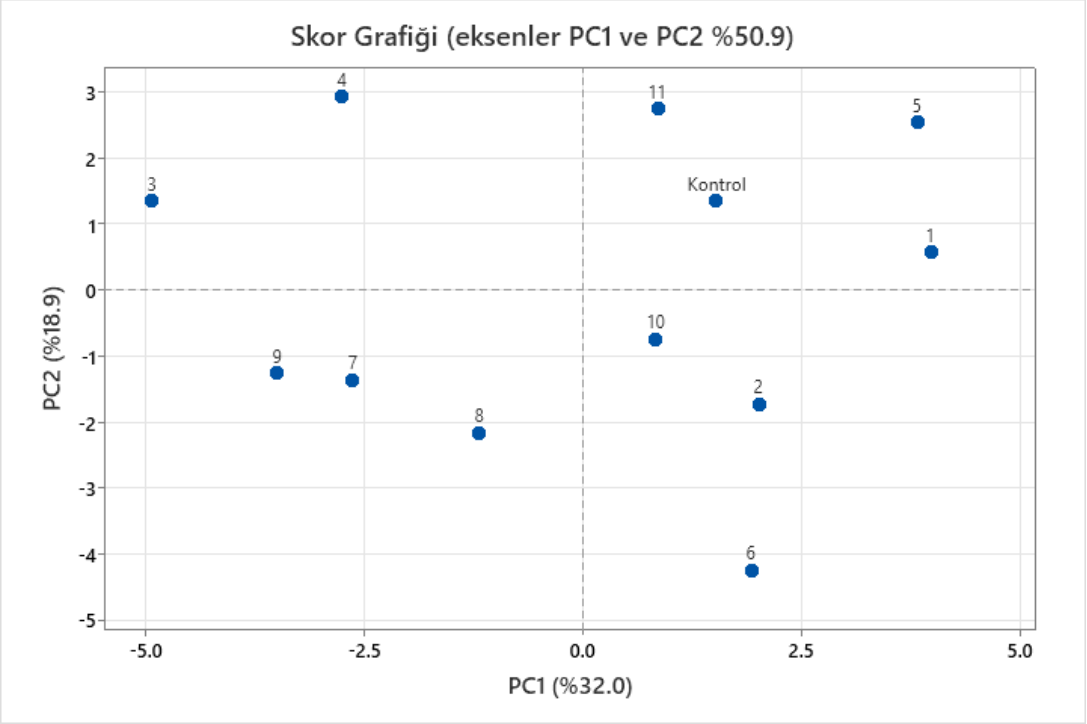


Şekil 4.13. Öz değer grafiği

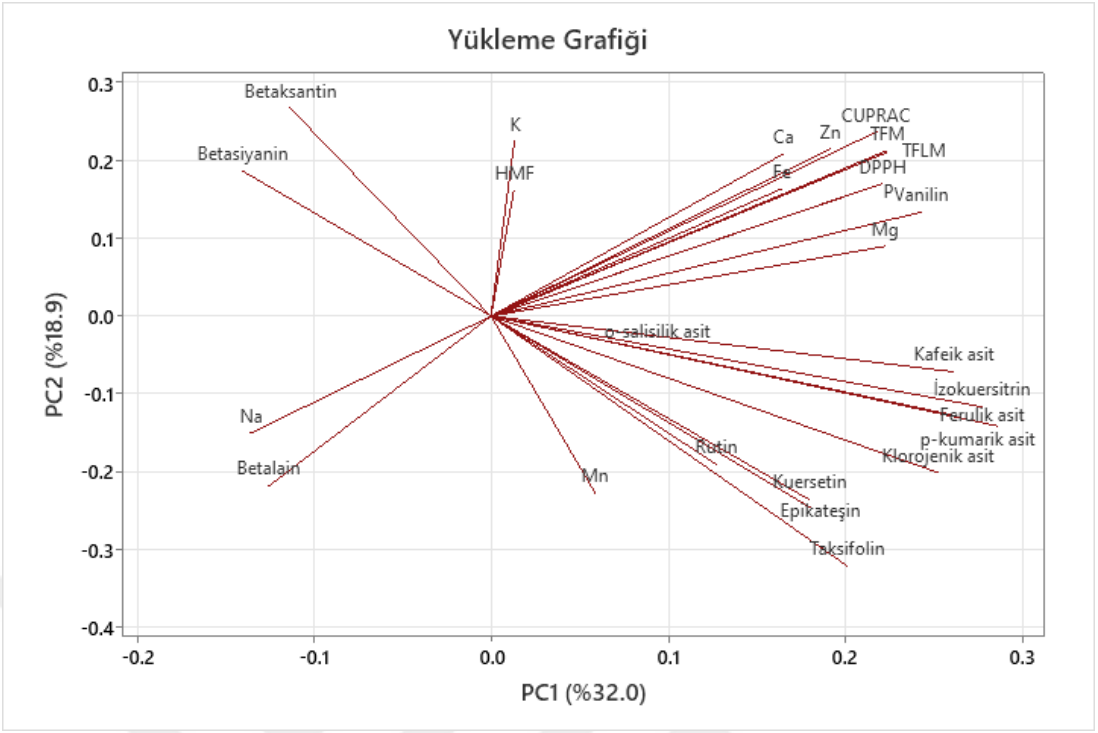
Temel bileşen 1'in (PC1), Na, betalain, betaksantin ve betasiyanin değişkenleri negatif korelasyon gösterirken diğer bileşenler pozitif korelasyon göstermiştir. PC2 düzeyinde DPPH, CUPRAC, TFLM, TFM, vanilin, Mg, P, K, Ca, Fe ve Zn bileşenleri pozitif korelasyona katkı sağlarken, diğer bileşenler ise negatif korelasyona katkı sağlamıştır. Vektör yönünde ilerledikçe ilgili öznitelik değeri artmakta ve o lokasyonda bulunan numuneler bu öznitelik ile karakterize olmaktadır. Vektörün tam tersi yönü ise bu özellik bakımından ters korelasyona işaret etmektedir.

Şekil 4.14, kırmızı pancar örneklerinin PCA analizindeki skor grafiğini sunmaktadır. Görüldüğü üzere, kontrol, 1, 5 ve 11 numaralı ön işlem koşullarına sahip kırmızı pancar örnekleri, PC1 üzerinde yoğunlaşarak yüksek bir korelasyon sergilemiştir. Bu örneklerin kimyasal bileşenlerde benzerlik gösterdiğine işaret etmektedir. Ek olarak, Şekil 4.15 incelendiğinde, 5 numaralı işlem koşulunun CUPRAC, DPPH, TFM, TFLM, vanilin, Zn, P ve Mg içeriklerinin diğer örneklere kıyasla daha yüksek olduğu tespit edilmiştir. Öte yandan, 7, 8 ve 9 numaralı işlem koşulları PC1 düzeyinde negatif katkı sağlayarak, özellikle Na ve betalain içeriklerinde yüksek değerler göstermiştir.

PC2 bileşeni üzerinde yapılan değerlendirmede, 3 ve 4 numaralı işlem koşullarının pozitif katkı sağladığı, buna karşın 2, 6 ve 10 numaralı işlem koşullarının negatif katkı sağladığı belirlenmiştir. Özellikle 4 numaralı işlem koşulunun betaksantin içeriğinde yüksek olduğu görülürken, 6 ve 10 numaralı koşullar epikateşin, kuersetin ve taksifolin bileşenlerinde daha yüksek düzeyde sonuç vermiştir. Bu bulgular, tüm değişkenler açısından önceki bölümlerde tartışılan verilerle uyumlu olup, farklı ön işlem koşullarının kırmızı pancar örneklerinin biyoaktif bileşenler üzerinde farklı etkiler yarattığını ortaya koymaktadır. PCA analizi, örneklerin kimyasal profillerini ayrıştırarak farklı bileşenlerin dağılımına ilişkin kapsamlı bir bakış açısı sunmakta olup, analiz sonuçları bu bileşenlerin belirli ön işlem koşullarına karşı duyarlılık gösterdiğini ortaya koymaktadır.



Şekil 4.14. Kırmızı pancar pestillerin PCA-skor grafiği



Şekil 4.15. Kırmızı pancar pestillerin PCA-yükleme grafiği

5. SONUÇ

Bu çalışma kapsamında, kırmızı pancar pestilinin fonksiyonel özelliklerini koruyarak kurutma sürecini optimize etmek amacıyla çeşitli ön işleme ve kurutma teknikleri denenmiş ve sonuç olarak kalite açısından yüksek değer taşıyan bir ürün geliştirilmiştir.

Araştırma, doğal elma ve tapyoka nişastası gibi bileşenlerin kullanımı ile sağlıklı ve besleyici değeri yüksek bir pestil formülasyonu geliştirmeyi mümkün kılmıştır. Elma ve tapyoka nişastasının eklenmesi, pestilin sağlık faydalarını artırarak onu fonksiyonel bir atıştırmalık haline getirmiştir. Artan tüketici talebi, bu tür inovatif pestil ürünlerinin fonksiyonel gıda pazarında yüksek bir potansiyele sahip olduğunu ortaya koymaktadır. Gelecek çalışmalarda, ürünün besin değeri ve duyusal özelliklerini daha da iyileştirmek amacıyla diğer doğal tatlandırıcılar ve kıvam artırıcıların araştırılması önerilmektedir.

Elde edilen bulgular, termosonikasyon, mikrodalga ve geleneksel haşlama yöntemlerinin kombinasyonlarının pestil üretiminde olumlu etkiler sağladığını ortaya koymuştur. Özellikle termosonikasyonun hücre yapısını zayıflatarak nem transferini hızlandırdığı ve mikrodalga ön işlemi sıcak hava ile kurutma sürecinde kütle transferini artırarak kuruma süresini önemli ölçüde azaltarak enerji verimliliğini artırmış ve pestilin besin değerini koruma konusunda etkili olmuştur. Bu hibrit ön işlemler, pestilin antioksidan kapasitesi ve biyoaktif bileşen içeriğini korumada da etkili olmuştur. Yapılan analizler, pestilin yüksek flavonoid ve toplam fenol içerikleri ile dikkat çektiğini göstermiştir. Betalain pigmentlerinin stabilitesinin desteklenmesi, kırmızı pancarın sağlık yararlarını optimize etmektedir.

Ayrıca, mineral analizi sonuçları, kırmızı pancar pestilinin Ca, K, Na, P ve Mg gibi mineraller açısından zengin olduğunu göstermiştir. Bu mineraller, sağlıklı bir diyet için önemlidir ve pestilin besin değerini artırarak onu daha çekici bir seçenek haline getirmektedir.

Alternatif ön işleme tekniklerinin kullanımı, pestilin kurutulma süresinde belirgin bir azalma sağlarken enerji verimliliğini artırarak sürdürülebilir bir üretim sürecine katkı sunmuştur. Çalışmamız, üreticilere faydalı bilgiler sunmanın yanı sıra, sağlıklı atıştırmalık endüstrisinin gelişimine katkı sağlayacak bilimsel bulgular içermektedir.

Sonuç olarak, kırmızı pancar pestil üretiminde hibrit ön işlemler, kurutma süresini azaltırken kalite parametrelerinin korunmasına ve ürünün fonksiyonelliğinin artmasına olanak tanımıştır. Bu yaklaşım, sağlıklı atıştırmalık sektöründe inovatif bir ürün ve süreç geliştirmek adına önemli bir potansiyele sahiptir.

KAYNAKLAR

Aadil, R. M., Zeng, X. A., Wang, M. S., Liu, Z. W., Han, Z., Zhang, Z. H., & Jabbar, S. (2015). A potential of ultrasound on minerals, micro-organisms, phenolic compounds, and coloring pigments of grapefruit juice. *International Journal of Food Science & Technology*, *50*(5), 1144–1150.

Abbaspour-Gilandeh, Y., Kaveh, M., Fatemi, H., & Aziz, M. (2021). Combined hot air, microwave, and infrared drying of hawthorn fruit: Effects of ultrasonic pretreatment on drying time, energy, qualitative, and bioactive compounds' properties. *Foods*, *10*(5), 1006. https://doi.org/10.3390/foods10051006

Abraham-Juárez, M. del R., Olalde-Portugal, V., Cerón-García, A., & Sosa-Morales, M. E. (2019). Hot air drying kinetics of thin layers of prickly pear fruit paste. *Sains Malaysiana*, *48*(2), 361–367. https://doi.org/10.17576/jsm-2019-4802-13

Acar, L., & Keskin, S. Ö. (2021). Kızılötesi, mikrodalga, ultrases teknolojileri ve kombinasyonları kullanılarak modifiye edilmiş doğal biyopolimerlerin çeşitli özellikleri üzerine bir derleme. *Gıda / The Journal of Food*, 785–802. https://doi.org/10.15237/gida.GD21022

Adiamo, O. Q., Eltoum, Y. A. I., & Babiker, E. E. (2019). Effects of gum arabic edible coatings and sun-drying on the storage life and quality of raw and blanched tomato slices. *Journal of Culinary Science & Technology*, *17*(1), 45–58. https://doi.org/10.1080/15428052.2017.1404535

Akan, S., Tuna Gunes, N., & Erkan, M. (2021). Red beetroot: Health benefits, production techniques, and quality maintaining for food industry. *Journal of Food Processing and Preservation*, *45*(10). https://doi.org/10.1111/jfpp.15781

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

Alam, M. R., Lyng, J. G., Frontuto, D., Marra, F., & Cinquanta, L. (2018). Effect of pulsed electric field pretreatment on drying kinetics, color, and texture of parsnip and carrot. *Journal of Food Science*, *83*(8), 2159–2166. https://doi.org/10.1111/1750-3841.14216

Aleman, R. S., Paz, G., Morris, A., Prinyawiwatkul, W., Moncada, M., & King, J. M. (2021). High protein brown rice flour, tapioca starch, and potato starch in the development of gluten-free cupcakes. *LWT*, *152*, 112326.

Al-Hilphy, A. R., Mohsen, G., Barba, F. J., Lorenzo, J. M., Al-Shalah, Z. M., & Deepak, K. V. (2021). Drying of sliced tomato (Lycopersicon esculentum L.) by a novel halogen dryer: Effects of drying temperature on physical properties, drying kinetics, and energy consumption. *Journal of Food Process Engineering*, *44*(3). https://doi.org/10.1111/jfpe.13624

Alwazeer, D., Elnasanelkasim, M. A., Çiğdem, A., Kanmaz, H., Hayaloglu, A. A., & Hancock, J. T. (2023). Hydrogen incorporation into solvents can improve the extraction of phenolics, flavonoids, anthocyanins, and antioxidants: A case-study using red beetroot. *Industrial Crops and Products*, *202*, 117005.

Ammelt, D., Lammerskitten, A., Wiktor, A., Barba, F. J., Toepfl, S., & Parniakov, O. (2021). The impact of pulsed electric fields on quality parameters of freeze-dried red beets and pineapples. *International Journal of Food Science & Technology*, *56*(4), 1777–1787. https://doi.org/10.1111/ijfs.14803

Anonim. (2020). Root vegetables: The observatory of economic complexity (OEC). *OEC World*. https://oec.world/en/profile/hs92/root-vegetables (Erişim Tarihi: 25.02.2024)

Anonim. (2021). World Integrated Trade Solution: Sugar confectionery; (excluding chewing gum, including white chocolate), not containing cocoa exports by country in 2021. *WITS World Bank*. https://wits.worldbank.org/trade/comtrade/en/country/ALL/year/2021/tradeflow/Exports/partner/WLD/product/170490 (Erişim Tarihi: 23.04.2022)

Anonim. (2022a). Beetroot powder market growth and forecast 2022-2027: Market data forecast, (ID: 4263). *Market Data Forecast*. https://www.marketdataforecast.com/market-reports/beetroot-powder-market (Erişim Tarihi: 22.04.2022)

Anonim. (2022b). Beetroot powder market growth and forecast 2022-2027: Market data forecast, (ID: 4263). *Market Data Forecast*. https://www.marketdataforecast.com/market-reports/beetroot-powder-market (Erişim Tarihi: 22.04.2022)

Anonim. (2022c). Functional food market size. *Globe Newswire*. https://www.globenewswire.com/en/newsrelease/2022/10/05/2528504/0/en/Global-Functional-Food-Market-Size-to-grow-USD-285-3-Billion-by-2030-CAGR-of-4-52.html (Erişim Tarihi: 25.12.2022)

Anonim. (2024). Türkiye İstatistik Kurumu Veri Portalı. Bitkisel üretim istatistikleri: Yumru ve kök sebzeler, 1988-2023 verileri. https://data.tuik.gov.tr/Kategori/GetKategori?p=Tarim-111 (Erişim Tarihi: 27.06.2024)

AOAC International. (2023). Official methods of analysis of AOAC International, Official Method 2005.02. Gaithersburg, MD: AOAC International.

Apak, R., Güçlü, K., Özyürek, M., & Karademir, S. E. (2004). Novel total antioxidant capacity index for dietary polyphenols and vitamins C and E, using their cupric ion reducing capability in the presence of neocuproine: CUPRAC method. *Journal of Agricultural and Food Chemistry, 52*(26), 7970–7981. https://doi.org/10.1021/jf048741x

Apak, R., Güçlü, K., Demirata, B., Özyürek, M., Çelik, S. E., Bektaşoğlu, B., & Özyurt, D. (2007). Comparative evaluation of various total antioxidant capacity assays applied to phenolic compounds with the CUPRAC assay. *Molecules, 12*(7), 1496–1547.

Apak, R., Özyürek, M., Güçlü, K., & Çapanoğlu, E. (2016). Antioxidant activity/capacity measurement. 1. Classification, physicochemical principles, mechanisms, and electron transfer (ET)-based assays. *Journal of Agricultural and Food Chemistry, 64*(5), 997–1027.

Aquino Brito Lima-Corrêa, R., dos Santos Andrade, M., da Silva, M. F. G. F., Freire, J. T., & Ferreira, M. C. (2017). Thin-layer and vibrofluidized drying of basil leaves (Ocimum basilicum L.): Analysis of drying homogeneity and influence of drying conditions on the composition of essential oil and leaf color. *Journal of Applied Research on Medicinal and Aromatic Plants, 7*, 54–63. https://doi.org/10.1016/j.jarmap.2017.05.001

Arısoy, H., Aras, İ., & Kaya, M. F. (2019). Türkiye'nin elma dış ticaretindeki bölgesel yoğunlaşma durumu. *Yüzüncü Yıl Üniversitesi Tarım Bilimleri Dergisi*, 242–252. https://doi.org/10.29133/yyutbd.477196

Awolu, O. O., Okedele, G. O., Ojewumi, M. E., & Oseyemi, F. G. (2018). Functional jam production from blends of banana, pineapple, and watermelon pulp. *International Journal of Food Science and Biotechnology*, *3*(1), 7–14.

Aydar, A. Y. (2020). Quality parameters and drying kinetics of ultrasound pretreated fermented black table olives. *Latin American Applied Research - An International Journal*, *50*(4), 271–276. https://doi.org/10.52292/j.laar.2020.492

Aydar, A. Y., Mataraci, C. E., Saglam, T. B., & Yilmaz, T. (2022). Effect of ultrasound pre-treatment on drying kinetics and quality properties of Jerusalem artichoke. *Latin American Applied Research - An International Journal*, *52*(2), 77–82. https://doi.org/10.52292/j.laar.2022.750

Azeredo, H. M. C., Brito, E. S., Moreira, G. E. G., Farias, V. L., & Bruno, L. M. (2006). Effect of drying and storage time on the physico-chemical properties of mango leathers. *International Journal of Food Science and Technology*, *41*(6), 635–638. https://doi.org/10.1111/j.1365-2621.2005.01120.x

Azeredo, H. M. (2009). Betalains: Properties, sources, applications, and stability–a review. *International Journal of Food Science & Technology*, *44*(12), 2365-2376.

Babarykin, D., Smirnova, G., Pundinsh, I., Vasiljeva, S., Krumina, G., & Agejchenko, V. (2019). Red beet (*Beta vulgaris*) impact on human health. *Journal of Biosciences and Medicines*, *7*(3), 61–79. https://doi.org/10.4236/jbm.2019.73007

Babu, A. K., Kumaresan, G., Raj, V. A. A., & Velraj, R. (2018). Review of leaf drying: Mechanism and influencing parameters, drying methods, nutrient preservation, and mathematical models. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, *90*, 536–556. https://doi.org/10.1016/j.rser.2018.04.002

Bahriye, G., Dadashi, S., Dehghannya, J., & Ghaffari, H. H. (2023). Influence of processing temperature on production of red beetroot powder as a natural red colorant using foam-mat drying: Experimental and modeling study. *Food Science and Nutrition*, *11*(11), 6955–6973.

Baltacıoğlu, H., Türk, E. M., & Doğanay, G. (2024). Termosonikasyon işleminin elma suyunda enzim aktivitesi ve fenolik bileşiklere etkisi: FTIR ve HPLC çalışması. *Turkish Journal of Agriculture-Food Science and Technology*, *12*(1), 72–82.

Bao, T., Hao, X., Shishir, M. R. I., Karim, N., & Chen, W. (2021). Cold plasma: An emerging pretreatment technology for the drying of jujube slices. *Food Chemistry*, *337*, 127783. https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2020.127783

Bao, G., Tian, Y., Wang, K., Chang, Z., Jiang, Y., & Wang, J. (2024). Mechanistic understanding of the improved drying characteristics and quality attributes of lily (Lilium lancifolium Thunb.) by modified microstructure after pulsed electric field (PEF) pretreatment. *Food Research International*, 114660.

Barba-Espin, G., Glied-Olsen, S., Dzhanfezova, T., Joernsgaard, B., Lütken, H., & Müller, R. (2018). Preharvest application of ethephon and postharvest UV-B radiation improve quality traits of beetroot (*Beta vulgaris* L. ssp. *vulgaris*) as source of colourant. *BMC Plant Biology*, *18*, Article 316. https://doi.org/10.1186/s12870-018-1556-2

Barman, M., Das, A. B., & Badwaik, L. S. (2021). Effect of xanthan gum, guar gum, and pectin on physicochemical, color, textural, sensory, and drying characteristics of kiwi fruit leather. *Journal of Food Processing and Preservation*, *45*(5). https://doi.org/10.1111/jfpp.15478

Barutçu Mazı, I., Tekin, E., & Türe, H. (2018). Askorbik asit ilavesinin kırmızı pancar (*Beta vulgaris* L.) betasiyaninlerinin bozunma kinetiği üzerine etkilerinin

incelenmesi. *Uludağ University Journal of The Faculty of Engineering, 23*(2), 217–232. https://doi.org/10.17482/uumfd.371118

Basiony, M., Saleh, A., Hassabo, R., & others. (2023). The effect of using pomegranate and strawberry juices with red beet puree on the physicochemical, microbial and sensory properties of yoghurt. *Food Measure*, *17*, 5024–5033. https://doi.org/10.1007/s11694-023-01984-8

Bassey, E. J., Cheng, J.-H., & Sun, D.-W. (2021). Novel nonthermal and thermal pretreatments for enhancing drying performance and improving quality of fruits and vegetables. *Trends in Food Science & Technology, 112*, 137–148. https://doi.org/10.1016/j.tifs.2021.03.045

Bilişli, A. (2015). *Gıda kimyası* (3rd ed.). Sidas Medya Ltd. Şti.

Bondonno, N. P., Bondonno, C. P., Ward, N. C., Hodgson, J. M., & Croft, K. D. (2017). The cardiovascular health benefits of apples: Whole fruit vs. isolated compounds. *Trends in Food Science & Technology, 69*, 243–256. https://doi.org/10.1016/j.tifs.2017.04.012

Borjan, D., Šeregelj, V., Andrejč, D. C., Pezo, L., Šaponjac, V. T., Knez, Ž., ... & Marevci, M. K. (2022). Green techniques for preparation of red beetroot extracts with enhanced biological potential. *Antioxidants, 11*(5), 805.

Boz, H., Karaoğlu, H. H., & Kaban, G. (2016). The effects of cooking time and sugar on total phenols, hydroxymethylfurfural, and acrylamide content of mulberry leather (pestil). *Quality Assurance and Safety of Crops & Foods, 8*(4), 493–500. https://doi.org/10.3920/QAS2014.0558

Bozkır, H. (2020). Mikrodalga ve termosonikasyon haşlama yöntemleri ile patatesin haşlanması ve kalite özelliklerinin belirlenmesi. *Gıda / The Journal of Food*, 917–928. https://doi.org/10.15237/gida.GD20065

Bozkır, H., Rayman Ergün, A., Tekgül, Y., & Baysal, T. (2019a). Ultrasound as pretreatment for drying garlic slices in microwave and convective dryer. *Food Science and Biotechnology, 28*(2), 347–354. https://doi.org/10.1007/s10068-018-0483-1

Bozkır, H., Rayman Ergün, A., Serdar, E., Metin, G., & Baysal, T. (2019b). Influence of ultrasound and osmotic dehydration pretreatments on drying and quality properties of persimmon fruit. *Ultrasonics Sonochemistry, 54*, 135–141. https://doi.org/10.1016/j.ultsonch.2019.02.006

Cagindi, O., & Otles, S. (2005). Comparison of some properties on the different types of pestil: A traditional product in Turkey. *International Journal of Food Science & Technology, 40*(8), 897–901.

Calín-Sánchez, Á., Figiel, A., Hernández, F., Melgarejo, P., Lech, K., & Carbonell-Barrachina, Á. A. (2013). Chemical composition, antioxidant capacity, and sensory quality of pomegranate (*Punica granatum* L.) arils and rind as affected by drying method. *Food and Bioprocess Technology, 6*(7), 1644–1654. https://doi.org/10.1007/s11947-012-0790-0

Calín-Sánchez, Á., Lipan, L., Cano-Lamadrid, M., Kharaghani, A., Masztalerz, K., Carbonell-Barrachina, Á. A., & Figiel, A. (2020). Comparison of traditional and novel drying techniques and its effect on quality of fruits, vegetables, and aromatic herbs. *Foods, 9*(9), 1261. https://doi.org/10.3390/foods9091261

Calva-Estrada, S. J., Jiménez-Fernández, M., & Lugo-Cervantes, E. (2022). Betalains and their applications in food: The current state of processing, stability and future

opportunities in the industry. *Food Chemistry: Molecular Sciences, 4*, 100089. https://doi.org/10.1016/j.fochms.2022.100089

Capanoglu, E., Kamiloglu, S., Ozkan, G., & Apak, R. (2018). Evaluation of antioxidant activity/capacity measurement methods for food products. In *Measurement of Antioxidant Activity & Capacity: Recent Trends and Applications* (pp. 273–286). Wiley Online Library.

Carcel, J. A., Benedito, J., SanJuan, N., & Sánchez, E. (1998). Aplicación de los ultrasonidos en las industrias de productos lácteos y derivados. *Alimentación, Equipos y Tecnología, 17*, 135–141.

Cardoso-Ugarte, G. A., Sosa-Morales, M. E., Ballard, T., Liceaga, A., & San Martín-González, M. F. (2014). Microwave-assisted extraction of betalains from red beet (*Beta vulgaris*). *LWT-Food Science and Technology*, *59*(1), 276–282.

Carrillo, C., Wilches-Pérez, D., Hallmann, E., Kazimierczak, R., & Rembiałkowska, E. (2019). Organic versus conventional beetroot: Bioactive compounds and antioxidant properties. *LWT, 116*, 108552.

Carvalho, L. R. F. D., Souza, S. R., Martinis, B. S., & Korn, M. (1995). Monitoring of the ultrasonic irradiation effect on the extraction of airborne particulate matter by ion chromatography. *Analytica Chimica Acta*, *317*(1–3), 171–179.

Castellanos-Santiago, E., & Yahia, E. M. (2008). Identification and quantification of betalains from the fruits of 10 Mexican prickly pear cultivars by high-performance liquid chromatography and electrospray ionization mass spectrometry. *Journal of Agricultural and Food Chemistry, 56*, 5758–5764.

Ceclu, L., & Nistor, O. V. (2020). Red beetroot: Composition and health effects – A review. *Journal of Nutritional Medicine and Diet Care, 5*(2). https://doi.org/10.23937/2572-3278.1510043

Celli, G. B., & Brooks, M. S.-L. (2017). Impact of extraction and processing conditions on betalains and comparison of properties with anthocyanins – A current review. *Food Research International, 100*, 501–509. https://doi.org/10.1016/j.foodres.2016.08.034

Cemeroğlu, B., Karadeniz, F., & Ozkan, M. (2003). *Meyve ve sebze işleme teknolojisi* (pp. 541–542). Gıda Teknolojisi Derneği Yayınları.

Chaari, M., Elhadef, K., Akermi, S., Hlima, H. B., Fourati, M., Chakchouk Mtibaa, A., ... & Smaoui, S. (2023). Multiobjective response and chemometric approaches to enhance the phytochemicals and biological activities of beetroot leaves: An unexploited organic waste. *Biomass Conversion and Biorefinery, 13*(16), 15067–15081.

Chandra, P. K., & Singh, R. P. (1994). *Applied numerical methods for food and agricultural engineers*. CRC Press. https://doi.org/10.1201/9781315137650

Chandra, A., Kumar, S., Tarafdar, A., & Nema, P. K. (2021). Ultrasonic and osmotic pretreatments followed by convective and vacuum drying of papaya slices. *Journal of the Science of Food and Agriculture, 101*(6), 2264–2272.

Chawla, H., Parle, M., Sharma, K., & Yadav, M. (2016). Beetroot: A health-promoting functional food. *Inventi Rapid: Nutraceuticals, 1*(1), 0976–3872.

Chen, Y.-Q., Cheng, J.-H., & Sun, D.-W. (2020). Chemical, physical, and physiological quality attributes of fruit and vegetables induced by cold plasma treatment: Mechanisms and application advances. *Critical Reviews in Food Science and Nutrition, 60*(16), 2676–2690. https://doi.org/10.1080/10408398.2019.1654429

Chottanom, P., Amornsin, A., Yodthava, N., & Wunnapong, S. (2020). Effect of edible coating on antioxidants and certain properties of dried Jerusalem artichoke. *Pakistan Journal of Biological Sciences, 23*(3), 271–277. https://doi.org/10.3923/pjbs.2020.271.277

Chuah, A. M., Lee, Y. C., Yamagaguchi, T., Takamura, H., Yin, L. J., & Matoba, T. (2008). Effect of cooking on the antioxidant properties of coloured peppers. *Food Chemistry, 111*, 20–28.

Crank, J. (1975). *The mathematics of diffusion* (2nd ed.). Oxford University Press.

Cruz-Romero, M. C., O'Flynn, C. C., Troy, D., Mullen, A. M., & Kerry, J. P. (2022). The use of potassium chloride and tapioca starch to enhance the flavour and texture of phosphate- and sodium-reduced low-fat breakfast sausages manufactured using high-pressure-treated meat. *Foods, 11*(1), 17. https://doi.org/10.3390/foods11010017

Çetin, N., & Sağlam, C. (2023). Effects of ultrasound pretreatment assisted drying methods on drying characteristics, physical and bioactive properties of windfall apples. *Journal of the Science of Food and Agriculture, 103*(2), 534–547.

Deepika, S., & Sutar, P. P. (2018). Combining osmotic–steam blanching with infrared–microwave–hot air drying: Production of dried lemon (*Citrus limon* L.) slices and enzyme inactivation. *Drying Technology, 36*(14), 1719–1737. https://doi.org/10.1080/07373937.2017.142274

Dehghannya, J., Kadkhodaei, S., Heshmati, M. K., & Ghanbarzadeh, B. (2019). Ultrasound-assisted intensification of a hybrid intermittent microwave - hot air drying process of potato: Quality aspects and energy consumption. *Ultrasonics, 96*, 104–122. https://doi.org/10.1016/j.ultras.2019.02.005

Dehghannya, J., Aghazade-Khoie, E., Heshmati, M. K., & Ghanbarzadeh, B. (2020). Influence of ultrasound intensification on the continuous and pulsed microwave during convective drying of apple. *International Journal of Fruit Science, 20*, S1751–S1764. https://doi.org/10.1080/15538362.2020.1830919

Delgado-Vargas, F., Jiménez, A. R., & Paredes-López, O. (2000). Natural pigments: Carotenoids, anthocyanins, and betalains—characteristics, biosynthesis, processing, and stability. *Critical Reviews in Food Science and Nutrition, 40*(3), 173–289.

Demir, H., & Kılınç, A. (2018). Termosonikasyon uygulamasının bal kabağı suyunun biyoaktif bileşen ve antioksidan kapasitesi üzerine etkisi. *Gıda, 43*(5), 787–799.

Demirok, N. T., & Yıkmış, S. (2022). Combined effect of ultrasound and microwave power in tangerine juice processing: Bioactive compounds, amino acids, minerals, and pathogens. *Processes, 10*(10), 2100. https://doi.org/10.3390/app10238340

Deng, L.-Z., Pan, Z., Mujumdar, A. S., Zhao, J.-H., Zheng, Z.-A., Gao, Z.-J., & Xiao, H.-W. (2019). High-humidity hot air impingement blanching (HHAIB) enhances drying quality of apricots by inactivating the enzymes, reducing drying time, and altering cellular structure. *Food Control, 96*, 104–111. https://doi.org/10.1016/j.foodcont.2018.09.008

Dhiman, A., Suhag, R., Chauhan, D. S., Thakur, D., Chhikara, S., & Prabhakar, P. K. (2021). Status of beetroot processing and processed products: Thermal and emerging technologies intervention. *Trends in Food Science & Technology, 114*, 443–458. https://doi.org/10.1016/j.tifs.2021.05.042

Diken, B., Aktaş, T., & Kayişlioğlu, B. (2020). Kivi meyvesinin ince tabaka kurutma karakteristiklerinin ve sorpsiyon özelliklerinin saptanması. *El-Cezeri Fen ve Mühendislik Dergisi, 7*(1), 249–261. https://doi.org/10.31202/ecjse.629317

Ding, P., & Ling, Y. S. (2014). Browning assessment methods and polyphenol oxidase in UV-C irradiated Berangan banana fruit. *The International Food Research Journal, 21*(4), 1667–1674.

Domínguez, R., Munekata, P. E. S., Pateiro, M., Maggiolino, A., Bohrer, B., & Lorenzo, J. M. (2020). Red beetroot: A potential source of natural additives for the meat industry. *Applied Sciences, 10*(23), 8340. https://doi.org/10.3390/app10238340

Doulia, D., Tzia, K., & Gekas, V. (2000). A knowledge base for the apparent mass diffusion coefficient (Deff) of foods. *International Journal of Food Properties, 3*(1), 1–14. https://doi.org/10.1080/10942910009524613

Doymaz, İ. (2011). Drying of eggplant slices in thin layers at different air temperatures. *Journal of Food Processing and Preservation, 35*(2), 280–289. https://doi.org/10.1111/j.1745-4549.2009.00454.x

Döner, D., & Icier, F. (2024). Exergoeconomic analysis of ultrasound-assisted extraction of tannins from acorn fruit. *Journal of Food Engineering, 367*, 111851.

Duc Pham, N., Khan, M. I. H., Joardder, M. U. H., Rahman, M. M., Mahiuddin, M., Abesinghe, A. M. N., & Karim, M. A. (2019). Quality of plant-based food materials and its prediction during intermittent drying. *Critical Reviews in Food Science and Nutrition, 59*(8), 1197–1211. https://doi.org/10.1080/10408398.2017.1399103

Durgut-Malçok, S., Özkan Karabacak, A., Tunçkal, C., & Ece Tamer, C. E. (2023). Application of response surface methodology for optimisation of Cornelian cherry–Capia pepper leather dried in a heat pump drying system. *Journal of Agricultural Engineering, 54*, 1538. https://doi.org/10.4081/jae.2023.1538

Edelenbos, M., Wold, A.-B., Wieczynska, J., & Luca, A. (2020). Roots: Beetroots. In *Controlled and modified atmospheres for fresh and fresh-cut produce* (pp. 593–596). Academic Press.

Ekşi A., & Artık, N. (1984). Pestil işleme tekniği ve kimyasal bileşimi. *Gıda, 9*(5), 263–266.

El Hage, H., Herez, A., Ramadan, M., Bazzi, H., & Khaled, M. (2018). An investigation on solar drying: A review with economic and environmental assessment. *Energy, 157*, 815–829. https://doi.org/10.1016/j.energy.2018.05.197

El-Mesallamy, A., El-Latif, A., Ahlam, E. S., El-Azim, A., Hassan, M., Mahdi, M. G., & Hussein, S. A. A. (2020). Chemical composition and biological activities of red beetroot (Beta vulgaris Linnaeus) roots. *Egyptian Journal of Chemistry, 63*(1), 239-246.

Er, T. (2011). *Kırmızı pancarın bazı fiziksel ve fitokimyasal özellikleri üzerine farklı kurutma sıcaklıklarının etkisi* [Master's thesis, Selçuk University]. Fen Bilimleri Enstitüsü.

Erdal, B., Yıkmış, S., Demirok, N. T., Bozgeyik, E., & Levent, O. (2022). Effects of non-thermal treatments on the drying kinetics and quality of pumpkin slices. *Journal of Food Engineering, 238*, 15–22. https://doi.org/10.1016/j.jfoodeng.2022.110063

Ersus, S., & Hepçimen, A. Z. (2021). Effects of different formulations on quality of pomegranate pestil. *Ege Üniversitesi Ziraat Fakültesi Dergisi, 58*(1), 9-15. https://doi.org/10.20289/zfdergi.715125

Ertekin, C., & Yıldız, O. (2014). Drying of eggplant and selection of a suitable thin layer drying model. *Journal of Food Engineering, 63,* 349–359. https://doi.org/10.1016/j.jfoodeng.2003.08.007

Escamilla-García, M., Rodríguez-Hernández, M., Hernández-Hernández, H., Delgado-Sánchez, L., García-Almendárez, B., Amaro-Reyes, A., & Regalado-González, C. (2018). Effect of an edible coating based on chitosan and oxidized starch on shelf life of *Carica papaya* L. and its physicochemical and antimicrobial properties. *Coatings, 8*(9), 318. https://doi.org/10.3390/coatings8090318

Esua, O. J., Cheng, J.-H., & Sun, D.-W. (2020). Antimicrobial activities of plasma-functionalized liquids against foodborne pathogens on grass carp (*Ctenopharyngodon idella*). *Applied Microbiology and Biotechnology, 104*(22), 9581–9594. https://doi.org/10.1007/s00253-020-10926-z

Eyiz, V., Tontul, İ., & Türker, S. (2020). Effect of variety, drying methods, and drying temperature on physical and chemical properties of hawthorn leather. *Food Measure, 14,* 3263–3269. https://doi.org/10.1007/s11694-020-00574-2

Fernando, J. A. K. M., & Amarasinghe, A. D. U. S. (2016). Drying kinetics and mathematical modeling of hot air drying of coconut coir pith. *SpringerPlus, 5*(1), 807. https://doi.org/10.1186/s40064-016-2387-y

Figiel, A. (2010). Drying kinetics and quality of beetroots dehydrated by combination of convective and vacuum-microwave methods. *Journal of Food Engineering, 98*(4), 461–470. https://doi.org/10.1016/j.jfoodeng.2010.01.029

Figiel, A., & Michalska, A. (2016). Overall quality of fruits and vegetables products affected by the drying processes with the assistance of vacuum-microwaves. *International Journal of Molecular Sciences, 18*(1), 71. https://doi.org/10.3390/ijms18010071

Fu, Y., Shi, J., Xie, S. Y., Zhang, T. Y., Soladoye, O. P., & Aluko, R. E. (2020). Red beetroot betalains: Perspectives on extraction, processing, and potential health benefits. *Journal of Agricultural and Food Chemistry, 68*(42), 11595-11611. https://doi.org/10.1021/acs.jafc.0c04719

Galvão, A. M. M. T., Rodrigues, S., & Fernandes, F. A. N. (2020). Kinetics of ultrasound pretreated apple cubes dried in fluidized bed dryer. *Drying Technology, 38*(10), 1367–1377. https://doi.org/10.1080/07373937.2019.1641511

Gamboa-Santos, J., & Campañone, L. A. (2019). Application of osmotic dehydration and microwave drying to strawberries coated with edible films. *Drying Technology, 37*(8), 1002–1012. https://doi.org/10.1080/07373937.2018.1481426

Garcia-Noguera, J., Oliveira, F. I. P., Gallão, M. I., Weller, C. L., Rodrigues, S., & Fernandes, F. A. N. (2010). Ultrasound-assisted osmotic dehydration of strawberries: Effect of pretreatment time and ultrasonic frequency. *Drying Technology, 28*(2), 294–303. https://doi.org/10.1080/07373930903530402

Gong, S., Jiao, C., Liu, B., Qu, W., Guo, L., & Jiang, Y. (2023). Beetroot (*Beta vulgaris*) extract exerts an antibacterial effect by inducing apoptosis-like death in *Bacillus cereus*. *Journal of Functional Foods, 105,* 105571. https://doi.org/10.1016/j.jff.2023.105571

Göncü, A., Kuzumoğlu, Y., & Çelik, İ. (2022). Ticari olarak satılan nar, karadut, ahududu ve frenk üzümü meyve sularından pestil üretilmesi ve bazı kalite özelliklerinin belirlenmesi. *Harran Tarım ve Gıda Bilimleri Dergisi, 26*(4), 519–527. Retrieved from https://doi.org/10.3390/app10238340

Guiamba, I. R. F., Svanberg, U., & Ahrné, L. (2015). Effect of infrared blanching on enzyme activity and retention of β-carotene and vitamin C in dried mango. *Journal of Food Science, 80*(6), E1235–E1242. https://doi.org/10.1111/1750-3841.12866

Guldiken, B., Toydemir, G., Memis, K. N., Okur, S., Boyacioglu, D., & Capanoglu, E. (2016). Home-processed red beetroot (Beta vulgaris L.) products: Changes in antioxidant properties and bioaccessibility. *International Journal of Molecular Sciences, 17*(6), 858. https://doi.org/10.3390/ijms17060858

Guo, Y., Wu, B., Lu, D., Pan, Z., & Ma, H. (2021). Tri-frequency ultrasound as pretreatment to infrared drying of carrots: Impact on enzyme inactivation, color changes, nutrition quality parameters, and microstructures. *International Journal of Food Engineering, 17*(4), 275–284. https://doi.org/10.1515/ijfe-2020-0223

Guruprasad, M., Chengaiyan, J. G., Ahmad, F., Haque, S., Capanoglu, E., & Rajoriya, D. (2024). Effect of microwave-based dry blanching on drying of potato slices: A comparative study. *ACS Omega, 9*(13), 15143–15150.

Günaydın, S., Sağlam, C., & Çetin, N. (2022). Tarımsal ürünlerin kurutulmasında kullanılan kurutma yöntemleri. *Erciyes Tarım ve Hayvan Bilimleri Dergisi, 5*(1), 30-45. https://doi.org/10.55257/ethabd.1096697

Hamid, M. G., & Mohamed Nour, A. A. A. (2018). Effect of different drying methods on quality attributes of beetroot (Beta vulgaris) slices. *World Journal of Science, Technology and Sustainable Development, 15*(3), 287-298.

Henderson, S. M. (1961). Grain drying theory (I) temperature effect on drying coefficient. *Journal of Agricultural Engineering Research, 6*, 169–174. https://www.semanticscholar.org/paper/Grain-Drying-Theory-(I)-Temperature-Effect-on-Hendorson/6ef7b1ff7a3e369cc802187641eea87e93dcb82d

Henderson, S. M. (1974). Progress in developing the thin layer drying equation. *Transactions of the ASAE, 17*(6), 1167–1168. https://doi.org/10.13031/2013.37052

Hernández-Aguirre, O. A., Muro, C., Hernández-Acosta, E., Alvarado, Y., & Díaz-Nava, M. del C. (2021). Extraction and stabilization of betalains from beetroot (Beta vulgaris) wastes using deep eutectic solvents. *Molecules, 26*(21), 6342. https://doi.org/10.3390/molecules26216342

Hidalgo, A., Brandolini, A., Čanadanović-Brunet, J., Ćetković, G., & Šaponjac, V. T. (2018). Microencapsulates and extracts from red beetroot pomace modify antioxidant capacity, heat damage, and color of pseudocereals-enriched einkorn water biscuits. *Food Chemistry, 268*, 40-48.

Horuz, E., Jaafar, H. J., & Maskan, M. (2017). Ultrasonication as pretreatment for drying of tomato slices in a hot air–microwave hybrid oven. *Drying Technology, 35*(7), 849–859. https://doi.org/10.1080/07373937.2016.1222538

Hosseiny Khesal, M., Masomueh, & Asefi, N. (2023). Comparison of convection and vacuum drying on the quality of formulated cornelian cherry leather (pestil). *Innovation in Food Science and Technology, 14*(4), 95-107. https://doi.org/10.1016/j.foodres.2024.114660

Huang, D., Men, K., Li, D., Wen, T., Gong, Z., Sunden, B., & Wu, Z. (2020). Application of ultrasound technology in the drying of food products. *Ultrasonics Sonochemistry, 63*, 104950. https://doi.org/10.1016/j.ultsonch.2019.104950

Hung, P. V., & Duy, T. L. (2012). Effects of drying methods on bioactive compounds of vegetables and correlation between bioactive compounds and their antioxidants. *International Food Research Journal, 19*(1), 327.

Inyang, U. E., Oboh, I. O., & Etuk, B. R. (2018). Kinetic models for drying techniques—Food materials. *Advances in Chemical Engineering and Science, 8*(02), 27–48. https://doi.org/10.4236/aces.2018.82003

ISO 11132:2012b. Sensory analysis — Methodology — Guidelines for monitoring the performance of a quantitative sensory panel.

ISO 3972: 2011. Sensory analysis - Methodology - Method of investigating sensitivity of taste.

ISO 5496: 2006. Sensory analysis – Methodology – Initiation and training of assessors in the detection and recognition of odours.

ISO 8586: 2012a. Sensory analysis–General guidelines for the selection, training and monitoring of selected assessors and expert sensory assessors.

Iwashina, T. (2000). The structure and distribution of the flavonoids in plants. *Journal of Plant Research, 113*(3), 287.

İncedayi, B., Tamer, C. E., Sinir, G. Ö., Suna, S., & Çopur, Ö. U. (2016). Impact of different drying parameters on color, β-carotene, antioxidant activity, and minerals of apricot (Prunus armeniaca L.). *Food Science and Technology, 36*, 171-178.

İncedayi, B., Dogan, N., & Copur, O. U. (2022). Assessment of cactus pear leather (pestil) as a new snack food. *Journal of Food Science and Technology*, *59*(8), 3158-3166. https://doi.org/10.1007/s13197-022-05366-8

Jakubczyk, K., Melkis, K., Janda-Milczarek, K., & Skonieczna-Żydecka, K. (2024). Phenolic compounds and antioxidant properties of fermented beetroot juices enriched with different additives. *Foods, 13*, 102. https://doi.org/10.3390/foods13010102

Jangam, S. V., & Mujumdar, A. S. (2010). Basic concepts and definitions. In *Drying of foods, vegetables, and fruits* (Vol. 1, Ed. Jangam, S. V., Law, C. L., & Mujumdar, A. S.). ISBN - 978-981-08-6759-1.

Jha, A., & Tripathy, P. P. (2021). Recent advancements in design, application, and simulation studies of hybrid solar drying technology. *Food Engineering Reviews, 13*(2), 375–410. https://doi.org/10.1007/s12393-020-09223-2

Jin, W., Zhang, M., & Shi, W. (2019). Evaluation of ultrasound pretreatment and drying methods on selected quality attributes of bitter melon (Momordica charantia L.). *Drying Technology, 37*(3), 387–396. https://doi.org/10.1080/07373937.2018.1458735

Kaba, B., Zannou, O., Ali Redha, A., et al. (2024). Enhancing extraction of betalains from beetroot (Beta vulgaris L.) using deep eutectic solvents: Optimization, bioaccessibility, and stability. *Food Production, Processing, and Nutrition, 6*, 38. https://doi.org/10.1186/s43014-023-00208-2

Kamiloglu, S., & Capanoglu, E. (2014). In vitro gastrointestinal digestion of polyphenols from different molasses (pekmez) and leather (pestil) varieties. *International Journal of Food Science & Technology, 49*(4), 1027–1039. https://doi.org/10.1111/ijfs.12396

Kamiloglu, S., Demirci, M., Selen, S., Toydemir, G., Boyacioglu, D., & Capanoglu, E. (2014). Home processing of tomatoes (Solanum lycopersicum): Effects on in vitro bioaccessibility of total lycopene, phenolics, flavonoids, and antioxidant capacity. *Journal of the Science of Food and Agriculture, 94*(11), 2225-2233.

Kamiloğlu, S. (2019a). Bireysel ve hızlı dondurma işlemi basamaklarının Granny Smith elmaların polifenol içeriği ve antioksidan kapasitesine etkileri. *Akademik Gıda, 17*(1), 38-46.

Kamiloğlu, S. (2019b). Taze ve dondurulmuş elmalarda ve elma posasında polifenol biyoerişilebilirliğinin değerlendirilmesi. *Akademik Gıda, 44*(3), 409-418.

Kara, O. O., & Küçüköner, E. (2019). Geleneksel bir meyve çerezi: Pestil. *Akademik Gıda, 260-268*. https://doi.org/10.24323/akademik-gida.613621

Kaur, M., Modi, V. K., & Sharma, H. K. (2022). Evaluation of ultrasonication and carbonation-ultrasonication assisted convective drying techniques for enhancing the drying rates and quality parameters of ripe and raw banana (Musa) peel. *Journal of Food Science and Technology, 59*(11), 4542–4552. https://doi.org/10.1007/s13197-022-05535-9

Kaur, S., Kaur, N., Aggarwal, P., & Grover, K. (2021). Bioactive compounds, antioxidant activity, and color retention of beetroot (Beta vulgaris L.) powder: Effect of steam blanching with refrigeration and storage. *Journal of Food Processing and Preservation*, *45*(3), e15247.

Khan, M. I. (2016). Stabilization of betalains: A review. *Food Chemistry, 197*, 1280-1285.

Kılıç, F., & Tabanlıgil Calam, T. (2020). Kırmızı Kapya biberlerinin (Capsicum annuum L.) kurutma ve rehidrasyon kinetiklerinin belirlenmesi. *Deu Mühendislik Fakültesi Fen ve Mühendislik, 22*(65), 343–352. https://doi.org/10.21205/deufmd.2020226503

Kian-Pour, N., Ceyhan, T., Ozmen, D., & Toker, O. S. (2024). Effect of ultrasound-ethanol immersion, microwave and starch-blanching pretreatments on drying kinetics, rehydration, and quality properties of beetroot chips. *International Journal of Food Engineering, 20*(2), 85-99. https://doi.org/10.1515/ijfe-2023-0237

Kim, D. O., Jeong, S. W., & Lee, C. Y. (2003). Antioxidant capacity of phenolic phytochemicals from various cultivars of plums. *Food Chemistry, 81*(3), 321-326. https://doi.org/10.1016/S0308-8146(02)00423-5

Koç, E., & Yolcı Ömeroplu, P. (2019). Geleneksel Anjelika (Melek Otu) reçelinin fizikokimyasal ve duyusal özellikleri. *Akademik Gıda, 17*(4), 485-496.

Kowalski, S. J., Pawłowski, A., Szadzińska, J., Łechtańska, J., & Stasiak, M. (2016). High power airborne ultrasound assist in combined drying of raspberries. *Innovative Food Science & Emerging Technologies, 34*, 225–233. https://doi.org/10.1016/j.ifset.2016.02.006

Kroehnke, J., Szadzińska, J., Stasiak, M., Radziejewska-Kubzdela, E., Biegańska-Marecik, R., & Musielak, G. (2018). Ultrasound- and microwave-assisted convective drying of carrots: Process kinetics and product's quality analysis. *Ultrasonics Sonochemistry, 48*, 249–258. https://doi.org/10.1016/j.ultsonch.2018.05.040

Kumar, C., & Karim, M. A. (2019). Microwave-convective drying of food materials: A critical review. *Critical Reviews in Food Science and Nutrition, 59*(3), 379–394. https://doi.org/10.1080/10408398.2017.1373269

Kumar, C., Karim, M. A., & Joardder, M. U. H. (2014). Intermittent drying of food products: A critical review. *Journal of Food Engineering, 121*, 48–57. https://doi.org/10.1016/j.jfoodeng.2013.08.014

Kumaran, A., & Karunakaran, R. J. (2006). Antioxidant and free radical scavenging activity of an aqueous extract of *Coleus aromaticus*. *Food Chemistry, 97*(1), 109-114. https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2005.03.032

Kutlu, N., İşçi, A., & Şakıyan Demirkol, Ö. (2015). Gıdalarda ince tabaka kurutma modelleri. *Gıda, 40*(1), 39-46.

Kwaśnica, A., Pachura, N., Masztalerz, K., Figiel, A., Zimmer, A., Kupczyński, R., Wujcikowska, K., Carbonell-Barrachina, A. A., Szumny, A., & Różański, H. (2020). Volatile composition and sensory properties as quality attributes of fresh and dried hemp flowers (*Cannabis sativa* L.). *Foods*, *9*(8), 1118. https://doi.org/10.3390/foods9081118

Labuza, T. P. (1984). Moisture sorption: Practical aspects of isotherm measurement and use. The American Association of Cereal Chemists, St. Paul, MN.

Lewis, W. K. (1921). The rate of drying of solid materials. *Journal of Industrial & Engineering Chemistry*, *13*(5), 427–432. https://doi.org/10.1021/ie50137a021

Li, B. W., Andrews, K. W., & Pehrsson, P. R. (2002). Individual sugars, soluble, and insoluble dietary fiber contents of 70 high consumption foods. *Journal of Food Composition and Analysis*, *15*(6), 715–723. https://doi.org/10.1006/jfca.2002.1096

Li, S., Chen, S., Han, F., Xv, Y., Sun, H., Ma, Z., Chen, J., & Wu, W. (2019). Development and optimization of cold plasma pretreatment for drying on corn kernels. *Journal of Food Science*, *84*(8), 2181–2189. https://doi.org/10.1111/1750-3841.14708

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

Li, L., Yu, Y., Xu, Y., Wu, J., Yu, Y., Peng, J., An, K., Zou, B., & Yang, W. (2021). Effect of ultrasound-assisted osmotic dehydration pretreatment on the drying characteristics and quality properties of Sanhua plum (*Prunus salicina* L.). *LWT*, *138*, 110653. https://doi.org/10.1016/j.lwt.2020.110653

Liu, P., Mujumdar, A. S., Zhang, M., & Jiang, H. (2015). Comparison of three blanching treatments on the color and anthocyanin level of the microwave-assisted spouted bed drying of purple flesh sweet potato. *Drying Technology*, *33*(1), 66–71. https://doi.org/10.1080/07373937.2014.936558

Liu, Z., Song, Y., Guo, Y., Wang, H., & Wu, Z. (2017). Influence of pulsed electric field pretreatment on vacuum freeze-dried apples and process parameter optimization. *Advance Journal of Food Science and Technology*, *13*(6), 224–235.

Liu, Z.-L., Bai, J.-W., Yang, W.-X., Wang, J., Deng, L.-Z., Yu, X.-L., Zheng, Z.-A., Gao, Z.-J., & Xiao, H.-W. (2019). Effect of high-humidity hot air impingement blanching (HHAIB) and drying parameters on drying characteristics and quality of broccoli florets. *Drying Technology*, 37(10), 1251–1264. https://doi.org/10.1080/07373937.2018.1494185

Loo, C. P., & Sarbon, N. M. (2020). Chicken skin gelatin films with tapioca starch. *Food Bioscience*, 35, 100589.

López, P., Sala, F.J., Fuente, J.L., Condon, S., Raso, J., & Burgos, J. (1994). Inactivation of peroxidase, lipoxygenase, and polyphenol oxidase by manothermosonication. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 42, 252-256.

Madadi, E., Mazloum-Ravasan, S., Yu, J. S., Ha, J. W., Hamishehkar, H., & Kim, K. H. (2020). Therapeutic application of betalains: A review. *Plants*, 9(9), 1219. https://doi.org/10.3390/plants9091219

Malvandi, A., Nicole Coleman, D., Loor, J. J., & Feng, H. (2022). A novel sub-pilot-scale direct-contact ultrasonic dehydration technology for sustainable production of distillers dried grains (DDG). *Ultrasonics Sonochemistry*, 85, 105982. https://doi.org/10.1016/j.ultsonch.2022.105982

Maskan, M. (2001). Drying, shrinkage, and rehydration characteristics of kiwifruits during hot air and microwave drying. *Journal of Food Engineering*, 48(2), 177–182. https://doi.org/10.1016/S0260-8774(00)00155-2

Maskan, A., Kaya, S., & Maskan, M. (2002). Hot air and sun drying of grape leather (pestil). *Journal of Food Engineering*, 54(1), 81–88. https://doi.org/10.1016/S0260-8774(01)00188-1

McGrath, J. M., Panella, L., & Frese, L. (2011). Beta. In C. Kole (Ed.), *Wild Crop Relatives: Genomic and Breeding Resources: Industrial Crops* (pp. 1-43). Springer Berlin Heidelberg.

Meena, L., Malini, B., Byresh, T. S., Sunil, C. K., Rawson, A., & Venkatachalapathy, N. (2024). Ultrasound as a pre-treatment in millet-based probiotic beverage: Its effect on fermentation kinetics and beverage quality. *Food Chemistry Advances*, 4, 100631.

Menon, A., Stojceska, V., & Tassou, S. A. (2020). A systematic review on the recent advances of the energy efficiency improvements in non-conventional food drying technologies. *Trends in Food Science & Technology*, 100, 67–76. https://doi.org/10.1016/j.tifs.2020.03.014

Meral, R. (2016). The effects of different thermal applications on phenolic compounds. *Journal of The Institute of Natural & Applied Sciences*, 21(1), 55-67.

Midilli, A., Kucuk, H., & Yapar, Z. (2002). A new model for single-layer drying. *Drying Technology*, 20(7), 1503–1513. https://doi.org/10.1081/DRT-120005864

Mothibe, K. J., Zhang, M., Mujumdar, A. S., Wang, Y. C., & Cheng, X. (2014). Effects of ultrasound and microwave pretreatments of apple before spouted bed drying on rate of dehydration and physical properties. *Drying Technology*, 32(15), 1848–1856. https://doi.org/10.1080/07373937.2014.952381

Nakilcioğlu Taş, E., Çakaloğlu, B., & Ötleş, S. (2018). Farklı oranlarda keçiboynuzu unu içeren pestillerin bazı fiziksel, kimyasal ve duyusal özelliklerinin belirlenmesi. *Turkish Journal of Agriculture - Food Science and Technology*, 6(8), 945. https://doi.org/10.24925/turjaf.v6i8.945-952.1445

Nalawade, S. A., Sinha, A., & Hebbar, H. U. (2018). Infrared based dry blanching and hybrid drying of bitter gourd slices: Process efficiency evaluation. *Journal of Food Process Engineering*, 41(4), e12672. https://doi.org/10.1111/jfpe.12672

Ncama, K., Magwaza, L. S., Mditshwa, A., & Tesfay, S. Z. (2018). Plant-based edible coatings for managing postharvest quality of fresh horticultural produce: A review. *Food Packaging and Shelf Life*, 16(2), 157–167. https://doi.org/10.1016/j.fpsl.2018.03.011

Neelwarne, B., & Halagur, S. B. (2013). Red beet: An overview. In B. Neelwarne (Ed.), *Red Beet Biotechnology - Food and Pharmaceutical Applications* (pp. 1-43). Springer Science+Business Media, New York.

Nizamlioglu, N. M., Yasar, S., & Bulut, Y. (2022). Chemical versus infrared spectroscopic measurements of quality attributes of sun or oven dried fruit leathers from apple, plum, and apple-plum mixture. *LWT*, 153, 112420.

Nordic Committee on Food Analysis (NMKL). (2007). NMKL 186 Trace elements—As, Cd, Hg, Pb and other elements. Determination by ICP-MS after pressure digestion. NMKL Publications. Oslo: Nordic Committee on Food Analysis.

Nowacka, M., Wiktor, A., Śledź, M., Jurek, N., & Witrowa-Rajchert, D. (2012). Drying of ultrasound pretreated apple and its selected physical properties. *Journal of Food Engineering*, 113(3), 427–433. https://doi.org/10.1016/j.jfoodeng.2012.06.013

Nowacka, M., Wiktor, A., Anuszewska, A., Dadan, M., Rybak, K., & Witrowa-Rajchert, D. (2019). The application of unconventional technologies such as pulsed electric field, ultrasound, and microwave-vacuum drying in the production of dried cranberry snacks. *Ultrasonics Sonochemistry*, 56, 1-13.

Nowicka, P., Wojdyło, A., Lech, K., & Figiel, A. (2015). Chemical composition, antioxidant capacity, and sensory quality of dried sour cherry fruits pre-dehydrated in fruit concentrates. *Food and Bioprocess Technology*, 8(10), 2076–2095. https://doi.org/10.1007/s11947-015-1561-5

O'Donnell, C. P., Tiwari, B. K., Bourke, P., & Cullen, P. J. (2010). Effect of ultrasonic processing on food enzymes of industrial importance. *Trends in Food Science & Technology*, 21(7), 358–367. https://doi.org/10.1016/j.tifs.2010.04.007

Oboh, G., & Akindahunsi, A. A. (2004). Change in the ascorbic acid, total phenol, and antioxidant activity of sun-dried commonly consumed green leafy vegetables in Nigeria. *Nutrition and Health*, 18(1), 29-36.

Oladejo, A. O., Ekpene, M. A. M., Onwude, D. I., Assian, U. E., & Nkem, O. M. (2021). Effects of ultrasound pretreatments on the drying kinetics of yellow cassava during convective hot air drying. *Journal of Food Processing and Preservation*, 45(3), e15251. https://doi.org/10.1111/jfpp.15251

Olumese, F. E., & Oboh, H. A. (2016). Antioxidant and antioxidant capacity of raw and processed Nigerian beetroot (*Beta vulgaris*). *Nigerian Journal of Basic and Applied Sciences*, 24(1), 35–40.

Opalić, M., Domitran, Z., Komes, D., Belščak, A., Horžić, D., & Karlović, D. (2009). The effect of ultrasound pre-treatment and air-drying on the quality of dried apples. *Czech Journal of Food Sciences*, 27(1), S297–S300. https://doi.org/10.17221/606-CJFS

Orlich, M. J., Jaceldo-Siegl, K., Sabaté, J., Fan, J., Singh, P. N., & Fraser, G. E. (2014). Patterns of food consumption among vegetarians and non-vegetarians. *British Journal of Nutrition*, 112(10), 1644–1653. https://doi.org/10.1017/S000711451400261X

Overhults, D. G., White, G. M., Hamilton, H. E., & Ross, I. J. (1973). Drying soybeans with heated air. *Transactions of the ASAE*, 16(1), 112–113. https://doi.org/10.13031/2013.37459

Önal, B., Adiletta, G., di Matteo, M., Russo, P., Ramos, I. N., & Silva, C. L. M. (2021). Microwave and ultrasound pre-treatments for drying of the "Rocha" pear: Impact on phytochemical parameters, color changes and drying kinetics. *Foods*, 10(4), 853. https://doi.org/10.3390/foods10040853

Özaltın, K. E., & Çağındı, Ö. (2023). Üzüm çekirdeği tozu ve kabuk tozu katkısının pestilin renk, tekstür ve duyusal özellikleri üzerine etkisi. *Bahçe*, 52(Özel Sayı 1), 234–243.

Özkan Karabacak, A. (2019). Effects of different drying methods on drying characteristics, colour and in-vitro bioaccessibility of phenolics and antioxidant capacity of blackthorn pestil (leather). *Heat and Mass Transfer*, 55(10), 2739–2750. https://doi.org/10.1007/s00231-019-02611-3

Özkan-Karabacak, A., & Çopur, Ö. (2020). Farklı kurutma yöntemleri ile üretilen karışık sebze pestilinin kuruma karakteristikleri, renk değişim kinetiği, mineral madde içeriği ve tekstürel özelliklerinin belirlenmesi. *Gıda / The Journal Of Food*, 46(1), 1–20. https://doi.org/10.15237/gida.GD20090

Özkan Karabacak, A. (2021). Farklı yöntemlerle kurutulan havuç pestillerinin kurutma karakteristikleri ile bazı kalite parametrelerindeki değişimin modellemesi ve in-vitro biyoyararlılıklarının belirlenmesi (Doktora Tezi). Bursa Uludağ Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü.

Özkan Karabacak, A., Suna, S., Dorak, S., & Çopur, Ö. U. (2021). Drying characteristics, mineral content, texture and sensorial properties of pumpkin fruit leather. *Latin American Applied Research - An International Journal*, 51(3), 193–201. https://doi.org/10.52292/j.laar.2021.753

Özkan Karabacak, A., Tunçkal, C., Tamer, C. E., Yolci Ömeroğlu, P., & Çopur, Ö. U. (2022). Bioaccessibility of total phenolics and antioxidant activity of melon slices dried in a heat pump drying system. *Food Measure*, 16, 2154–2171. https://doi.org/10.1007/s11694-022-01335-z

Özkan Karabacak, A. (2023). Assessment of total phenolic compounds, antioxidant capacity, β-carotene bioaccessibility, HMF formation, and color degradation kinetics in pumpkin pestils. *JOTCSA*, 10(3), 729–744. https://doi.org/10.18596/jotcsa.1302567

Özkan-Karabacak, A., Durgut-Malçok, S., Tunçkal, C., Tamer, C. E., & Pandiselvam, R. (2023a). Optimization of heat pump dryer conditions on bioaccessibility of some secondary metabolites of Cornelian cherry-Capia pepper pestil. *Journal of Food Biochemistry*, 2023, 5443962. https://doi.org/10.1155/2023/5443962

Özkan-Karabacak, A., Acoğlu-Çelik, B., Özdal, T., Yolci-Ömeroğlu, P., Çopur, Ö. U., Baştuğ-Koç, A., & Pandiselvam, R. (2023b). Microwave-assisted hot air drying of orange snacks: Drying kinetics, thin layer modeling, quality attributes, and phenolic profiles. *Journal of Food Biochemistry*. https://doi.org/10.1155/2023/6531838

Özyurt, V. H., Saralı, H., & Ötleş, S. (2019). Usage of betalain extracts in food. *Pamukkale University Journal of Engineering Sciences*, 25(7), 864–870. https://doi.org/10.5505/pajes.2019.03592

Page, G. E. (1949). Factors influencing the maximum rate of air drying shelled corn thin layers. [Purdue University]. https://www.proquest.com/docview/301817819

Panchariya, P. C., Popovic, D., & Sharma, A. L. (2002). Thin-layer modelling of black tea drying process. *Journal of Food Engineering*, 52(4), 349–357. https://doi.org/10.1016/S0260-8774(01)00126-1

Pedreschi, F., Ferrera, A., Bunger, A., Alvarez, F., Huamán-Castilla, N. L., & Mariotti-Celis, M. S. (2021). Ultrasonic-assisted leaching of glucose and fructose as an alternative mitigation technology of acrylamide and 5-hydroxymethylfurfural in potato chips. *Innovative Food Science & Emerging Technologies*, 73, 102752.

Pokharel, A., Jaidka, R. K., Sruthi, N. U., & Bhattarai, R. R. (2023). Effects of incorporation of porous tapioca starch on the quality of white salted (udon) noodles. *Foods*, 12(8), 1662. https://doi.org/10.3390/foods12081662

Polatcı, H., Taşova, M., & Saraçoğlu, O. (2020). Armut (*Pirus communis* L.) posasının bazı kalite değerleri açısından uygun kurutma sıcaklığının belirlenmesi. *Academic Platform Journal of Engineering and Science*, 8(3), 540–546.

Polatcı, H., & Taşova, M. (2020). Sıcaklık kontrollü mikrodalga kurutucu geliştirilmesi ve portakal kurutma performansının belirlenmesi. *Mühendislik Bilimleri ve Tasarım Dergisi*, 8(1), 131–138. https://doi.org/10.21923/jesd.502465

Prakash, S., Jha, S. K., & Datta, N. (2004). Performance evaluation of blanched carrots dried by three different driers. *Journal of Food Engineering*, 62(3), 305–313. https://doi.org/10.1016/S0260-8774(03)00244-9

Prameswari, I. K., Manuhara, G. J., Amanto, B. S., & Atmaka, W. (2018). Effect of water volume based on water absorption and mixing time on physical properties of tapioca starch-wheat composite bread. *Journal of Physics: Conference Series*, 1022, 012029. https://doi.org/10.1088/1742-6596/1022/1/012029

Prieto-Santiago, V., Cavia, M. M., Alonso-Torre, S. R., & Carrillo, C. (2020). Relationship between color and betalain content in different thermally treated beetroot products. *Journal of Food Science and Technology*, 57, 3305–3313.

Quintero Ruiz, N. A., Demarchi, S. M., Massolo, J. F., Rodoni, L. M., & Giner, S. A. (2012). Evaluation of quality during storage of apple leather. *LWT*, *47*(2), 485–492. https://doi.org/10.1016/j.lwt.2012.02.012

Radoiu, M. (2020). Microwave drying process scale-up. *Chemical Engineering and Processing - Process Intensification*, *155*, 108088. https://doi.org/10.1016/j.cep.2020.108088

Rahimi, P., Abedimanesh, S., Mesbah-Namin, S. A., & Ostadrahimi, A. (2019). Betalains, the nature-inspired pigments, in health and diseases. *Critical Reviews in Food Science and Nutrition*, *59*(18), 2949–2978. https://doi.org/10.1080/10408398.2018.1479830

Rahman, M. S. (Ed.). (2020). *Handbook of food preservation*. CRC Press.

Rani, P., & Tripathy, P. P. (2019). Effect of ultrasound and chemical pretreatment on drying characteristics and quality attributes of hot air dried pineapple slices. *Journal of Food Science and Technology*, *56*(11), 4911–4924. https://doi.org/10.1007/s13197-019-03961-w

Rashid, M. T., Ma, H., Jatoi, M. A., Wali, A., El-Mesery, H. S., Ali, Z., & Sarpong, F. (2019). Effect of infrared drying with multifrequency ultrasound pretreatments on the stability of phytochemical properties, antioxidant potential, and textural quality of dried sweet potatoes. *Journal of Food Biochemistry*, *43*(4), e12809.

Rashid, M. T., Jatoi, M. A., Safdar, B., Wali, A., Aadil, R. M., Sarpong, F., & Ma, H. (2020). Modeling the drying of ultrasound and glucose pretreated sweet potatoes: The impact on phytochemical and functional groups. *Ultrasonics Sonochemistry*, *68*, 105226. https://doi.org/10.1016/j.ultsonch.2020.105226

Rastogi, N. K. (2021). Infrared heating in drying operations. In *Innovative Food Processing Technologies* (pp. 456–476). Elsevier. https://doi.org/10.1016/B978-0-08-100596-5.22671-1

Ravichandran, K., Saw, N. M. M. T., Mohdaly, A. A., Gabr, A. M., Kastell, A., Riedel, H., ... & Smetanska, I. (2013). Impact of processing of red beet on betalain content and antioxidant activity. *Food Research International*, *50*(2), 670-675.

Righi Pessoa da Silva, H., da Silva, C., & Bolanho, B. C. (2018). Ultrasonic-assisted extraction of betalains from red beet (*Beta vulgaris* L.). *Journal of Food Process Engineering*, *41*(6), e12833. https://doi.org/10.1111/jfpe.12833

Roknul Azam, S. M., Zhang, M., Law, C. L., & Mujumdar, A. S. (2018). Effects of drying methods on quality attributes of peach (*Prunus persica*) leather. *Drying Technology*, *37*(3), 341–351. https://doi.org/10.1080/07373937.2018.1454942

Rufián-Henares, J. A., & Delgado-Andrade, C. (2009). Effect of digestive process on Maillard reaction indexes and antioxidant properties of breakfast cereals. *Food Research International*, *42*(3), 394–400. https://doi.org/10.1016/j.foodres.2009.01.011

Sakare, P., Prasad, N., Thombare, N., Singh, R., & Sharma, S. C. (2020). Infrared drying of food materials: Recent advances. *Food Engineering Reviews*, *12*(3), 381–398. https://doi.org/10.1007/s12393-020-09237-w

Sala, F. J., Burgos, J., Condón, S., Lopez, P., & Raso, J. (1995). Effect of heat and ultrasound on microorganisms and enzymes. In G. W. Gould (Ed.), *New Methods of Food Preservation* (pp. 9-1–9-19). Springer, Boston, MA. https://doi.org/10.1007/978-1-4615-2105-1_9

Šárka, E., & Dvořáček, V. (2017). Waxy starch as a perspective raw material (a review). *Food Hydrocolloids*, *69*, 402–409. https://doi.org/10.1016/j.foodhyd.2017.03.001

Sarkar, T., Saha, S. K., Salauddin, M., & Chakraborty, R. (2021). Drying kinetics, Fourier-transform infrared spectroscopy analysis and sensory evaluation of sun, hot-air, microwave and freeze-dried mango. *Journal of Microbiology, Biotechnology and Food Sciences*, *10*(5), e3313. https://doi.org/10.15414/jmbfs.3313

Sawicki, T., Bączek, N., & Wiczkowski, W. (2016). Betalain profile, content and antioxidant capacity of red beetroot dependent on the genotype and root part. *Journal of Functional Foods*, *27*, 249-261.

Shehatta, E. A., Abo-Raya, S. H., & Baioumy, A. A. (2024). Impact of different drying treatments on the biochemical and antioxidant activity properties of Egyptian red beetroot. *Food Systems*, *7*(1), 151-156.

Shende, D., Kour, M., & Datta, A. K. (2020). Evaluation of sensory and physicochemical properties of Langra variety mango leather. *Journal of Food Measurement and Characterization*, *14*, 3227-3237. https://doi.org/10.1007/s11694-020-00558-2.

Silva Simão, R., Moraes, J. O., Souza, P. G., Mattar Carciofi, B. A., & Laurindo, J. B. (2018). Production of mango leathers by cast-tape drying: Product characteristics and sensory evaluation. *LWT*, *99*, 445-452. https://doi.org/10.1016/j.lwt.2018.10.013

Silva Simão, R., de Moraes, J. O., Carciofi, B. A. M., & Laurindo, J. B. (2020). Recent advances in the production of fruit leathers. *Food Engineering Reviews*, *12*(1), 68–82. https://doi.org/10.1007/s12393-019-09200-4

Silva, J. H. F., Silva Neto, J. S., Silva, E. S., Cavalcanti, D. E. de S., Azoubel, P. M., & Benachour, M. (2020). Effect of ultrasonic pretreatment on melon drying and computational fluid dynamic modelling of thermal profile. *Food Technology and Biotechnology*, *58*(4), 381–390. https://doi.org/10.17113/ftb.58.04.20.6813

Silva, K. S., Garcia, C. C., Amado, L. R., & Mauro, M. A. (2015). Effects of edible coatings on convective drying and characteristics of the dried pineapple. *Food and Bioprocess Technology*, *8*(7), 1465–1475. https://doi.org/10.1007/s11947-015-1495-y

Sledz, M., Wiktor, A., Nowacka, M., & Witrowa-Rajchert, D. (2017). Drying kinetics, microstructure and antioxidant properties of basil treated by ultrasound. *Journal of Food Process Engineering*, *40*(1), e12271. https://doi.org/10.1111/jfpe.12271

Song, J., Wang, X., Li, D., Liu, C., Yang, Q., & Zhang, M. (2018). Effect of starch osmo-coating on carotenoids, colour and microstructure of dehydrated pumpkin slices. *Journal of Food Science and Technology*, *55*(8), 3249–3256. https://doi.org/10.1007/s13197-018-3258-z

Song, Z., Wei, J., Cao, Y., Yu, Q., & Han, L. (2023). Development and characterization of tapioca starch/pectin composite films incorporated with broccoli leaf

polyphenols and the improvement of quality during the chilled mutton storage. *Food Chemistry, 418*, 135958.

Srimagal, A., Mishra, S., & Pradhan, R. C. (2017). Effects of ethyl oleate and microwave blanching on drying kinetics of bitter gourd. *Journal of Food Science and Technology, 54*(5), 1192–1198. https://doi.org/10.1007/s13197-017-2518-7

Stegou-Sagia, A., & Fragkou, D. (2015). Influence of drying conditions and mathematical models on the drying curves and the moisture diffusivity of mushrooms. *Journal of Thermal Engineering, 1*(4), 235. https://doi.org/10.18186/jte.65158

Straus, S., Bavec, F., Turinek, M., Slatnar, A., Rozman, C., & Bavec, M. (2012). Nutritional value and economic feasibility of red beetroot (Beta vulgaris L. ssp. vulgaris Rote Kugel) from different production systems. *African Journal of Agricultural Research, 7*(42), 5653-5660.

Subrahmanyam, K., Gul, K., Paridala, S., Sehrawat, R., More, K. S., Dwivedi, M., & Jaddu, S. (2024). Effect of cold plasma pretreatment on drying kinetics and quality attributes of apple slices in Refractance window drying. *Innovative Food Science & Emerging Technologies, 92*, 103594. https://doi.org/10.1016/j.ifset.2024.103594

Sugih, A. K., Christabella, L., Kristianto, H., & Prasetyo, S. (2019). Effect of different types of phosphorylating reagent on the synthesis of modified tapioca starch. *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering, 673*(1), 012001. https://doi.org/10.1088/1757-899X/673/1/012001

Suna, S., Tamer, C. E., İncedayı, B., Özcan-Sinir, G., & Çopur, Ö. U. (2014). Impact of drying methods on physicochemical and sensory properties of apricot pestil. *Indian Journal of Traditional Knowledge, 13*(1), 47-55.

Suna, S. (2019). Effects of hot air, microwave and vacuum drying on drying characteristics and in vitro bioaccessibility of medlar fruit leather (pestil). *Food Science and Biotechnology, 28*(5), 1465–1474. https://doi.org/10.1007/s10068-019-00588-7

Suna, S., & Özkan-Karabacak, A. (2019). Investigation of drying kinetics and physicochemical properties of mulberry leather (pestil) dried with different methods. *Journal of Food Processing and Preservation, 43*(8). https://doi.org/10.1111/jfpp.14051

Süfer, Ö., & Palazoğlu, T. K. (2019). A study on hot-air drying of pomegranate. *Journal of Thermal Analysis and Calorimetry, 137*(6), 1981–1990. https://doi.org/10.1007/s10973-019-08102-1

Szadzińska, J., Kowalski, S. J., & Stasiak, M. (2016). Microwave and ultrasound enhancement of convective drying of strawberries: Experimental and modeling efficiency. *International Journal of Heat and Mass Transfer, 103*, 1065–1074. https://doi.org/10.1016/j.ijheatmasstransfer.2016.08.001

Szadzinska, J., Łechtanska, J., Kowalski, S. J., & Stasiak, M. (2017). The effect of high power airborne ultrasound and microwaves on convective drying effectiveness and quality of green pepper. *Ultrasonics Sonochemistry, 34*, 531–539. https://doi.org/10.1016/j.ultsonch.2016.06.030

Szadzinska, J., Łechtanska, J., Pashminehazar, R., Kharaghani, A., & Tsotsas, E. (2018). Microwave- and ultrasound-assisted convective drying of raspberries: Drying kinetics and microstructural changes. *Drying Technology, 37*(1), 1–12. https://doi.org/10.1080/07373937.2018.143319

Şengül, M., & Ünver, H. (2022). Farklı tatlandırıcılar ile üretilen kızılcık pestillerinin bazı fizikokimyasal özellikleri. *ATA-Gıda Dergisi, 1*(1), 0001.

Şimşek, A. (2019). Kırmızı pancar (Beta vulgaris L.) betalainleri üzerine termal destekli ultrasonik ekstraksiyonun etkisi. *Gıda, 44*(2), 318-327. https://doi.org/10.15237/gida.GD19027

Taghinezhad, E., Kaveh, M., Khalife, E., & Chen, G. (2021). Drying of organic blackberry in combined hot air-infrared dryer with ultrasound pretreatment. *Drying Technology, 39*(14), 2075–2091. https://doi.org/10.1080/07373937.2020.1753066

Tan, A. Ş., Altunok Memiş, A., Aldemir, M., Yılmaz, İ., & vd. (2016). Türkiye Endüstri Bitkileri Genetik Kaynakları. *ANADOLU Ege Tarımsal Araştırma Enstitüsü Dergisi, 26*(1), 28-45.

Tao, Y., Zhang, J., Jiang, S., Xu, Y., Show, P. L., Han, Y., & Ye, M. (2018). Contacting ultrasound enhanced hot-air convective drying of garlic slices: Mass transfer modeling and quality evaluation. *Journal of Food Engineering, 235*, 79-88. https://doi.org/10.1016/j.jfoodeng.2018.04.028

Todisco, K. M., Janzantti, N. S., Santos, A. B., Galli, F. S., & Mauro, M. A. (2018). Effects of temperature and pectin edible coatings with guava by-products on the drying kinetics and quality of dried red guava. *Journal of Food Science and Technology, 55*(12), 4735–4746. https://doi.org/10.1007/s13197-018-3369-6

Toğrul, İ. T., Çelebi, R. S., & Toğrul, H. (2018). Farklı ön işlem uygulanan Ahlatın kuruma ve büzülme davranışının modellenmesi. *Gazi Üniversitesi Mühendislik Mimarlık Fakültesi Dergisi, 33*(4), 1231-1246.

Tomar, O., & Yıldırım, G. (2019). Kırmızı Pancarın (Beta vulgaris var. Cruenta Alef.) Bazı Gıda Kaynaklı Patojenler Üzerindeki Antimikrobiyal Etkisi. *Turkish Journal of Agriculture - Food Science and Technology, 7*(1), 54. https://doi.org/10.24925/turjaf.v7isp1.54-60.2690

Tontul, I., & Topuz, A. (2017). Effects of different drying methods on the physicochemical properties of pomegranate leather (pestil). *LWT, 80*, 294–303. https://doi.org/10.1016/j.lwt.2017.02.035

Tontul, İ. (2017). Kırınım pencereli (refractance window) ve mikrodalga destekli sıcak hava kurutma teknikleri ile fonksiyonel bileşenlerce zengin nar pestili üretimi (Doctoral dissertation). Erişim adresi: http://acikerisim.akdeniz.edu.tr/xmlui/handle/123456789/3129

Tontul, İ., Eroğlu, E., & Topuz, A. (2019). Kırınım Pencereli Kurutma Ve Sıcak Hava Akımında Kurutma İşlem Şartlarının Kuşburnu Tozlarının Fizikokimyasal Özellikleri Üzerine Etkisi. *Gıda, 44*(1), 1-9.

TS (Türk Standardı). (1986). *TS 4890 Meyve ve sebze mamulleri: Çözünür katı madde miktarı tayini—Refraktometrik metot*. Türk Standartlar Enstitüsü, Necati Bey Cad. No: 112, Bakanlıklar, Ankara.

TS (Türk Standardı). (2000a). *TS 12680 Üzüm pestili*. Türk Standartlar Enstitüsü, Necati Bey Cad. No: 112, Bakanlıklar, Ankara.

TS (Türk Standardı). (2000b). *TS 12679 Kayısı pestili*. Türk Standartlar Enstitüsü, Necati Bey Cad. No: 112, Bakanlıklar, Ankara.

TS (Türk Standardı). (2000c). *TS 12678 Erik pestili*. Türk Standartlar Enstitüsü, Necati Bey Cad. No: 112, Bakanlıklar, Ankara.

TS (Türk Standardı). (2000d). *TS 12677 Dut pestili*. Türk Standartlar Enstitüsü, Necati Bey Cad. No: 112, Bakanlıklar, Ankara.

Tumbas Šaponjac, V., Čanadanović-Brunet, J., Ćetković, G., Jakišić, M., Djilas, S., Vulić, J., & Stajčić, S. (2016). Encapsulation of beetroot pomace extract: RSM optimization, storage, and gastrointestinal stability. *Molecules*, 21(5), 584.

Tüfekçi, S., & Özkal, S. G. (2018). Ultrases ön işleminin havuç dilimlerinin kuruma karakteristikleri üzerindeki etkisi. *Akademik Gıda*, 11–19. https://doi.org/10.24323/akademik-gida.415636

Tütüncü, M. A., & Labuza, T. P. (1996). Effect of geometry on the effective moisture transfer diffusion coefficient. *Journal of Food Engineering*, 30(3–4), 433–447. https://doi.org/10.1016/S0260-8774(96)00028-3

United States Department of Agriculture. (2019a). Agricultural Research Service, USDA Food Composition Databases. Retrieved from https://fdc.nal.usda.gov/fdcapp.html#/food-details/401314/nutrients

United States Department of Agriculture. (2019b). Agricultural Research Service, USDA Food Composition Databases. Retrieved from https://fdc.nal.usda.gov/fdcapp.html#/food-details/167540/nutrients

United States Department of Agriculture. (2019c). Agricultural Research Service, USDA Food Composition Databases. Retrieved from https://fdc.nal.usda.gov/fdcapp.html#/food-details/167541/nutrients

Vadivambal, R., & Jayas, D. S. (2010). Non-uniform temperature distribution during microwave heating of food materials—A review. *Food and Bioprocess Technology*, 3(2), 161–171. https://doi.org/10.1007/s11947-008-0136-0

Vaitkevičienė, N., Sapronaitė, A., & Kulaitienė, J. (2022). Evaluation of proximate composition, mineral elements, and bioactive compounds in skin and flesh of beetroot grown in Lithuania. *Agriculture*, 12(11), 1833.

Velioğlu, Y. S., Mazza, G., Gao, L., & Oomah, B. D. (1998). Antioxidant activity and total phenolics in selected fruits, vegetables, and grain products. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 46, 4113–4117. https://doi.org/10.1021/jf9801973

Verma, V., & Yadav, N. (2022). Acrylamide content in starch-based commercial foods by using high-performance liquid chromatography and its association with browning index. *Current Research in Food Science*, 5, 464–470. https://doi.org/10.1016/j.crfs.2022.01.010

Vulić, J., Čanadanović-Brunet, J., Ćetković, G., Tumbas, V., Djilas, S., Četojević-Simin, D., & Čanadanović, V. (2012). Antioxidant and cell growth activities of beetroot pomace extracts. *Journal of Functional Foods*, 4(3), 670–678.

Wang, C. Y., & Singh, R. P. (1978). Use of variable equilibrium moisture content in modeling rice drying. *Transactions of the American Society of Agricultural Engineers*, 11(6), 668–672.

Wang, J., Yang, X.-H., Mujumdar, A. S., Wang, D., Zhao, J.-H., Fang, X.-M., Zhang, Q., Xie, L., Gao, Z.-J., & Xiao, H.-W. (2017). Effects of various blanching methods on weight loss, enzymes inactivation, phytochemical contents, antioxidant capacity, ultrastructure, and drying kinetics of red bell pepper (Capsicum annuum L.). *LWT*, 77, 337–347. https://doi.org/10.1016/j.lwt.2016.11.070

Wang, L., Xu, B., Wei, B., & Zeng, R. (2018). Low frequency ultrasound pretreatment of carrot slices: Effect on moisture migration and quality attributes by intermediate-wave infrared radiation drying. *Ultrasonics Sonochemistry*, 40, 619–628. https://doi.org/10.1016/j.ultsonch.2017.08.005

Wang, J., Zhu, T., Cai, Y., Zhang, J., & Wang, J. (2020). Review on the recent development of corona wind and its application in heat transfer enhancement. *International Journal of Heat and Mass Transfer*, 152, 119545. https://doi.org/10.1016/j.ijheatmasstransfer.2020.119545

Wang, Z., Mhaske, P., Farahnaky, A., Kasapis, S., & Majzoobi, M. (2022a). Cassava starch: Chemical modification and its impact on functional properties and digestibility—a review. *Food Hydrocolloids*, 129, 107542. https://doi.org/10.1016/j.foodhyd.2022.107542

Wang, C., Zhang, L., Qiao, Y., Liao, L., Shi, D., Wang, J., & Shi, L. (2022b). Effects of ultrasound and ultra-high pressure pretreatments on volatile and taste compounds of vacuum-freeze dried strawberry slices. *LWT*, 160, 113232. https://doi.org/10.1016/j.lwt.2022.113232

Wang, X., & Wang, P. (2023). Red beetroot juice fermented by water kefir grains: Physicochemical, antioxidant profile, and anticancer activity. *European Food Research and Technology*, 249, 939–950. https://doi.org/10.1007/s00217-022-04185-7

Wang, K., He, P., Wang, Q., Yang, Z., Xing, Y., Ren, W., ... & Xu, H. (2024). Ultrasound pretreatment enhances moisture migration and drying quality of mulberry via microstructure and cell-wall polysaccharides nanostructure modification. *Food Research International*, *184*, 114245.

Whitaker, T., Barre, H. J., & Hamdy, M. Y. (1969). Theoretical and experimental studies of diffusion in spherical bodies with a variable diffusion coefficient. *Transactions of the ASAE*, 12(5), 668–672. https://doi.org/10.13031/2013.38924

Wu, Y., & Zhang, D. (2019). Pulsed electric field enhanced freeze-drying of apple tissue. *Czech Journal of Food Sciences*, 37(6), 432–438. https://doi.org/10.17221/230/2018-CJFS

Xu, X., Zhang, L., Feng, Y., Zhou, C., Yagoub, A. E. A., Wahia, H., ... & Sun, Y. (2021). Ultrasound freeze-thawing style pretreatment to improve the efficiency of vacuum freeze-drying of okra (Abelmoschus esculentus (L.) Moench) and the quality characteristics of the dried product. *Ultrasonics Sonochemistry*, 70, 105300.

Yıldırım, A. (2008). *Kırklareli ilinde geleneksel olarak üretilen pancar pekmezlerinin bazı kimyasal özellikleri üzerine bir araştırma* (Yüksek Lisans Tezi). Namık Kemal Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Gıda Mühendisliği Ana Bilim Dalı, Tekirdağ.

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

Yıldız, G. (2021). *Ultrases teknolojisinin gıdaların bioaktif bileşenleri üzerine etkisi* (ISBN: 978-625-8007-21-3). 133 sayfa, Ankara, Turkey.

Yoruk, R., & Marshall, M. R. (2003). Physicochemical properties and function of plant polyphenol oxidase: A review. *Journal of Food Biochemistry*, 27(5), 361-422.

Yüksel, F., Yavuz, B., & Baltacı, C. (2020). Hindistan cevizi unu ile zenginleştirilmiş dut pestillerin bazı fizikokimyasal, renk ve duyusal özelliklerinin incelenmesi. *Gümüşhane Üniversitesi Fen Bilimleri Dergisi*, 10(1), 43-50. https://doi.org/10.17714/gumusfenbil.545872

Zhang, X.-L., Zhong, C.-S., Mujumdar, A. S., Yang, X.-H., Deng, L.-Z., Wang, J., & Xiao, H.-W. **(**2019). Cold plasma pretreatment enhances drying kinetics and quality attributes of chili pepper (Capsicum annuum L.). *Journal of Food Engineering*, 241, 51–57. https://doi.org/10.1016/j.jfoodeng.2018.08.002

Zhang, L., Liao, L., Qiao, Y., Wang, C., Shi, D., An, K., & Hu, J. (2020). Effects of ultrahigh pressure and ultrasound pretreatments on properties of strawberry chips prepared by vacuum-freeze drying. *Food Chemistry*, 303, 125386. https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2019.125386

Zhou, C., Wang, Z., Wang, X., Yagoub, A. E., Ma, H., Sun, Y., & Yu, X. (2021). Effects of tri-frequency ultrasound-ethanol pretreatment combined with infrared convection drying on the quality properties and drying characteristics of scallion stalk. *Journal of the Science of Food and Agriculture*, 101(7), 2809–2817. https://doi.org/10.1002/jsfa.10910

EKLER

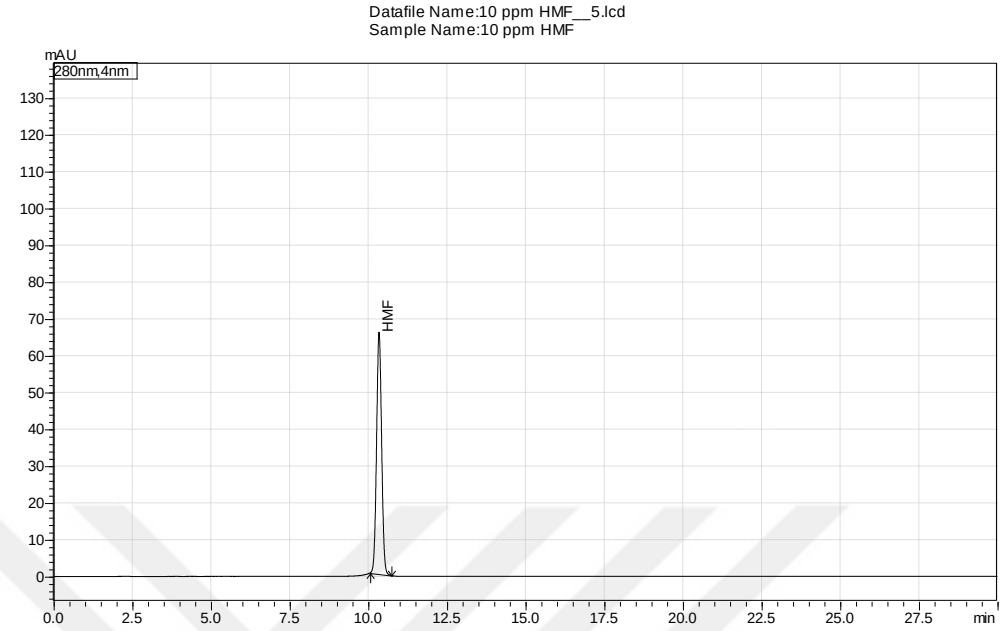
EK 1. HMF kalibrasyonu

EK 2. Kırmızı pancar pestilinde tespit edilen fenolik bileşenlere ait kromatogram

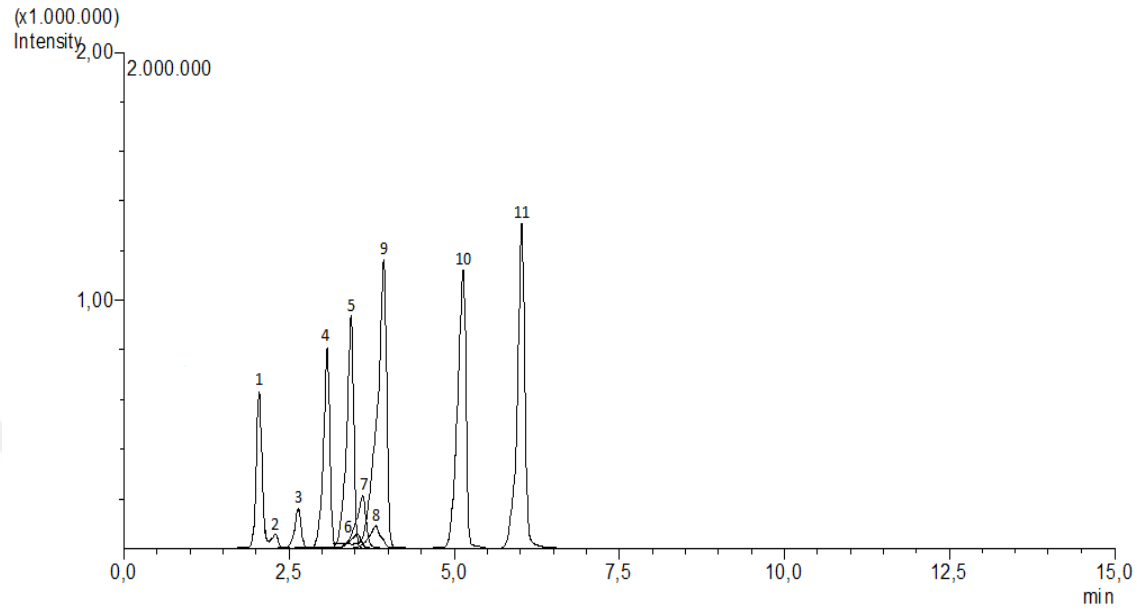
EK 3. Klorojenik asit standardına ait kalibrasyon eğrisi

EK 4. Potasyum kalibrasyon eğrisi

EK 1. HMF kalibrasyonu

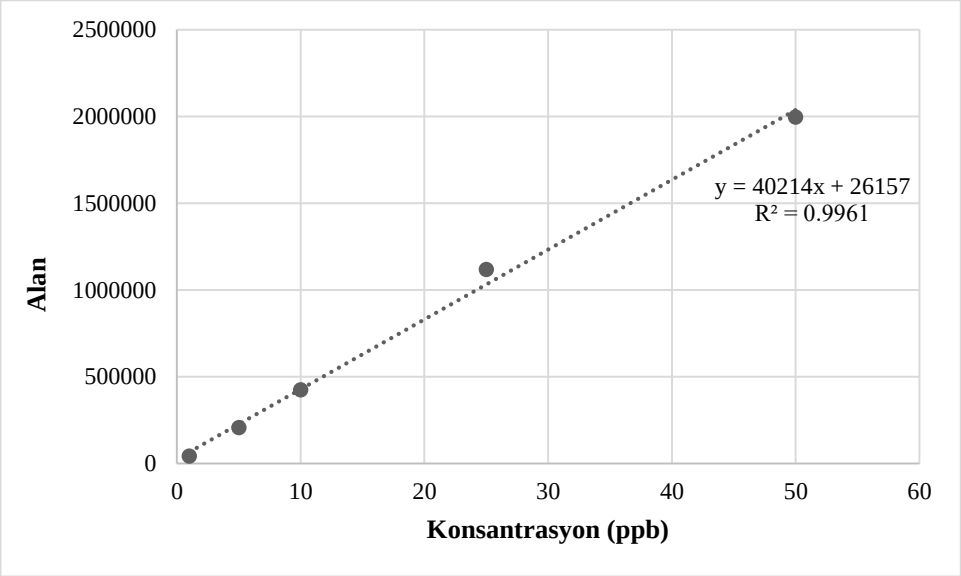


EK 2. Kırmızı pancar pestilinde tespit edilen fenolik bileşenlere ait kromatogram



(1) Klorojenik asit (2,01 dk), (2) Epikateşin (2,43 dk), (3) Kafeik asit (2,67 dk), (4) Rutin (3,10 dk), (5) İzokuersitrin (3,45 dk), (6) p-Kumarik asit (3,54 dk), (7) Vanilin (3,55 dk), (8) Ferulik asit (3,79 dk), (9) Taksifolin (3,87 dk), (10) o-salisilik asit (5,06 dk), (11) Kuersetin (5,95 dk)

EK 3. Klorojenik asit standardına ait kalibrasyon eğrisi



EK 4. Potasyum kalibrasyon eğrisi

