



T.C.

ALANYA ALAADDİN KEYKUBAT ÜNİVERSİTESİ

LİSANSÜSTÜ EĞİTİM ENSTİTÜSÜ

GIDA MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI

AKDENİZ İKLİM KOŞULLARINDA YETİŞEN ÇARKIFELEK MEYVESİNİN
(*Passiflora edulis* f. *edulis*) KABUKLARINDAN PEKTİN EKSTRAKSİYON
YÖNTEMLERİ ve KARAKTERİZASYONU

Yüksek Lisans Tezi

İpek BAYRAKCI

Danışman

Doç. Dr. Tuğba AKTAR KÜÇÜKASLAN

ALANYA

2026

T.C.
ALANYA ALAADDİN KEYKUBAT ÜNİVERSİTESİ
LİSANSÜSTÜ EĞİTİM ENSTİTÜSÜ

AKDENİZ İKLİM KOŞULLARINDA YETİŞEN ÇARKIFELEK MEYVESİNİN
(*Passiflora edulis* f. *edulis*) KABUKLARINDAN PEKTİN EKSTRAKSİYON
YÖNTEMLERİ ve KARAKTERİZASYONU

Yüksek Lisans Tezi

İpek Bayrakçı

Anabilim Dalı: Gıda Mühendisliği Anabilim Dalı

Program Adı: Gıda Mühendisliği Tezli Yüksek Lisans Programı

Danışman

Doç. Dr. Tuğba Aktar Küçükaslan

Bu tez çalışması BAP Komisyonunca kabul edilen 2024-02-09-MAP03 nolu proje kapsamında desteklenmiştir.

ALANYA
(2026)

JÜRİ VE ENSTİTÜ ONAYI

İpek BAYRAKCI'nın "Akdeniz İklim Koşullarında Yetişen Çarkıfelek Meyvesinin (*Passiflora edulis* f. *edulis*) Kabuklarından Pektin Ekstraksiyon Yöntemleri ve Karakterizasyonu" başlıklı tezi 29/12/2025 tarihinde aşağıdaki jüri tarafından değerlendirilerek "Alanya Alaaddin Keykubat Üniversitesi Lisansüstü Eğitim-Öğretim Yönetmeliği"nin ilgili maddeleri uyarınca, Gıda Mühendisliği Anabilim Dalında Yüksek Lisans tezi olarak oy birliği ile kabul edilmiştir.

Unvanı-Adı Soyadı	İmza
Üye (Tez Danışmanı) : Doç. Dr. Tuğba AKTAR KÜÇÜKASLAN	
Üye : Doç. Dr. Sinan UZUNLU	
Üye : Dr. Öğr. Üyesi Zehra KAYA	

Prof. Dr. Kemal VATANSEVER

Enstitü Müdürü

ETİK İLKE VE KURALLARA UYGUNLUK BEYANNAMESİ

Bu tezin bana ait, özgün bir çalışma olduğunu; çalışmamın hazırlık, veri toplama, analiz ve bilgilerin sunumu olmak üzere tüm aşamalarında bilimsel etik ilke ve kurallara uygun davrandığımı; bu çalışma kapsamında elde edilemeyen tüm veri ve bilgiler için kaynak gösterdiğimi ve bu kaynaklara kaynakçada yer verdiğimi; bu çalışmanın Alanya Alaaddin Keykubat Üniversitesi tarafından kullanılan “bilimsel intihal tespit programıyla tarandığını ve “intihal içermediğini” beyan ederim. Herhangi bir zamanda, çalışmamla ilgili yaptığım bu beyana aykırı bir durumun saptanması durumunda, ortaya çıkacak tüm ahlaki ve hukuki sonuçlara razı olduğumu bildiririm.

İpek BAYRAKCI

TEŞEKKÜR

İlk olarak, “Hayatta en hakiki mürşit ilimdir” sözüyle, bilim yoluna olan inancı ve vizyonu ile bana her zaman ilham veren; bir kadın olarak, eğitim ve bilim alanlarında bulunmamı sağlayan ve geleceğimi aydınlatan Başöğretmen Mustafa Kemal Atatürk’e,

Yüksek lisans eğitimim boyunca ve çokça emek isteyen bu tez sürecimde elinden gelen her desteği sunmaya hazır olan ve sunan, bilgi ve birikimlerini her koşulda aktaran ve yolumu aydınlatan, kariyer gelişimimde yol göstericiliği ve açık fikirleriyle her daim vizyonumu genişleten, manevi olarak bir öğretmenden çok daha fazlası olan ve beraber çalışmaktan şeref duyduğum kıymetli ve saygıdeğer danışmanım Doç. Dr. Tuğba AKTAR KÜÇÜKASLAN’a,

Bu tez çalışması, Alanya Alaaddin Keykubat Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projeleri Koordinatörlüğü 2024-02-09-MAP03 numaralı Münferit Araştırma Projesi kapsamında desteklenmiştir. Bu tez çalışmasına verdikleri tüm desteklerden dolayı Alanya Alaaddin Keykubat Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projeleri Koordinatörlüğü’ne,

Yüksek lisans sürecimde derslerimde emeği geçen ve öğrenme yolculuğumda edindiğim her yeni bilgiye katkısı olan tüm saygıdeğer öğretmenlerime,

Yüksek lisans tezimi inceleyerek katkı sağlayan ve değerli vakitlerini ayıran saygıdeğer tez savunma jürilerime,

Hayatıma girdiği günden beri varlığıyla bana umut veren ve motive eden, tez sürecimde her yorulduğum günün akşamında bir bakışıyla güç bulmamı sağlayan, sevgisiyle bana çok şey anlatan canım kedim Mıldır’a,

Son olarak, tezimde kullanmış olduğum mor çarkıfelek meyvelerini sevgisiyle yetiştirdiği bahçesinden temin ettiğim ve tez sürecime bizzat dahil olan, hayatım boyunca maddi ve manevi olarak beni her zaman cesaretlendiren ve her koşulda destekleyen, bana inanan, motive eden, koşulsuz seven canım ailem babam Mehmet BAYRAKCI’ya ve annem Ferda BAYRAKCI’ya, ayrıca bu süreçte yanımda olan tüm sevdiklerime,

Sonsuz sevgi ve teşekkürlerimi sunarım.

ÖZET

AKDENİZ İKLİM KOŞULLARINDA YETİŞEN ÇARKİFELEK MEYVESİNİN (*Passiflora edulis* f. *edulis*) KABUKLARINDAN PEKTİN EKSTRAKSİYON YÖNTEMLERİ VE KARAKTERİZASYONU

İpek BAYRAKCI

Gıda Mühendisliği Anabilim Dalı

Alanya Alaaddin Keykubat Üniversitesi, Lisansüstü Eğitim Enstitüsü,

Ocak, 2026 (181 Sayfa)

Günümüzde mor çarkıfelek meyvesinin bilinirliği gitgide artmaktadır; meyvenin, gıda endüstrisinde yaygın kullanımıyla atık olan kabuk kısımlarından pektin ekstrakte edilmesi sürdürülebilirlik ve döngüsel ekonomi açısından büyük önem taşımaktadır. Bu tez çalışmasında, Türkiye (Gazipaşa) iklim koşullarında yetişen çarkıfelek meyvesinin kabuklarından literatürde ilk kez en uygun ekstraksiyon yöntemini belirlemek adına dört farklı yöntemle pektin ekstrakte edilmiştir. Çalışmamızda pektin üretmek için geleneksel asit ile ekstraksiyon (95 °C, 60 dakika), mikrodalga destekli ekstraksiyon (600 Watt, 9 dakika), ultrases destekli ekstraksiyon (85 °C, 30 dakika, 37 kHz), ultrases destekli geleneksel asitle ekstraksiyon (95 °C, 30 dakika ardından 30 dakika, 37 kHz) yöntemleri seçilmiştir. Yöntemlerde sitrik asit, pH 2,0 ve 1:30 katı sıvı oranı sabit tutulmuştur. Pektinlerin fizikokimyasal özellikleri; verim, nem, esterleşme derecesi, galakturonik asit, renk değerleri, su ve yağ tutma kapasitesi, toplam antioksidan kapasitesi analizleri ile belirlenmiştir. Analiz sonuçlarına göre tüm pektin örneklerinin yüksek esterleşme derecesine sahip olduğu saptanmıştır. Verim (%10,98-15,97) ve nem (%3,80-5,85) bulgularında ekstraksiyon yöntemleri arasında fark bulunmamıştır ($p>0,05$). En yüksek esterleşme derecesine, galakturonik asit içeriğine ve yağ tutma kapasitesine sahip olan pektin ultrases destekli ekstraksiyon yöntemiyle elde edilirken ($p<0,05$); en yüksek su tutma kapasitesine ve toplam antioksidan kapasitesine sahip olan pektin ise mikrodalga destekli ekstraksiyon yöntemiyle elde edilmiştir ($p<0,05$). Elde edilen pektinler, ticari pektinden daha üstün özellikler göstermiştir. FTIR (Fourier Transform Infrared Spectroscopy) spektrumlarında spesifik bantların varlığı ile ürünlerin pektin olduğu doğrulanmıştır. Bu çalışmada kısa işlem süresi ve pektinlerin fizikokimyasal özellikleri düşünüldüğünde mikrodalga destekli ekstraksiyon yöntemi önerilmektedir.

Anahtar Sözcükler: Pektin, Mor çarkıfelek meyvesi, Geleneksel asit ile ekstraksiyon, Mikrodalga ile ekstraksiyon, Ultrases ile ekstraksiyon.

ABSTRACT

EXTRACTION METHODS AND CHARACTERIZATION OF PECTIN FROM PASSION FRUIT (*Passiflora edulis* f. *edulis*) PEELS GROWN UNDER MEDITERRANEAN CLIMATE CONDITIONS

İpek BAYRAKCI

Department of Food Engineering

Graduate School of Alanya Alaaddin Keykubat University,

January, 2026

In recent years, recognition of the purple passion fruit (*Passiflora edulis* f. *edulis*) has gained significant traction. Given its widespread application in the food industry, extracting pectin from the resultant waste fractions is of significant importance for sustainability and the global economy. In this study, pectin from passion fruit cultivated under Turkish (Gazipaşa) climatic conditions—for the first time in the literature—was extracted using four different methods to determine the optimum extraction technique. Conventional acid extraction (95 °C, 60 min), microwave-assisted extraction (600 Watt, 9 min), ultrasound-assisted extraction (85 °C, 30 min, 37 kHz), and ultrasound-assisted conventional acid extraction (95 °C, 30 min followed by 30 min, 37 kHz) were selected for pectin production. Citric acid (pH 2.0) and a solid-liquid ratio of 1:30 were maintained constant across all methodologies. The physicochemical properties of the pectins were characterized through analyses of yield, moisture content, degree of esterification (DE), galacturonic acid content (GA), color values, water and oil holding capacities (WHC/OHC), and total antioxidant capacity. The results indicated that all pectin samples possessed a high degree of esterification. No statistically significant differences were observed among the extraction methods regarding yield (10.98%–15.97%) and moisture (3.80%–5.85%) contents ($p>0.05$). While pectin produced via ultrasound-assisted extraction yielded the highest DE, GA content, and OHC ($p<0.05$), pectin obtained through microwave-assisted extraction exhibited the highest WHC and total antioxidant capacity ($p<0.05$). The pectins demonstrated superior characteristics compared to commercial pectin. The identity of the products as pectin was verified by the presence of specific bands in their FTIR spectra. Considering reduced processing time and resultant physicochemical properties of the pectins, the microwave-assisted method shows significant promise.

Keywords: Pectin, Purple passion fruit, Conventional acid extraction, Microwave extraction, Ultrasound extraction.

İÇİNDEKİLER

İÇ KAPAK SAYFASI	
JÜRİ VE ENSTİTÜ ONAYI	i
ETİK İLKE VE KURALLARA UYGUNLUK BEYANNAMESİ	ii
TEŞEKKÜR	iii
ÖZET	iv
ABSTRACT	v
İÇİNDEKİLER	vi
ŞEKİLLER LİSTESİ	ix
TABLolar LİSTESİ	xi
SİMGELER VE KISALTMALAR	xii
1. GİRİŞ	1
1.1. Tezin Amacı	3
1.2. Tezin Soruları	4
1.3. Tezin Hipotezleri/Varsayımları	4
2. LİTERATÜR	5
2.1. Pektinin Tarihçesi	5
2.2. Pektin ve Yapısı	6
2.3. Pektinin Özellikleri	10
2.3.1. Pektinin fiziksel özellikleri	10
2.3.2. Pektinin kimyasal özellikleri	11
2.3.3. Pektinin jelleşmesi	15
2.3.4. Pektinin esterleşme derecesi	17
2.3.4.1. Yüksek metoksilli pektin	18
2.3.4.2. Düşük metoksilli pektin	20
2.4. Pektinin Sağlık Üzerine Etkileri	22
2.4.1. Antikanser etkisi	28
2.4.2. İmmünoregülasyon ve antiinflamatuvar etkisi	28
2.4.3. Bağırsak sağlığına etkisi	29
2.4.4. Bilişsel sağlığa etkisi	30
2.4.5. Kan şekeri ve kan lipitlerine etkisi	31
2.5. Pektin Kaynakları	32
2.6. Pektin Üretimi	35

2.7. Pektin Ekstraksiyonu	36
2.7.1. Geleneksel asit ile pektin ekstraksiyonu	41
2.7.2. Mikrodalga ile pektin ekstraksiyonu	45
2.7.3. Ultrases ile pektin ekstraksiyonu	47
2.8. Pektinin Kullanım Alanları	50
2.8.1. Gıda endüstrisinde pektin kullanımı	51
2.8.2. Diğer alanlarda pektin kullanımı	53
2.9. Çarkıfelek Meyvesinin Özellikleri	56
2.10. Çarkıfelek Meyvesinin Sağlığa Olan Etkileri	60
3. YÖNTEM	64
3.1. Materyal	64
3.2. Metot	66
3.2.1. Pektin ekstraksiyonu	66
3.2.1.1. Geleneksel asit ile pektin ekstraksiyonu	68
3.2.1.2. Mikrodalga destekli pektin ekstraksiyonu	69
3.2.1.3. Ultrases destekli pektin ekstraksiyonu	69
3.2.1.4. Ultrases destekli geleneksel asit ile pektin ekstraksiyonu	70
3.2.2. Fizikokimyasal pektin analizleri	70
3.2.2.1. Verim analizi	70
3.2.2.2. Nem analizi	71
3.2.2.3. Esterleşme derecesi analizi	72
3.2.2.4. Galakturonik asit miktarı analizi	72
3.2.2.5. Renk analizi	73
3.2.2.6. Su tutma kapasitesi analizi	73
3.2.2.7. Yağ tutma kapasitesi analizi	74
3.2.2.8. Toplam antioksidan kapasitesi analizi	75
3.2.2.9. FTIR analizi	76
3.2.2.10. İstatistiksel yöntemler	76
4. BULGULAR	77
4.1. Pektinde Verim Bulguları	77
4.2. Pektinde Nem Bulguları	77
4.3. Pektinde Esterleşme Derecesi Bulguları	78
4.4. Pektinde Galakturonik Asit Bulguları	80
4.5. Pektinde Renk Bulguları	80

4.6. Pektinde Su Tutma Kapasitesi Bulguları	82
4.7. Pektinde Yağ Tutma Kapasitesi Bulguları.....	83
4.8. Pektinde Toplam Antioksidan Kapasitesi Bulguları.....	83
4.9. Pektinde FTIR Bulguları.....	84
5. TARTIŞMA, SONUÇ VE ÖNERİLER	87
5.1. Tartışma	87
5.1.1. Pektin ekstraksiyon koşullarının belirlenmesi ve araştırma deseni performansına etkisi.....	87
5.1.2. Pektinde verim analizi bulguları	90
5.1.3. Pektinde nem analizi bulguları	96
5.1.4. Pektinde esterleşme derecesi analizi bulguları	98
5.1.5. Pektinde galakturonik asit analizi bulguları.....	104
5.1.6. Pektinde renk analizi bulguları	108
5.1.7. Pektinde su tutma kapasitesi analizi bulguları.....	111
5.1.8. Pektinde yağ tutma kapasitesi analizi bulguları.....	114
5.1.9. Pektinde toplam antioksidan kapasitesi analizi bulguları.....	117
5.1.10. Pektinde FTIR analizi bulguları.....	123
5.2. Sonuç ve Öneriler	126
6. KAYNAKLAR	131
ÖZGEÇMİŞ	181

ŞEKİLLER LİSTESİ

Şekil 2.1 Pektinin hücre duvarı yapısı (selüloz mikrofibrilleri, hemiselüloz, pektin, çözünür proteinler) (Ilnicka ve Lukaszewicz, 2015).	8
Şekil 2.2 Pektin yapısının şeması (HG: Homogalakturnan, RG: Ramnogalakturnan, XGA: Ksilogalakturnan, AG: Arabinogalaktan) (Leclerc vd., 2013).....	13
Şekil 2.3 Homogalakturnanın birincil yapısı (Ridley vd., 2001).....	14
Şekil 2.4 Esterleşme derecesindeki farklılıkları gösteren pektinin kimyasal yapısı a) yüksek metoksilli pektin b) düşük metoksilli pektin (Steigerwald vd., 2021).	17
Şekil 2.5 Yüksek metoksilli pektinin jelleşme mekanizması (Kırmızı daire, pektin zincirleri arasındaki hidrojen bağı oluşumunu temsil etmektedir) (Said vd., 2023).....	19
Şekil 2.6 Yumurta kutusu modeli şeması (Ca^{2+} katyonlarının varlığında düşük metoksilli pektin jelleşmesi) (Belkheiri vd., 2021).....	21
Şekil 2.7 Pektin ekstraksiyon aşamaları (Adimas ve Abera, 2023).....	37
Şekil 2.8 Farklı pektin ekstraksiyon yöntemleri (Jeevitha vd., 2023).	38
Şekil 2.9 Pektin ekstraksiyon yöntemleri ve bazı parametreleri (Adimas ve Abera, 2023; Yu vd., 2024).	39
Şekil 2.10 1599-2025 yılları arasında Küresel Biyoçeşitlilik Bilgi Tesisi verilerine göre <i>Passiflora</i> L. yetiştirilen bölgeler a) Dünya b) Türkiye (<i>Passiflora</i> L. in GBIF Secretariat, 2023).	56
Şekil 2.11 Mor çarkıfelek meyvesi (<i>Passiflora edulis</i> f. <i>edulis</i>) morfolojisi (Foncesca vd., 2022).	58
Şekil 3.1 Mor çarkıfelek meyvesinin üretim alanı a) mor çarkıfelek bitkisi b) mor çarkıfelek meyvesinin içi.....	64
Şekil 3.2 Mor çarkıfelek meyvesi kabuğundan kuru kabuk tozu elde etme akış şeması (de Souza vd., 2018; Kulkarni ve Vijayanand, 2010; Liang vd., 2022; Seixas vd., 2014; Zhao vd., 2023).	65
Şekil 3.3 Mor çarkıfelek meyvesi (<i>Passiflora edulis</i> f. <i>edulis</i>) kabuklarından pektin eldesi yöntemlerine ilişkin görsellendirilmiş akış şeması.....	67
Şekil 3.4 Mor çarkıfelek meyvesi (<i>Passiflora edulis</i> f. <i>edulis</i>) kabuklarından pektin eldesi yöntemlerine ilişkin akış şeması (de Oliveira vd., 2016a; Kulkarni ve Vijayanand, 2010; Nguyen ve Pirak, 2019; Nguyen ve Quyen, 2022; Seixas vd., 2014).....	68
Şekil 3.5 Pektin veriminin hesaplanması akış görseli a) mor çarkıfelek meyvesi b) etüvden çıkarılmış çarkıfelek meyvesi kabukları c) öğütülmüş çarkıfelek meyvesi kabukları d) ekstraksiyon işleminden elde edilen jel pektin e) etüvde kurumuş pektin f) öğütülmüş kuru pektin	71
Şekil 3.6 Pektinde nem analizi	71
Şekil 3.7 Pektinde galakturonik asit analizi.....	73
Şekil 3.8 Pektinde renk analizi a) renk ölçüm cihazı b) pektin örnekleri.....	73

Şekil 3.9 Pektinde su tutma kapasitesi analizi a) mikrodalga destekli ekstraksiyon pektini b) ticari pektin.....	74
Şekil 3.10 Pektinde yağ tutma kapasitesi analizi.....	75
Şekil 3.11 Pektinde toplam antioksidan kapasitesi analizi	75
Şekil 4.1 Pektin örneklerinin esterleşme dereceleri (ED) ve FTIR gösterimleri a) ME: Mikrodalga destekli ekstraksiyon, pektini b) UE: Ultrases destekli ekstraksiyon, pektini c) GE: Geleneksel asit ile ekstraksiyon, pektini d) UGE: Ultrases destekli geleneksel asitle ekstraksiyon, pektini e) ticari pektin.....	79
Şekil 4.2 Pektin örneklerinin renkleri a) UGE: Ultrases destekli geleneksel asitle ekstraksiyon, pektini b) UE: Ultrases destekli ekstraksiyon, pektini c) ME: Mikrodalga destekli ekstraksiyon, pektini d) GE: Geleneksel asit ile ekstraksiyon, pektini e) ticari pektin	81
Şekil 4.3 Pektin örneklerinin FTIR sonuçlarının karşılaştırması (UGE: Ultrases destekli geleneksel asitle ekstraksiyon, UE: Ultrases destekli ekstraksiyon, ME: Mikrodalga destekli ekstraksiyon, GE: Geleneksel asit ile ekstraksiyon)	85
Şekil 4.4 Pektin örneklerinin FTIR analiz sonuçları a) ME: Mikrodalga destekli ekstraksiyon, pektini b) UGE: Ultrases destekli geleneksel asitle ekstraksiyon, pektini c) UE: Ultrases destekli ekstraksiyon, pektini d) GE: Geleneksel asit ile ekstraksiyon, pektini e) ticari pektin.....	86

TABLÖLAR LİSTESİ

Tablo 2.1 Pektinin FTIR spektrumunda karakteristik absorpsiyon bantları	18
Tablo 2.2 Pektinin sağlık üzerine etkileri	25
Tablo 2.3 Farklı pektin kaynakları	33
Tablo 2.4 Pektin kaynakları ve elde edilen verimler.....	34
Tablo 2.5 Pektin ekstraksiyon yöntemlerinin karşılaştırılması	39
Tablo 2.6 Çarkıfelek meyvesi kullanılarak geleneksel asit ile pektin ekstraksiyonu	44
Tablo 2.7 Çarkıfelek meyvesi kullanılarak mikrodalga ile pektin ekstraksiyonu.....	47
Tablo 2.8 Çarkıfelek meyvesi kullanılarak ultrases ile pektin ekstraksiyonu.....	50
Tablo 2.9 Çarkıfelek meyvesinin sağlığa olan etkileri.....	62
Tablo 4.1 Pektinde verim analizi bulguları	77
Tablo 4.2 Pektinde nem analizi bulguları	78
Tablo 4.3 Pektinde esterleşme derecesi analizi bulguları	78
Tablo 4.4 Pektinde galakturonik asit analizi bulguları.....	80
Tablo 4.5 Pektinde renk analizi bulguları	82
Tablo 4.6 Pektinde su tutma kapasitesi analizi bulguları.....	82
Tablo 4.7 Pektinde yağ tutma kapasitesi analizi bulguları.....	83
Tablo 4.8 Pektinde toplam antioksidan kapasitesi (% inhibisyon) analizi bulguları	84

SİMGELER VE KISALTMALAR

Simgeler

-CH ₃	Metil grubu
-OH	Hidroksil
%	Yüzde
°C	Santigrat derece
\$	Dolar
<i>a</i> *	(+) kırmızı, (-) yeşil
<i>b</i> *	(+) sarı, (-) mavi
Ca	Kalsiyum
cm	Santimetre
g	Gram
GHz	Gigahertz
kDa	Kilodalton
kg	Kilogram
kHz	Kilohertz
kJ	Kilojoule
<i>L</i> *	Aydınlık derecesi (0: siyah, 100: beyaz)
mg	Miligram
MHz	Megahertz
mL	Mililitre
nm	Nanometre
RPM	Dakika başına devir sayısı (Revolutions per minute)
W	Watt
w/v	Ağırlık-Hacimce yüzde
α	Alfa
β	Beta
μ g	Mikrogram
μ L	Mikrolitre
μ M	Mikromolar
μ s	Mikrosaniye

Kısaltmalar

ABD	Amerika Birleşik Devletleri
AG	Arabinogalaktan
ALKÜ	Alanya Alaaddin Keykubat Üniversitesi
DHA	3-deoksi-D-likso-2-heptulosarik
DMP	Düşük metoksilli pektin
DPPH	2,2-difenil-1-pikrilhidrazil
ED	Esterleşme Derecesi
EFSA	Avrupa Gıda Güvenliği Otoritesi (European Food Safety Authority)
f.	Form
FAO	Birleşmiş Milletler Gıda ve Tarım Örgütü (Food and Agricultural Organization)
FDA	Amerika Birleşik Devletleri Gıda ve İlaç Dairesi (Food and Drug Administration)
FTIR	Fourier Dönüşümlü Kızılötesi Spektroskopisi (Fourier Transform Infrared Spectroscopy)
Gal-3	Galektin-3
GalA	Galakturonik asit
GBIF	Küresel Biyoçeşitlilik Bilgi Tesisi (Global Biodiversity Information Facility)
GE	Geleneksel asit ile ekstraksiyon
GRAS	Genel olarak güvenli kabul edilen (Generally Recognized as Safe)
HDL	Yüksek yoğunluklu lipoprotein
HG	Homogalakturonan
IL	İnterlökin
IPPA	Uluslararası Pektin Üreticileri Birliği (The International Pectin Producers Association)
JECFA	Gıda Katkı Maddeleri Ortak FAO/WHO Uzman Komitesi (Joint FAO/WHO Expert Committee on Food Additives)
KDO	3-deoksi-D-manno-2-oktulosonik asit
KZYA	Kısa zincirli yağ asitleri
LDL	Düşük yoğunluklu lipoprotein

ME	Mikrodalga destekli ekstraksiyon
NaOH	Sodyum hidroksit
<i>p</i>	Olasılık (Probability)
<i>P.</i>	<i>Passiflora</i>
pH	Hidrojenin gücü (Power of hydrogen)
RG	Ramnogalakturonan
SS	Standart Sapma
TE	Troloks eşdeğeri
TG	Trigliserit
TLR	Toll benzeri reseptörler
TNF- α	Tümör Nekroz Faktör-alfa
UE	Ultrases destekli ekstraksiyon
UGE	Ultrases destekli geleneksel asitle ekstraksiyon
UV	Ultraviyole
var.	Varyate
vb.	ve benzerleri
vd.	ve diğerleri
XGA	Ksilogalakturonan
YMP	Yüksek metoksilli pektin

1. GİRİŞ

Ülkemizde çarkıfelek meyvesine olan ilgi ve bilinirlik gitgide artmaktadır. Çarkıfelek meyvesi, subtropik ve tropik bölgelerde yetiştiriciliği yapılan *Passifloraceae* familyasının *Passiflora* cinsine ait odunsu ve çok yıllık bir bitki olarak tanımlanmakta ve 500'den fazla türün arasında yaklaşık olarak 50-60 türün meyvelerinin tüketildiği ifade edilmektedir (He vd., 2020; Thokchom ve Mandal, 2017). Dünya’da ticari açıdan mor renkli (*Passiflora edulis* Sims f. *edulis*), tatlı (*P. alata*) ve sarı renkli (*P. edulis* f. *flavicarpa*) türleri yetiştirilmekte olup Türkiye’de ise Antalya ilinde Gazipaşa, Alanya ve Manavgat ilçelerinde üretilmektedir (Biner vd., 2016; Fonseca vd., 2022; Mavi ve Uzunoğlu, 2020). Brezilya’nın dünyanın en büyük çarkıfelek meyvesi üreticisi olduğu bilinmektedir (Macedo vd., 2023). Çarkıfelek meyvesinin besin değeri oldukça yüksektir, yenilebilir kısmında bulunan yüksek orandaki antioksidan ve fitokimyasal bileşenler sayesinde sağlığa olumlu yönde etki etmekte; ayrıca antihipertansif, gastroprotektif, antiinflamatuvar, antidiyabetik, antimikrobiyal ve antistres etki göstermektedir (Ripa vd., 2009). Çarkıfelek meyvesinin tohumları protein ve lipit içeriği açısından; kabuklarının ise diyet lifi ve pektin açısından zengin olduğu belirtilmektedir (Adimas ve Abera, 2023). Meyvenin içeriği; çarkıfelek meyvesinin türü, yetiştirildiği iklim, toprak durumu ve tarımsal uygulama gibi çeşitli faktörlere göre değişebilmektedir (Fonseca vd., 2025; Pineli vd., 2011). Meyvenin yaklaşık %60 kısmı kabuktan oluşmaktadır ve meyvenin işlenmesi sırasında kabuk ve tohumlar atık olmaktadır (Coelho vd., 2018; de Oliveira vd., 2015; Delvar vd., 2019; Freitas vd., 2020b; Liang vd., 2022; López-Vargas vd., 2013; Macedo vd., 2023; Oliveira vd., 2002; Seixas vd., 2014; Silva ve de Resende, 2023). Kabuk kısmı ise %15-20 oranında pektin içermektedir ve sürdürülebilirliği sağlamak adına çarkıfelek meyvesinin kabuğu sağlıklı yeni gıda ürünlerinin geliştirilmesinde potansiyel bir pektin kaynağı olarak umut vermekte; ayrıca pektin özellikleri bakımından ticari turuncgil pektinine olan benzerliği ile ticari pektin üretimi açısından yeni bir kaynak olarak karşımıza çıkmaktadır (de Oliveira vd., 2016a; Dos Reis vd., 2018; Lin vd., 2021; Ning vd., 2022; Vasco-Correa ve Zapata, 2017).

Pektin, bitkinin hücre duvarında orta lamelde yer alan D-galakturonik asit birimlerinin α -(1,4)-glikozid bağları ile birbirine bağlandığı doğrusal bir ana zincir ve bu ana zincire glikozid bağlar ile bağlı ramnoz moleküllerini içeren kompleks yapıli bir heteropolisakkarit olarak tanımlanmaktadır (Lara-Espinoza vd., 2018). Pektin, doğal bir gıda bileşenidir; Birleşmiş Milletler Gıda ve Tarım Örgütü’ne (FAO-Food and

Organization) göre güvenli gıda katkı maddesi olarak sınıflandırılmaktadır (Martău vd., 2019). Esterleşme derecesi (ED) dikkate alınarak ticari pektinler, düşük metoksilli pektin (DMP) ve yüksek metoksilli pektin (YMP) olmak üzere ikiye ayrılır; pektinin ED'si %50'nin üzerindeyse YMP; %50'nin altındaysa DMP olarak adlandırılmaktadır (Xie vd., 2021). YMP pH 3,5'in altındaki değerlerde, konsantrasyonu %55'ten fazla olan sükröz çözeltisiyle kolayca jelleşebilirken; DMP ise jel oluşturabilmek için Ca^{2+} (kalsiyum) iyonlarına ihtiyaç duymaktadır (Abid vd., 2017; Gawkowska vd., 2018). Pektinin galakturonik asit (GalA) içeriğinin FAO'ya göre en az %65; Uluslararası Pektin Üreticileri Birliği'ne (IPPA-The International Pectin Producers Association) göre ise en az %35 oranında olması gerekmektedir (Filianty vd., 2024; Freitas vd., 2021). GalA içerikleri ise ekstraksiyon koşullarına, hammaddeye ve çözücü çeşidi gibi faktörlere göre değişebilmektedir (Freitas vd., 2021). Pektin tekstil, ilaç, kozmetik ve sağlık gibi endüstrilerde; gıda endüstrisinde ise jelleştirici madde, stabilizatör, yağ ikamesi olarak kullanılabilir (Espinal-Ruiz vd., 2016). Kolesterol seviyesini azaltıcı, hücre apoptozunu ve bağışıklığı uyarıcı aktivite gibi birçok özellik göstermektedir (Güzel ve Akpınar, 2017). Türkiye'de pektin ihtiyacının genellikle ithalatla karşılandığı bilinmektedir (Şen vd., 2021). Dünyada ticari pektin %85 oranında turuncu posasından, %15 oranında elma posasından üretilmektedir (Bosch ve Malgas, 2023; Chan vd., 2017). Atık olan çarkıfelek meyvesi kabuğunun, pektin elde etmek için değerlendirilmesi, katma değer artırılması ve sürdürülebilirliğin sağlanması açısından önem arz etmektedir.

Meyve ve sebzelerden pektin eldesi ekstraksiyon, saflaştırma ve kurutma şeklinde sıralanabilen çok aşamalı bir fizikokimyasal işlem olarak belirtilmektedir (Adetunji vd., 2017). Sıcaklık, pH, süre, çözücü türü, katı sıvı oranı, hammaddenin boyutu ve türü gibi faktörler ekstraksiyona etki etmektedir (Grassino vd., 2016a; Grassino vd., 2018; Perussello vd., 2017). Pektin ekstraksiyonunda son zamanlarda mineral asitlerin kullanımı yerine organik asitlerin kullanımı gündeme gelmektedir (Adimas ve Abera, 2023). Ekstraksiyon işleminde doğanın kirlenmesine sebep olmadan hedeflenen bileşiğin verimini, bileşiğin özelliklerini etkilemeden maksimuma çıkarmak amaçlanmaktadır. Pektin ekstraksiyonunda kullanılan yöntem, elde edilen pektinin kalitesini ve verimini etkilemektedir. Pektin ekstraksiyonunda geleneksel asit yöntemi sıklıkla kullanılsa da bu işlemin uzun sürede gerçekleşmesi ve fazla enerji tüketmesi bir dezavantajdır; bu sebeple ultrases, mikrodalga gibi geleneksel yöntemlere alternatif olarak geliştirilen yeni yöntemler sürdürülebilirliği sağlamak ve çevreye olan zararı en aza indirebilmek adına karşımıza çıkmaktadır (Marić vd., 2018). Geleneksel asitle ekstraksiyon yönteminde pektin;

genellikle 1 saat süresince sürekli karıştırma ile pH 1,0-3,0 değerinde, 80–100 °C sıcaklıklarda, mineral veya organik asitle asitlendirilmiş su içinde ekstrakte edilmektedir (Adetunji vd., 2017). Ultrases ile ekstraksiyonda, ultrases dalgaları sıvının içerisinde ani basınç ve sıcaklık değişimleriyle patlayan hava kabarcıklarını meydana getirmektedir. Kavitasyon adı verilen bu olay, bu yöntemin prensibini oluşturmaktadır. Hücre duvarının yakınında bulunan kavitasyon kabarcıklarının patlamasıyla hücre bozulması meydana gelmekte; bu sayede hücreye daha hızlı ve güçlü bir şekilde çözücü girişi olarak kütle transferi yoğunlaşmaktadır (Adetunji vd., 2017; Marić vd., 2018; Misra vd., 2018; Tiwari, 2015). Mikrodalga ile ekstraksiyon ise bitki moleküllerinin mikrodalgaya maruz bırakılarak dielektrik ısıtılmasını içeren ve bitki moleküllerini doğrudan ekstrakte eden geleneksel olmayan bir yöntem olarak tanımlanmaktadır. Mikrodalga enerjisinin emilmesi, suyun dipolar dönüşümüne neden olmakta, böylece bitki dokularında ısı ve buharlaşma meydana gelmektedir. Oluşan su buharları bitkinin hücre duvarlarında basınç oluşturarak bitki hücresinin parçalanmasını sağlamakta ve bitkinin içeriği serbest kalmaktadır (Sandarani, 2017). Bu iki yöntem geleneksel yöntemle kıyasla daha kısa ekstraksiyon süresi, düşük enerji tüketimi, artan verim ve kaliteli son ürün gibi pek çok avantaja sahiptir; ayrıca ekstraksiyon yöntemlerinin kombinlenerek birlikte uygulanması ile pektinin verim ve fizikokimyasal özelliklerinin iyileşebileceği belirtilmektedir (Adetunji vd., 2017; Bagherian vd., 2011; Chemat vd., 2017; Marić vd., 2018).

Literatürdeki tüm bu bilgilerin ışığında çarkıfelek meyvesinin kabuğundan pektin ekstraksiyonu çalışmalarının Türkiye’de hiç yapılmadığı; Dünya’da ise az sayıda çalışmanın olduğu göze çarpmaktadır. Literatürdeki pektin ekstraksiyonu çalışmalarının genellikle sarı çarkıfelek (*Passiflora edulis* f. *flavicarpa*) türüyle yapıldığı düşünüldüğünde; bu tez çalışmasında mor çarkıfelek (*Passiflora edulis* f. *edulis*) türünden elde edilen pektinin incelenmesiyle tür farklılıklarının ortaya konması ve böylece literatüre katkı sağlanması amaçlanmaktadır. Ayrıca bu çalışmada Türkiye koşullarında yetişen mor çarkıfelek meyvesinden, dört farklı ekstraksiyon yöntemi bir arada incelenerek, elde edilen pektinlerin karakterlerinin ilk kez araştırılması literatürdeki boşluğu doldurma potansiyeline sahip olup tezin özgün değerini ortaya koymaktadır.

1.1. Tezin Amacı

Bu çalışmada mor çarkıfelek meyvesinin atık kabul edilen kabuk kısımlarından farklı yöntemler kullanılarak pektin ekstraksiyonunun sağlanması; elde edilen pektin örneklerinin karakterizasyonunun araştırılması, verimin hesaplanması ve verimin

arttırılması, birbirleriyle kıyaslanarak teknolojik ve besinsel yönden en ideal ekstraksiyon yönteminin belirlenmesi amaçlanmaktadır. Ayrıca bu doğrultuda önemli bir gıda katkı maddesi olan pektinin farklı kaynaklardan da üretim potansiyelinin ortaya konması hedeflenmektedir.

1.2. Tezin Soruları

Yapılan çalışmada temel araştırma soruları şunlardır:

- Türkiye (Gazipaşa, Antalya) iklim koşullarında yetişen mor çarkıfelek meyvesinden elde edilen pektinin verimi ve karakteristik özellikleri literatürde üretimin yapıldığı diğer coğrafi koşullara göre nasıl değişmektedir?
- Pektin eldesinde mor çarkıfelek meyvesinin atık olan kabuk kısımlarının kullanılması ve bunun çevre dostu ekstraksiyon yöntemleri ile yapılması mümkün müdür?
- Dört farklı yöntem kullanılarak elde edilen pektin, ticari pektin kaynağı olarak kullanılabilir midir?
- En verimli ve kaliteli pektin elde etme yöntemi hangisidir?

1.3. Tezin Hipotezleri/Varsayımları

Yapılan tez çalışmasındaki hipotezler:

- Hipotez 1: Türkiye iklim koşullarında yetişen mor çarkıfelek meyvesinden elde edilen pektinin kimyasal değerleri ile verimi yüksektir ve ticari pektin kaynağı olarak kullanılır.
- Hipotez 2: Türkiye iklim koşullarında yetişen mor çarkıfelek meyvesinden elde edilen pektinin kimyasal değerleri ve verimi yüksek olmamakla birlikte iyi bir jelleşme özelliği göstermemektedir.

2. LİTERATÜR

2.1. Pektinin Tarihçesi

Pektinin 18. yüzyılda keşfedildiği bilinmektedir. Kimyager Louis Nicolas Vauquelin 1700'li yıllarda yaptığı çalışmalarında bazı sebzelerin ve meyvelerin jel yapabildiğinden bahsetmektedir. Pektin, ilk kez 1825'te kimyager olan Henri Braconnot tarafından izole edilmiştir ve tanımlanmıştır. Ayrıca pektinin Yunanca'da sertleştirici, pelteleştirici gibi anlamlara gelen pektikos kelimesinden türetildiği bilinmektedir (Haque vd., 2025; Leelamani vd., 2018; Nasserı vd., 2008).

1923 yılında Smolenski, pektini bir GalA polimeri olarak tanımlamıştır. 1930'da Meyer ve Mark, pektin molekülünün zincir yapısını keşfetmiştir. 1937'de ise Schneider ve Bock, pektin molekülünün ilk kimyasal formülünü ortaya koymuştur. 1951 yılında Kertesz, pektini esas olarak kısmen metil esterleşmiş GalA ile bazı nötral şekerler içeren bir heteropolisakkarit olarak tanımlamıştır. de Vries ve çalışma arkadaşları 1980'lerdeki çalışmalarında pektinin iki ana bölgesinin varlığını ortaya koymuşlardır; nötr şeker yan zincirleri içeren kısımları kıllı ramnogalakturonik bölgeler olarak ve düz homogalakturonik bölgeler olarak ifade etmişlerdir (Kanse vd., 2017; Nasserı vd., 2008).

Günümüzde ise pektinin farklı alanlardan oluşan ve birbirine bağlı heterojen makromolekül olduğu kabul edilmektedir. Bu yapının miktarı ve yapısı, hücre gelişim aşamaları, hücre duvarı içindeki konumu, botanik kökeni gibi parametrelere göre değişmektedir (Voragen vd., 2009). Bunlara ek olarak hücre duvarında çok ve az sayıda bağlı olan çeşitli pektin popülasyonları bir arada bulunmaktadır ve pektini çıkarmak için çok sayıda çıkarma adımına ihtiyaç duyulmaktadır (Broxterman ve Schols, 2018).

Sıvı pektin üretiminin 1908 yılında Almanya'da başladığı belirtilirken; 1913 yılında patentinin alındığı ve Amerika'da üretildiği bilinmektedir (Canteri vd., 2012a). Turunçgil kabuğundan pektin elde eden ilk tesis 1926 yılında Kaliforniya'da kurulmuştur. Ayrıca Almanya'da 1934 yılında kurutulmuş elma posasından pektin üretilmiştir. İlk büyük ölçekli sıcak seyreltik mineral asitle protopektin hidroliz tesisinin Fransa'da 1941'de kurulduğu bilinmektedir. İlk zamanlarda meyve suyu üretimindeki meyvelerin atıklarından elde edilen pektinin, 1965 yılına gelindiğinde sanayide esas olarak reçel ve jölelerde jel oluşturuıcı madde olarak elde edildiği ifade edilmektedir (Ciriminna vd., 2022; Nasserı vd., 2008).

Pektin, doku verici jelleştirici madde olarak kullanımın yanı sıra çok yönlü ve güvenli bir hidrokolloid olarak sınıflandırılmaktadır (Ciriminna vd., 2022). Pektin

1981’de Gıda Katkı Maddeleri Ortak FAO/WHO Uzman Komitesi (JECFA-Joint FAO/WHO Expert Committee on Food Additives) tarafından değerlendirilmiş ve E440 koduyla bilinen pektin kabul edilebilir günlük alımı ile toksikolojik yönden güvenli olarak kabul edilmiştir (EFSA, 2017).

Bunun yanı sıra fizyolojik etkilerinden dolayı sağlık endüstrisi gibi pek çok endüstride kullanımı yaygınlaşmaktadır (Ciriminna vd., 2015). 2000’lerin başlarından itibaren ise pektinin prebiyotik ve diyet lifi olarak farklı sağlık ve beslenme yararlarının olduğu anlaşılmaya başlanmıştır. Avrupa Gıda Güvenliği Otoritesi (EFSA-European Food Safety Authority) 2010’da pektinin bir besin takviyesi olarak postprandiyal glisemik yanıtların azaltılması, normal kan kolesterol konsantrasyonlarının korunması ve tokluk hissinin artırılmasıyla enerji alımının düşürülmesi konusunda beslenme ve sağlık iddialarını bilimsel olarak ifade etmiştir (EFSA, 2010).

2016’da pektinin birçok hidrokolloidin yerini alacağı belirtilirken (Ciriminna vd., 2016); 2020’deki verilerde pektinin gıda hidrokolloidleri arasında üçüncü sırada yer aldığı belirtilmektedir (Seisun ve Zalesny, 2021). Bu bağlamda da küresel pektin üretimi önemli ölçüde artmaktadır (Ciriminna vd., 2022).

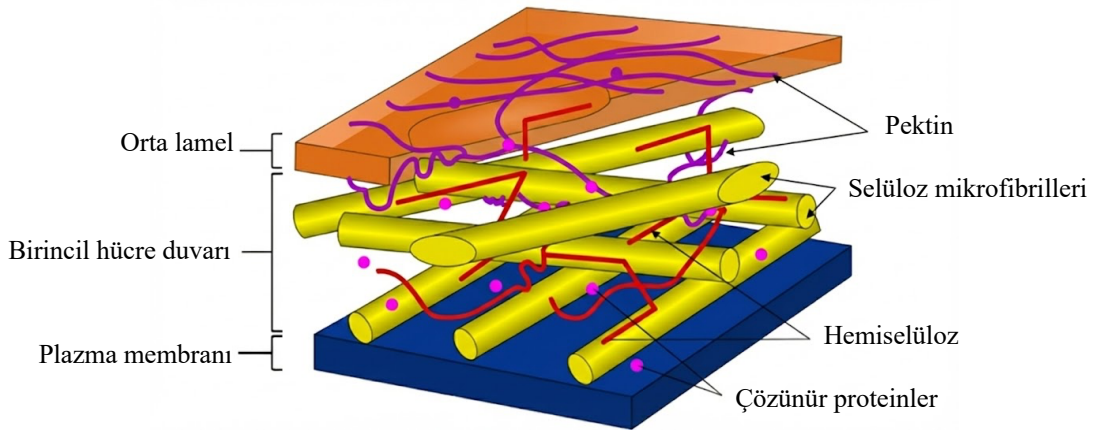
Türkiye ise pektini genel olarak ithal etmektedir (Şen vd., 2021). Türkiye’nin 2023 yılında 130220 kodu ile pektik maddeler, pektinatlar ve pektatlar ithalatının toplamda 10.441,57 bin Amerika Birleşik Devletleri (ABD) doları değerinde ve 771,133 kg miktarında gerçekleştiği bildirilirken; 2024 yılında ise 11.343,62 bin ABD doları değerinde ve 953,761 kg miktarında gerçekleştiği bildirilmiştir. 2024 yılında ithalatın yapıldığı ülkelerin başında Almanya gelirken, ardından Brezilya, İrlanda, Çin ve Danimarka gelmektedir. Türkiye’nin 2023 yılındaki pektin ihracatının 1.610,48 bin ABD doları değerinde ve 102,478 kg miktarında gerçekleştiği bildirilirken; 2024 yılında ise 3.555,99 bin dolar değerinde ve 322,785 kg miktarında gerçekleştiği bildirilmiştir (World Integrated Trade Solution, 2023a; 2023b; 2024a; 2024b). Bu bağlamda gıda ve diğer endüstriler açısından pektine olan ihtiyacın giderek arttığı görülmektedir.

2.2. Pektin ve Yapısı

Sertleştirici ve pelteleştirici anlamına gelen pektin, karasal bitkilerin hücre duvarının orta lamelinde selüloz ve hemiselülozla birlikte yer alan; hücre büyüdükçe ve genişledikçe biriken kompleks yapıya sahip, 17’ye kadar farklı monosakkaritten oluşan ve 20’den fazla farklı bağ içerdiği bilinen bir heteropolisakkarit olarak tanımlanmaktadır (Naqash vd., 2017; Ridley vd., 2001; Voragen vd., 2009). Bitkinin gelişim sürecinin

pektinin yapısı ve bileşimi üzerinde büyük bir etkiye sahip olduğu ifade edilmektedir. Pektin, hücre içinde suyun ve besinin hareketi için bir kanal sağlamak; bitkide selüloz fibrillerini diğer polimerlere kovalent olarak bağlayan ana bağlayıcı madde olarak görev yapmaktadır. Dolayısıyla hücre duvarının turgor basıncının korunmasına yardımcı olarak bitkilerin uzamasını ve büyümesini desteklemektedir (Freitas vd., 2021; Wang vd., 2015). Bitki hücre duvarlarının oluşumunda önemli bir rol oynayan pektin, bitkiye esneklik ve mekanik güç sağlamak; ayrıca hücrenin sertliğini ve bütünlüğünü korumaktadır (Oumer, 2017). Bu bağlamda pektin, katıldığı ürünlerin tekstürel kalitesine katkı sağlamaktadır (Wicker vd., 2014). Öte yandan pH, iyon dengesi, yüzey yükü ve gözeneklilik vb. gibi farklı hücre duvarı özelliklerini etkilemektedir; bu bağlamda hücre duvarında iyon taşınmasında önem arz etmektedir. Pektin oligosakkaritleri bitkinin savunma tepkilerini aktive ederek antimikrobiyal aktivite spektrumuna sahip olan fitoaleksinin birikimini tetiklemektedir. Ek olarak, bu oligosakkaritlerin bitki dokularında lignifikasyonunu tetiklediği bilinirken; aynı zamanda proteaz inhibitörlerinin birikimini tetiklemektedir (Hachem vd., 2016). Bu bağlamda hücre duvarı bileşenlerinin ana rolü, emilim yoluyla hücre dışı su fazını korumak, dışarıya karşı bir bariyer görevi görmek ve bitkilere mekanik dayanıklılık kazandırmak olarak belirtilmektedir (Leclerc vd., 2013).

Kompleks kolloidal polisakkarit olan pektinler farklı sebze ve meyvelerin yapısında bulunmaktadır. Dış ve iç tabakalar arasında bulunan orta lamelde pektik maddeler bulunmaktadır (Lara-Espinoza vd., 2018; Tapre ve Jain, 2014). Birincil bitkilerin hücre duvarı Şekil 2.1’de görüldüğü üzere esas olarak pektin, selüloz, hemiselüloz olacak şekilde üç sınıf polisakkarit içermektedir (Freitas vd., 2021). Çoğunlukla bitkilerin primer hücre duvarları; %5 protein, %30 hemiselüloz, %30 selüloz ve %35 pektinden oluşmaktadır. Odunsu dokular %5, otlar ise %2-10 oranında pektin içermektedir (Nasseri vd., 2008; Voragen vd., 2009). Pektin sentezi bitkilerin genişleyen hücre duvarlarında, büyümenin ilk aşamalarında golgi sisteminde gerçekleşmektedir (Chandel vd., 2022; Lara-Espinoza vd., 2018, Scheller vd., 2007). Hücre duvarının yaklaşık olarak üçte birini oluşturduğu bilinen pektin, birincil hücre duvarından plazma membranına doğru ilerledikçe azalmaktadır (Sriamornsak, 2003).



Şekil 2.1 Pektinin hücre duvarı yapısı (selüloz mikrofibrilleri, hemiselüloz, pektin, çözünür proteinler) (Ilnicka ve Lukaszewicz, 2015).

Pektin, yapısal olarak düz bölge olan homogalakturnan (HG) kısım ve genellikle nötral şekerlerin bulunduğu dallı bölge olarak adlandırılan ramnogalakturnan (RG) kısımdan oluşmaktadır (Babbar vd., 2016; Maxwell vd., 2012). Bu bileşenler birbirlerine iyonik çapraz bağ veya kovalent bağ ile bağlanmaktadır (Babbar vd., 2016). GalA, D-galaktozun oksitlenmiş halidir ve pektin yapısında en çok bulunan mosakkarit olarak bilinirken; yapıda L-arabinoz, D-galaktoz, L-ramnoz ve diğerlerinin de bulunduğu bilinmektedir (Adetunji vd., 2017; Chan vd., 2017; Da Silva ve Rao, 2006). Pektin, GalA ünitelerinden oluşan yapısal bir polisakkarittir; GalA üniteleri ise birbirine α -(1,4)-glikozid bağı ile bağlanmaktadır. Pektinin GalA kalıntılarının bir kısmı metil esterleşmiş halde olabilirken, bir kısmı ise amonyakla işlenerek amidlenmiş (karboksamid formuna dönüştürülmüş) halde olabilmektedir (Mukhiddinov vd., 2000). FAO'ya göre pektin yapısının %65'ten fazla GalA içermesi gerekmektedir (Freitas vd., 2021; Karnik ve Wicker, 2018; Ngouémazong vd., 2015). Öte yandan IPPA pektinin en az %35 oranında GalA içermesi gerektiğini ifade etmektedir (Filianty vd., 2024; Mada vd., 2022). Pektinin yapısı, D-galakturnik asidin doğrusal zincirleri olan HG iskeletini, ona bağlı RGI, RGII ve ksilogalakturnan (XGA) olmak üzere dört ana pektik bileşeni ve alt alanları içerir, dolayısıyla kompleks bir bileşiktir (Harholt vd., 2010). Pektinin yapısal karmaşıklığından dolayı, sentezi için glikoziltransferazlar, metiltransferazlar ve asetiltransferazlar gibi yaklaşık olarak 67 enzim gerekmektedir (Lara-Espinoza vd., 2018).

Amerikan Kimya Derneği omurga zincirdeki modifikasyonlarına göre pektik maddeleri; protopektin, pektinik asit, pektin ve pektik asit olarak dört ana türe ayırmaktadır (Chandel vd., 2022). Protopektin, bitki hücre duvarlarının iç dokularında yaygın olarak bulunan olgunlaşmamış bitkilerin ve meyvelerin bazı kısımlarında bulunan suda çözünmeyen; ancak olgunlaşmayla protopektinaz gibi pektolitik enzimlerle hidroliz

olarak suda çözünür pektik maddeleri oluşturan bir form olarak bilinmektedir (Sakamoto vd., 1993; Sista Kameshwar vd., 2018). Protopektinin polimer yapısının tamamen parçalanmadan kısmen hidrolize edilmesi, kısıtlı hidrolizi, sonucunda suda çözünür form olan pektin veya pektinik asit oluşmaktadır (Tapre ve Jain, 2014). Pektinik asitler %75'ten daha az metillenmiş galakturonat ünitelerine sahip uzun poligalakturonanlardan oluşmaktadır (Chandel vd., 2022). Pektinin ise galakturonat ünitelerinin karboksil gruplarının en az %75'inin metille esterleştiği ifade edilmektedir. Ayrıca pektin, pektinik asitleri ana bileşen olarak içeren bir polimer grubu olarak belirtilmektedir. Pektin veya pektinik asit jel oluşumu için gereklidir; pektinik asit şeker ve asitle jel oluşturabilirken, metoksil seviyesi belli bir düzeyin altındaysa bazı metal iyonlarıyla da jel oluşturabilmektedir (Kashyap vd., 2001; Oumer, 2017; Sista Kameshwar vd., 2018). Pektinesterazlar, pektinin metoksil gruplarının deesterifikasyonunu katalize ederek pektik asidi oluşturmaktadır. Pektik asit jel oluşturmamakta, aşırı olgun sebzeler ve meyvelerde bulunmaktadır (BeMiller, 1986; Sakamoto vd., 1993; Tapre ve Jain, 2014). Pektik asidin karboksil gruplarının çok azı metil ile esterleşmekteyken; pektinik asidin daha çok miktarının metil ile esterleştiği belirtilmektedir (BeMiller, 1986).

Sebzelerin ve meyvelerin olgunlaşmasıyla pektik maddeler kimyasal değişikliğe uğramaktadır. Depolama ve olgunlaşma esnasında endojen enzimlerin varlığıyla polisakkarit ağı yeniden düzenlenip bozunabilmekte ve pektinin yapısında değişikliklere, orta lamelin çözünmesine ve hücre duvarının yırtılmasına sebep olabilmektedir (Goulao ve Oliveira, 2008). Pektinin bozunmasından sorumlu olan pektin metilesteraz, poligalakturonaz gibi endojen enzimler, GalA üniteleri arasındaki α -(1,4)-glikozid bağları hidroliz etmekte ve sırasıyla metil gruplarını demetile etmektedir (Cárdenas-Pérez vd., 2018). Literatürde meyve ve sebzelerin olgunlaşma süreçlerine ilişkin çalışmalar bulunmaktadır. Bu çalışmalardan birinde mangonun olgunlaşmasıyla pektinin bozunduğu, ortalama iskelet uzunluğunun olgunlaşmayla %67,2 oranında azaldığı belirtilirken; diğer bir çalışmada ise şeftali ve alıçların olgunlaşmasıyla pektinlerinin moleküler ağırlığının, GalA içeriğinin ve metil esterleşmesinin azaldığı belirtilmektedir (Jiang vd 2024; Wei vd., 2024). Dolayısıyla aşırı olgun meyveler kullanılarak yapılan reçel vb. ürünlerin zayıf bir jelleşme gösterdiği belirtilmektedir.

2.3. Pektinin Özellikleri

2.3.1. Pektinin fiziksel özellikleri

Pektin, yaklaşık olarak birkaç yüz ile 1000 şeker ünitesi arasında şeker içerirken; ortalama molekül ağırlığı ise 50,000-150,000 dalton arasında değişebilmektedir (Riyamol vd., 2023; Sriamornsak, 2003; Sundar Raj vd., 2012). Bu değerler pektin örneklerinin elde edilme biçimine, depolanmasına ve yapısal farklılıklarına göre değişmektedir (Novosel'skaya vd., 2000). Pektinin belirli bir erime noktası olmadığı ve ısıtıldığı zaman kömürleştiği belirtilirken; sıcaklığa karşı olan hassasiyeti elde edildiği kaynağa göre farklılaşmaktadır (Arslan, 1994). Pektin açık bir renge sahiptir; ancak pektinin elde edilme biçimine ve bitkinin kaynağına göre rengi değişebilmektedir. Pektinin elde edilme aşaması olan kurutma işlemi renk açısından önemli bir parametredir ve çalışmalarda kurutma aşamasında etüvün kullanıldığı pektinlerin daha koyu renkli olduğu bildirilmektedir (Begum vd., 2017). Turunçgil meyvelerinden elde edilen pektinlerin açık krem tonlarında, elma posasından elde edilen pektinlerin ise daha koyu renkli olduğu ifade edilmektedir (Sriamornsak, 2003).

Pektin, saf suda; tek değerlikli pektik ve pektinik asit ise genellikle suda çözünmektedir. Pektin tozunun suyla karıştırıldığında hızlıca hidrate olduğu ve küme şeklini aldığı bilinmektedir (BeMiller, 1986; McCready, 1966). Bu kümeleşmeyi ortadan kaldırmak için uzun ve kuvvetli bir çalkalama gerekmektedir (Sundar Raj vd., 2012). Çözünen pektini çöktürmek amacıyla sulu çözeltinin içine aseton, propanol, metanol ve etanol gibi çözücüler eklenebilmektedir (de la Hoz Vega vd., 2018). Pektin çözeltisinin fiziksel özellikleri pektinin molekülündeki ramnoz içeriğine, metoksilleşme derecesine, molekülünün büyüklüğüne ve ayrılmış karboksil gruplarının derecesine göre değişebilmektedir (Koç ve Elmas, 2019). Pektinlerin artan iyon gücüyle çözünürlükleri azalmaktadır. Pektin çözeltilerinde belirli bir doygunluk sınırı olmamakla birlikte; %3 ve %4'ün üzerinde derişime sahip çözeltilerin elde edilmesinin oldukça zor olduğu belirtilmektedir (Löfgren, 2000). Pektinin fiziksel özellikleri lineer polianyon yapısından kaynaklanmaktadır. Çözelti içerisinde pektinin tek değerlikli katyon tuzları fazlaca iyonlaşmakta ve Coulomb kuvvetinden kaynaklı olarak moleküldeki iyonik yük dağılımı pektini ortam içerisinde tutabilmektedir. Karboksilat anyonları arasında bulunan Coulomb kuvveti, polimer zincirlerindeki kümeleşmeyi engellemektedir (Mahdy vd., 2024; Sriamornsak, 2003). Literatürde, metilasyon derecesinin yükselmesiyle çözünürlüğün artacağı; fakat polimer boyutunun artmasıyla çözünürlüğün azalacağı

belirtilmektedir (Sila vd., 2009). Sulu çözeltide pektinin çözünürlüğünü; pH, metilasyon derecesi, çözeltide bulunan iyonlar, sıcaklık ve moleküler ağırlığı gibi parametreler etkilemektedir (BeMiller, 1986; Sriamornsak, 2003; Thibault ve Ralet, 2003).

Pektinin %1,0'dan (w/v) düşük veya eşit hazırlandığı düşük konsantrasyondaki seyreltilmiş çözeltilerinde newton tipi akış görülürken; %1,0'dan (w/v) büyük veya eşit, konsantrasyonun arttırıldığı çözeltilerinde ise psödoplastik özelliklere karşılık gelen newton tipi olmayan akış görülmektedir (Hosseini vd., 2016; Kumar, M., vd., 2021). Pektinde viskozite ölçümleri genellikle molekül ağırlığını ölçmek için yapılırken; pektinin viskozitesi elektrolitlerin varlığı, pH, sıcaklık, moleküler ağırlık ve ED gibi faktörlere göre değişebilmektedir. Pektin çözeltisine tek değerlikli katyonların eklenmesi ile viskozite azalabilmektedir. Genellikle pektin çözünürlüğünü azaltan parametreler, jelleşmeyi ve viskoziteyi arttırmaktadır (BeMiller, 1986; Srivastava ve Malviya, 2011). Bir çalışmada konsantrasyon ve sıcaklığın, portakal kabuğundan çıkartılan pektin çözeltilerinin viskozitesi üzerindeki etkisi araştırılmıştır; viskozitenin sıcaklık arttığında azaldığı, pektin konsantrasyonu arttığında ise arttığı belirtilmiştir. Bu bağlamda pektin konsantrasyonunun arttırılmasıyla moleküller arası mesafeler azaltılabilmekte ve hidrojen bağı gibi moleküller arası etkileşimler arttırılabilmektedir. Daha yüksek sıcaklıklarda moleküllerin kinetik enerjisi ve moleküller arası mesafe artmaktadır, dolayısıyla viskozitenin azaldığı belirtilmektedir (Kar ve Arslan, 1999). Dekstrin ile ters orantılı olacak şekilde pektin çözeltilerinde viskozite azalırken; dekstroza ve maltoza ile doğru orantılı olarak viskozite artmaktadır (Chen ve Jolysn, 1967).

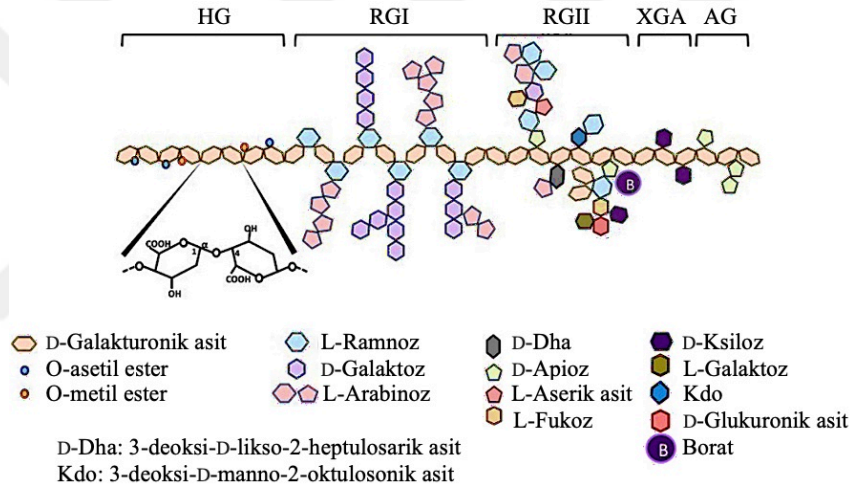
2.3.2. Pektinin kimyasal özellikleri

Pektinin temel özellikleri yaklaşık olarak 200 yıldır bilinmektedir; ancak özelliklerinin elde edildiği kaynak, ekstraksiyon çeşidi gibi faktörlere göre değişebildiği bilindiğinden pektinin yapısının belirlenmesinin oldukça zor olduğu ifade edilmektedir (Novosel'skaya vd., 2000; Sultana, 2023). Ayrıca yapısının hemiselüloz ve selüloza göre daha karmaşık olduğu belirtilmektedir (Scheller vd., 2007). Ana zincirde α -(1,4)-glikozid bağla bağlanan ramnoz moleküllerinin olduğu bilinirken; ramnoza monomerler veya uzun yan zincirler olmak üzere ksiloz, arabinoz ve galaktoz gibi nötral şekerlerin bağlandığı bilinmektedir (Pasandide vd., 2017). Pektin molekülleri, karboksil ve hidroksil (-OH) gruplar gibi hidrofilik fonksiyonel üniteleri; karboksil ester, metil ester ve asetil gruplar gibi hidrofobik fonksiyonel üniteleri içermektedir. Dolayısıyla bu durum pektine iyi bir amfifilik özellik kazandırmaktadır (Li vd., 2021; Niu vd., 2022; Shahin vd., 2023).

Pektinin omurga yapısındaki asetil grupları pektin yapısındaki GalA birimlerinin hidroksil gruplarına bağlanmakta ve asetilasyon derecesi olarak ifade edilmektedir (Celus vd., 2018). Pektik maddelerin deesterifikasyonu ile ortaya metanol, hidroliziyle ise ortaya GalA çıkmaktadır ve pektik maddelerin D-galakturonik asit veya D-galakturonik asidin metil esterinden oluşan polisakkaritler olduğu bilinmektedir (Freitas vd., 2021). Metil esterleştirme özellikle pektinin fiziksel özellikleri ile ilgili ve belirleyici olduğu için pektin çalışmalarında sıklıkla araştırılmaktadır. Literatürdeki verilere göre 10'dan fazla esterleştirilmemiş GalA kalıntısı içeren bloklar varsa Ca^{2+} ile çapraz bağlanmaya duyarlı pektin molekülleri üretilmektedir (Daas vd., 2001). Bu bağlamda GalA'ların karboksil gruplarının; metil gruplarıyla kısmen esterleşmiş, serbest veya kısmen katyonlarla nötrleşmiş halde bulunabildiği belirtilmektedir (Voragen vd., 2009). Literatürdeki verilerde pektinin yapısında bulunan karboksil gruplarından kaynaklı sulu çözeltisinin pH 3,2-3,4 değerleri aralığında ve asidik olduğu ifade edilmektedir (Mohnen, 2008). Pektine sıcak asitle muamele edildiğinde glikozid bağlarla metil ester grupları hidroliz olmakta ve GalA oluşmaktadır. Dolayısıyla sıcak asidin sıcaklığı ve konsantrasyonu önemli bir parametre olarak göze çarpmaktadır. Düşük sıcaklıktaki ekstraksiyon ya da seyreltik alkali ortam glikozid bağlar yerine metil ester gruplarının hidrolizini sağlamakta ve DMP oluşmaktadır. Sıcaklık bir derece bile arttığında, glikozid bağları hidroliz edilmekte ve pektinin molekül ağırlığı düşmektedir. Bu durumu engellemek amacıyla pektin molekülü uygun şartlarda asitlerle deesterifikasyona tabi tutulmaktadır. Seyreltik alkali oda sıcaklığında ise metil ester grupları sabunlaşmakta; poligalakturonik asit zincirleri parçalanmaktadır (Arslan, 1994). Dolayısıyla çözünmüş pektinler, sulu çözeltide depolimerizasyona ve deesterifikasyona uğramaktadır. Çözelti ortamında çözünen maddelerin bulunması, su aktivitesini düşürerek her iki reaksiyonun hızını azaltmaktadır. Ticari anlamda pektin jelleşmesinin pH 3,0 civarında gerçekleştiği ifade edilirken; ortamda bulunan şeker ve Ca^{2+} iyonlarıyla da ilişkilendirilmektedir. Düşük pH değerlerinde ve yüksek sıcaklıklarda, glikozid bağların hidrolizine bağlı bozunma gözlemlenmekte ve deesterifikasyon düşük pH tarafından desteklenmektedir (BeMiller, 1986). Nötr veya 5,0-6,0 civarlarındaki pH'ta pektin oda sıcaklığında stabildir; sıcaklık veya pH yükseldikçe, zincir kırılması ve viskozite ile jelleşme özelliklerinin çok hızlı bir şekilde kaybolmasına sebep olan eliminasyon süreci başlamaktadır. Dolayısıyla bu süreç, pektinin bozulmasına ve β -eliminasyon reaksiyonu ile birlikte çözünürlükte değişime sebep olabilmektedir. Bu reaksiyon organik anyonlar tarafından uyarılabilmektedir (Sriamornsak, 2003). pH 6,0'ın üzerindeki değerlerde, deesterifikasyon ve

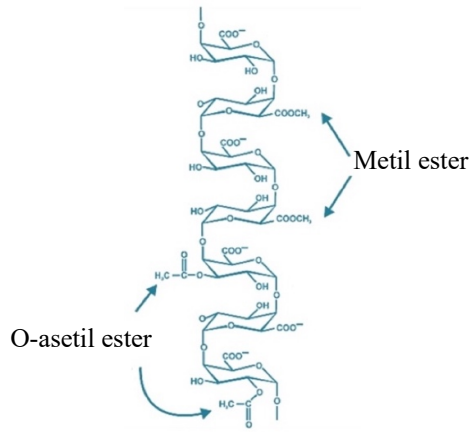
depolimerizasyon, oda sıcaklığında hızlı gerçekleşebilmekte ve her reaksiyonun hızı artan pH ile artabilmektedir. β -eliminasyon reaksiyonunun mekanizması, GalA ünitesinde C-4'teki glikozid bağın kopması ve C-5'teki hidrojen atomunun uzaklaştırılmasıyla açıklanmaktadır (BeMiller, 1986; Gawkowska vd., 2018). Dolayısıyla sıcaklık ve pH'taki artışla, monovalent tuzlarının varlığı ve yüksek derecede metilasyonla β -eliminasyon reaksiyonu hızlanmaktadır (Sila vd., 2009).

Şekil 2.2'de de görüldüğü üzere pektin molekülü karmaşık bir yapıdır ve oranları değişmekle birlikte düz bölge olan HG; tüylü bölge olan RGI, RGII ve XGA olmak üzere dört ana polisakkaritten oluşmaktadır. Pektin molekülünün yaklaşık %65'ini HG oluştururken; %20-35'ini RGI, %10'dan daha azını XGA ve RGII oluşturmaktadır (Bonnin vd., 2014; Harholt vd., 2010). Arabinan, galaktan, arabinogalaktan I (AGI) ve arabinogalaktan II (AGII) bulunabilmektedir (Gawkowska vd., 2018).



Şekil 2.2 Pektin yapısının şeması (HG: Homogalakturnan, RG: Ramnogalakturnan, XGA: Ksilogalakturnan, AG: Arabinogalakturnan) (Leclerc vd., 2013).

Şekil 2.3'te görüldüğü üzere HG'nin C-6 gibi bazı karboksil gruplarının farklı oranlarda metanolla, O-2 ve O-3'te ise kısmen asetik asitle esterleştiği; α -1,4-D-galakturnik asit birimlerinden oluşan doğrusal bir zincir olduğu belirtilmektedir. HG sentezi için homogalakturnan galakturonosiltransferaz, homogalakturnan metiltransferaz ve homogalakturnan asetiltransferaz gibi en az üç enzimin gerektiği ifade edilmektedir (Gawkowska vd., 2018; Ridley vd., 2001; Voragen vd., 2009). Literatürdeki verilere göre turunçgil, şeker pancarı ve elmanın HG omurgası en az 72-100 D-galakturnik asit kalıntısı içermektedir (Naqash vd., 2017; Thibault vd., 1993; Voragen vd., 2009). HG'nin metilasyon derecesi ve dal sayısı polisakkaritlerin kaynağına göre değişebilmektedir (Gawkowska vd., 2018).



Şekil 2.3 Homogalakturnanın birincil yapısı (Ridley vd., 2001).

RGI, α-1,4-D-galakturnik asit ve α-1,2-L-ramnozun tekrarlamasıyla oluşmakta; HG'den daha karmaşık bir yapı göstermektedir (Gawkowska vd., 2018). Yan zincirlerinde bulunan nötral şeker türlerinin uzunluğu, miktarı ve çeşidi değişebilmektedir (Axelos ve Thibault, 1991). Ramnoz birimlerinin C-4'üne galaktoz veya arabinoz içeren yan zincirler bağlanmaktadır. Yan zincirler, tek bir şekerden veya arabinogalaktanlar, arabinanlar ve galaktanlardan oluşabilmektedir (Nguémazong vd., 2012a). Dallanmış ramnoz kalıntılarının polisakkaritlerin kökenine bağlı olarak bağlanma oranının %20-80 arasında değiştiği belirtilmektedir (Voragen vd., 2009). Ayrıca RGI omurgası 300'e kadar ramnosil ve 300 galaktosilüronik asit kalıntısı içerebilmektedir (Lara-Espinoza vd., 2018). HG ve RGI'in kovalent olarak bağlı olduğu ifade edilmektedir (Coenen vd., 2007).

RGII'de ise ramnoz, fukoz, arabinoz, 2-O-metil-fukoz, apioz, galaktoz, 2-O-metil-ksiloz, aserik asit, glukuronik asit, GalA, 3-deoksi-D-manno-2-oktulosonik asit (KDO) ve 3-deoksi-D-likso-2-heptulosarik asit (DHA) gibi farklı şekerler barındıran, dört yan zincirle dallanmış kümelerden oluşan ayrı bir bölge olarak ifade edilmektedir. Bu yan zincirlerin bazıları ise metille esterleşmiş olan yaklaşık 7-9 GalA biriminden oluşan bir HG zincirine bağlanmaktadır (Gawkowska vd., 2018; Leclerc vd., 2013; Voragen vd., 2009). RGII 20'den fazla glikozid bağ, en az 12 farklı monosakkaritten oluşmakta ve en karmaşık glikan olarak belirtilmektedir (Scheller vd., 2007). Ayrıca RGII borla birlikte kompleks yapabilmekte ve iki HG molekülünü çapraz bağlayabilen bir borat-diol ester oluşturabilmektedir (Voragen vd., 2009). RGII pektin zincirinde düşük bir oranda bulunmasına rağmen yapısındaki küçük değişiklikler bile dimer oluşumunda azalmalara sebep olarak bitkide ciddi büyüme sorunlarına yol açabilmektedir. Dolayısıyla bitkilerin normal büyümesi ve gelişimi için hücre duvarındaki RGII dimerizasyonu önem arz etmektedir (Mohnen, 2008; O'Neill vd., 2004; Voragen vd., 2009).

XGA ise HG zincirinin O-3'üne β -(1,3)-D-ksilozun yan zincir olarak bağlanmasıyla oluşmaktadır; karboksil gruplarının metil gruplarıyla değişik oranlarda esterleşebildiği belirtilmektedir (Voragen vd., 2009). Ksilozilasyon derecesi meyvenin türüne göre değişebilmektedir. XGA'lar esas olarak depolama ve üreme gibi bitki dokularındaki işlevlerle ilişkilendirilmektedir (Lara-Espinoza vd., 2018). Arabinanlar, omurganın yaklaşık olarak üçte birine O-2 ve O-3 pozisyonlarına bağlı α -L-arabinoz ikameleri bulunan 1,5 bağlantılı α -L-arabinoz kalıntılarından oluşan bir omurgadan oluşmaktadır. Dallanmamış, tek arabinoz üniteleriyle ikame edilmiş ya da 1,3 bağlantılı α -L-arabinoz zincirleriyle ikame edilmiş olabilecekleri belirtilmektedir (Lara-Espinoza vd., 2018; Voragen vd., 2009). Galaktanlar, β -1,4-glikozid bağlarla bağlanmış β -D-galaktoz ünitelerinden oluşmaktadır. Patatesten bulunan RGI'nin en yaygın yan zincir türü olarak bilinmektedir (Jarvis vd., 1981). AGI, galaktoz molekülündeki O-3'te α -1,5-arabinoz kalıntılarına bağlı kısa zincirleri olan β -1,4-D-galaktopiranosil kalıntılarının omurgasından oluşmaktadır. Ancak β -galaktoz ile O-6 pozisyonu aracılığıyla galaktan zincirine bağlanmasıyla da meydana gelebilmektedir (Gawkowska vd., 2018; Voragen vd., 2009). AGII ise β -D-galaktopiranosil birimlerinin zincirlerini içermektedir; ancak glikozid bağlar galaktoz moleküllerinde O-1, O-3 ve O-6'da meydana gelmektedir (Leivas vd., 2016). Bu tür AG'lerin oldukça dallanmış olduğu ifade edilmektedir (Lara-Espinoza vd., 2018). Bu molekülün protein kısmının, prolin, hidroksiprolin, serin ve treonin gibi aminoasitler açısından zengin olduğu bildirilmektedir (Gaspar vd., 2001).

2.3.3. Pektinin jelleşmesi

Pektinin ortamda şeker, asit veya Ca^{2+} iyonları varlığında jelleşebildiği ve bu özelliği sayesinde gıda endüstrisinde çok önemli bir yere sahip olduğu bilinmektedir (Lotzkar vd., 1946). Pektin jelinin oluşumu; pektinin yapısı, çapraz bağlayıcı maddelerin varlığı, sıcaklık, pH ve ortamdaki şeker konsantrasyonu gibi faktörlere göre değişebilmektedir. Pektinin yapısını ise asetil grubu içeren GalA kalıntılarının yüzdesi (asetilasyon derecesi), metilasyon derecesi ve molekül ağırlığı gibi faktörler belirlemektedir. Jelleşme süresince, su ve çözünen molekülleri tutan üç boyutlu ağlar oluşmaktadır (Gawkowska vd., 2018). Sulu bir jel moleküler yönden; suyun polimer ağda tutulması, kısmen hareketli polimerlerin bölgeler arası kısımları ve polimer moleküllerinin birleştiği bölgeler olmak üzere üç farklı bölümden meydana gelmektedir. Bu oluşan ağ, pektin jelinin fiziksel özelliklerini oluşturmaktadır. Farklı kaynaklardan elde edilen pektinler aynı seviyede jel oluşturma kapasitesine sahip değildir; dolayısıyla bir

bitkide pektinin olması demek o bitkinin ticari bir pektin kaynağı olabileceği anlamını taşımamaktadır (Thakur vd., 1997). Mekanik güce ve viskoziteye sahip pektin jelinin oluşması için pektinin moleküler ağırlığının 300 kDa'nın üzerinde olması gerekmektedir. 10 kDa ve altındaki moleküler ağırlıkta ise reaktif grupların az sayıda olması nedeniyle jel oluşmamaktadır (Cao vd., 2020).

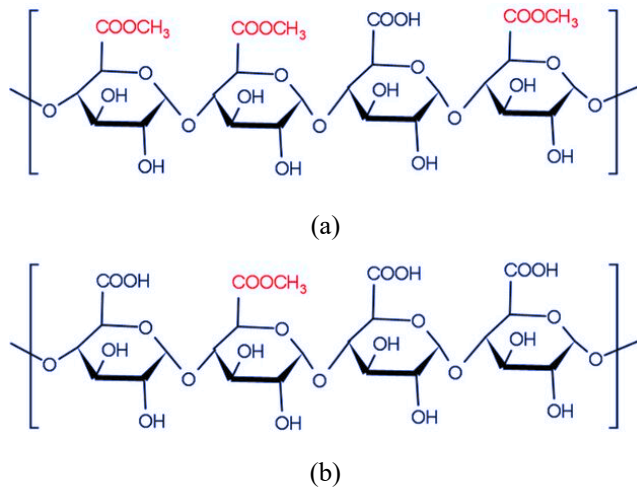
Jel oluşumunu etkileyen pek çok faktör bulunmaktadır. Bu faktörlerden ilki pH'tır ve asit oranı düşük olan meyvelerin pektinlerinin iyi bir jel oluşturamadığı ifade edilmektedir. Düşük pH, pektin molekülleri arasındaki etkileşimleri kolaylaştırarak jel oluşumunu desteklemektedir (Flutto, 2003). pH azaldıkça, GalA kalıntılarındaki karboksilat gruplarının iyonlaşması baskılanmakta, daha az ayrılmaktadır ve bu da karboksil gruplarının hidrasyonunda bir azalmaya neden olmaktadır. İyonlaşmanın azalmasıyla pektin zincirleri arasında daha az elektrostatik itme meydana gelmekte ve böylece pektin zincirleri birleşip jel oluşturabilmektedir. Ancak metilasyon derecesine bağlı olarak da yüksek metilasyon derecesinde ve yüksek pH'ta da pektinin jelleşebildiği bilinmektedir (Sriamornsak, 2003). Aşırı düşük bir pH seviyesi, yeterli organizasyon olmadan hızlı jelleşmeye ve zayıf bir jele yol açabilmektedir. pH'ın jel oluşumuna olan etkisi, asitli ortamın pektin liflerine esneklik kazandırması ve pektin molekülleri arasındaki etkileşimi kolaylaştırması ile açıklanmaktadır. Bu bağlamda jöle ve reçel üretiminde tartarik, sitrik gibi asitler kullanılarak pH istenilen değerlere getirilmektedir (Flutto, 2003; Said vd., 2023). Öte yandan yüksek pH'ta ise farklı karboksilat grupları arasında Ca^{2+} iyonları köprü görevi görmekte ve iyonik bağın etkisiyle jel oluşumu gerçekleşebilmektedir (Lara-Espinoza vd., 2018). Pektinin asetil içeriği de pektinin jelleşme özelliklerini ve çözünürlüğünü etkilemektedir. Yüksek asetilasyon seviyeleri pektin molekülleri arasındaki etkileşimleri engellerken; jel oluşturma yeteneğini azaltmaktadır (Flutto, 2003; Vriesmann ve de Oliveira Petkowicz, 2017). Düşük asetilasyon seviyeleri ise daha güçlü etkileşimleri tetikleyerek pektinin jel oluşturma özelliklerini iyileştirmektedir. Nötr şeker yan zincirleri, arabinoz ve ramnoz kalıntıları gibi yan dalların varlığı da jelleşmeyi etkilemektedir (Abid vd., 2017; Sousa vd., 2015; Zheng vd., 2020). Ayrıca ortamda bulunan şeker konsantrasyonu arttıkça oluşan jelin stabilizasyonun arttığı belirtilmektedir (Fu ve Rao, 2001).

Esterleşme derecesi arttıkça pektinin jelleşme hızı artmaktadır. ED değeri %72'nin üzerinde olan pektinler, hızlı jelleşen olarak ifade edilirken; ED değeri %58-65 aralığındaki pektinler ise yavaş jelleşen olarak ifade edilmektedir (May, 1990). Jellerin soğuma hızı pektinin jelleşme hızını etkilemektedir (Flutto, 2003). Soğutma esnasında,

pektin molekülleri arasındaki hidrofobik etkileşimler ve hidrojen bağı, jel yapısının stabilizasyonunu sağlamaktadır. Daha yavaş bir soğuma hızı, bu etkileşimlerin meydana gelmesi için daha fazla zaman oluşturarak daha elastik ve güçlü jel oluşturmaktadır (Said vd., 2023). Pektin zincirinin uzunluğu moleküler ağırlığıyla bağlantılıdır; yüksek moleküler ağırlıklı pektin, daha fazla bağlantı bölgesine sahip olduğundan daha hızlı jelleşmekte ve daha az sinerezise yol açmaktadır (Begum vd., 2021; Da Silva ve Rao, 2006). Pektinin ED'si artarsa uzun hidrokarbon zincirli esterlerin suyu sevmeyen hidrofobik yapıları sebebiyle sudaki çözünürlüğünün azalmasına karşın, jelleşme hızı pozitif olarak iyileşmektedir (Said vd., 2023). Su aktivitesi azaldığında ise pektin moleküllerinde daha az su bulunduğundan jelleşme daha hızlı gerçekleşmektedir; moleküller birbirine daha yakındır ve daha yoğun bir jel ağı oluşmaktadır. Bu bağlamda son jelin mukavemeti artmaktadır (Flutto, 2003).

2.3.4. Pektinin esterleşme derecesi

ED, metille esterleşmiş karboksil gruplarının, metille esterleşmiş ve esterleşmemiş karboksil gruplarının toplamına oranıdır; %0 ile %100 arasındadır ve pektinin teknolojik sınıflandırması ED'ye dayanmaktadır (Freitas vd., 2021; Morris vd., 2000). Şekil 2.4'te de görüldüğü gibi pektinler DMP ve YMP olarak ayrılmaktadır (Steigerwald vd., 2021). YMP'nin karboksil gruplarının %50'sinden fazlası metanol ile esterleşmişken; DMP'de bu değerin %5 ile %50 arasında olduğu ifade edilmektedir (May, 1990). Ayrıca pektin molekülündeki karboksimetil gruplarıyla amonyağın reaksiyonu, deesterifikasyonu, sonucunda elde edilen pektin amidlenmiş pektin olarak tanımlanmaktadır. DMP'nin alt grubudur ve metil ester gruplarının %15-25'inin amid gruplarına dönüşmesiyle oluşmaktadır (Chan vd., 2017; May, 1990).



Şekil 2.4 Esterleşme derecesindeki farklılıkları gösteren pektinin kimyasal yapısı a) yüksek metoksilli pektin b) düşük metoksilli pektin (Steigerwald vd., 2021).

ED, pektinin jel oluşturma kapasitesi açısından temel parametrelerden bir tanesidir ve ED'nin belirlenme yollarından bir tanesinin Fourier Dönüşümlü Kızılötesi Spektroskopisi (FTIR) olduğu belirtilmektedir. Tablo 2.1'deki bilgilerin ışığında pektinin yapısal özellikleri belirlenmektedir. Metille esterleşmiş ve metille esterleşmemiş absorbans bantları kullanılarak pektinin absorbans alanları belirlenmekte ve ED'si hesaplanmaktadır (Bociek ve Welti, 1975; Filippov ve Kohn, 1975; Pappas vd., 2004).

Tablo 2.1 Pektinin FTIR spektrumunda karakteristik absorpsiyon bantları

Dalga sayısı (cm ⁻¹)	Fonksiyonel gruplar	Kaynaklar
3100-3600	O-H	Kamnev vd., 1998
2800-3000	C-H (CH, CH ₂ , CH ₃)	Gnanasambandam ve Proctor, 2000; Kamnev vd., 1998
1730-1750	Metille esterleşmiş karboksil grubu (COO-R), C=O	Gnanasambandam ve Proctor, 2000
1600-1650	COO ⁻ , asimetric esterleşmemiş karboksil grubu	Kamnev vd., 1998
1400-1450	COO ⁻ , simetric esterleşmemiş karboksil grubu	Kamnev vd., 1998
1350-1450	-CH ₃ (Metil grubu)	Santiago-Gómez vd., 2025; Santos vd., 2020; Synytsya vd., 2003
1045-1076	Arabinoz, ksiloz, galaktoz vb. şekerler	Santiago-Gómez vd., 2025; Santos vd., 2020
1100-1200	Eter (C-O-C) ve halkasal yapılar (C-C)	Liu vd., 2010; Monsoor, 2005; Nkafamiyaa vd., 2019
1000-1140	C-OH ve C-O-C (Glikozid bağı, eter)	Monsoor, 2005; Santos vd., 2020
800-1200	Parmak izi	Chen vd., 2014; Pasandide vd., 2017

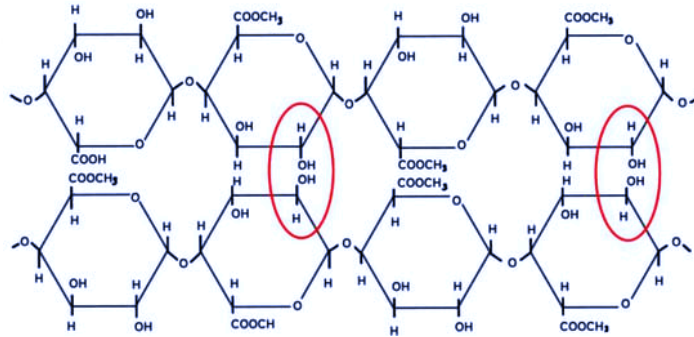
2.3.4.1. Yüksek metoksilli pektin

%50 ve üzeri ED değerine sahip olan pektinler YMP olarak sınıflandırılmaktadır. %55-65'ten fazla olan yüksek şeker konsantrasyonlarında ve pH'ın 3,5'ten az olduğu asidik koşullarda jel oluşturmaktadır. Esas olarak jelleştirici ve koyulaştırıcı özellikleriyle gıda endüstrisinde kullanılmaktadır (Belkheiri vd., 2021; Gawkowska vd., 2018; Giacomazza vd., 2018; Kastner vd., 2012; Said vd., 2023; Thibault ve Ralet, 2003).

Asidik koşullarda, GalA birimlerinin karboksil gruplarının ayrışması azalmaktadır; bu sebeple pektin zincirleri arasındaki elektrostatik itici kuvvetler düşüktür ve hidrojen bağları oluşmaktadır. Ortamdaki şeker, pektin moleküllerinin su aktivitesini azaltmakta; bu da zincir çözücü etkileşimi yerine zincir etkileşimlerini, hidrofobik etkileşimleri, teşvik etmektedir (Lara-Espinoza vd., 2018; Sriamornsak, 2000). Hidrofobik kuvvetler ve hidrojen bağlarından dolayı düşük pH ve yüksek konsantrasyonlarda çözünür katılar, jel oluşumunda önemli bir rol oynamaktadır (Willats vd., 2001). Şekil 2.5'te de görüldüğü üzere bu koşullarda oluşan jeller, hidrojen bağlarıyla desteklenen

kümelenmiş heliksler oluşturmaktadır; bu heliksler sayesinde oluşan pektin molekülleri arasında bulunan çok sayıdaki hidrojen bağı, jel yapısını stabilize etmektedir (Fishman vd., 2004; Fishman vd., 2007; Van Buren, 1991). Sakkaroz gibi şekerler, direkt olarak YMP'nin polimer zincirlerine bağlanarak veya hidrofobik etkileşimin düzenlenmesini sağlayarak jelleşmede farklı roller oynamaktadır (Lara-Espinoza vd., 2018).

YMP jellerinin oluşum mekanizması karmaşıktır ve açıklamak adına cam geçiş teorisi önerilmektedir. Bu teoriye göre; moleküllerin yüksek viskozitesi sebebiyle sistem kinetiğinde bir durma meydana gelmektedir. Böylece çözünen maddelerin konsantrasyonu artmaktadır; su içeriğindeki azalmayla HG birimleri, su ve diğer çözünenlerle çapraz bağlanarak üç boyutlu bir ağ oluşturmakta ve jel oluşumu gerçekleşmektedir (Mellinas vd., 2020). Oluşan jelin içinde su ve çözünen maddelerin sıkıştığı birbirine bağlı pektin molekülleri meydana gelmektedir. YMP jelinin üç boyutlu ağı, metil esterleri içeren hidrofobik etkileşimler, karboksil ve ikincil alkol grupları arasındaki hidrojen bağları tarafından stabilize edilen bağlantı bölgeleri aracılığıyla oluşmaktadır. YMP jeli termal geri dönüşümlülük sergilemekte; sıcaklıkla değişebilmektedir. Sıcak suda çözünen jellere, çözelti içinde topaklanmaması için dekstroz gibi çözücü dispersiyon maddeleri eklenebilmektedir (Lara-Espinoza vd., 2018).



Şekil 2.5 Yüksek metoksilli pektinin jelleşme mekanizması (Kırmızı daire, pektin zincirleri arasındaki hidrojen bağı oluşumunu temsil etmektedir) (Said vd., 2023).

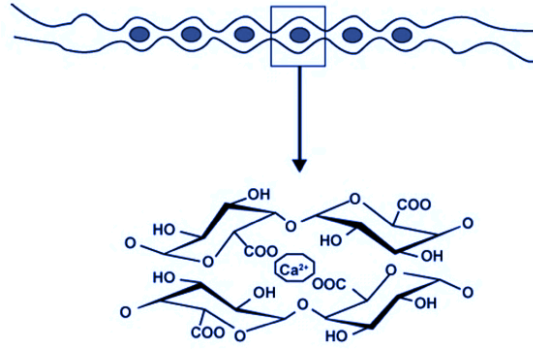
YMP jelinin oluşumunu; pektin konsantrasyonu, moleküler ağırlığı, asetilasyon derecesi, pH, su içeriği, şeker türü, soğutma hızı ve depolama sıcaklığı gibi parametreler etkilemektedir (Flutto, 2003). ED ise jelleşme sıcaklığını ve hızını etkilemektedir. ED arttıkça jelleşme sıcaklığı ve pH'ı yükselmektedir (Said vd., 2023). YMP'lerin jel mukavemeti daha yüksek pektin konsantrasyonu ile artmaktadır (Kastner, vd., 2017; Lara-Espinoza vd., 2018). YMP'nin emülsifiye edici özellikleri açısından su-etanol sistemleri üzerine yapılan bir çalışmada etanolün elektrostatik itmeyi azalttığı ve pektin agregasyonunu desteklediği belirtilmiştir (Jiang, W. X., vd., 2020). Turunçgil

kabuklarından ve elma posasından elde edilen ticari pektinin çoğunlukla YMP olduğu ifade edilmektedir (May, 1990). YMP, gıda ve ilaç endüstrisine kullanılabilirken; jel, reçel, marmelat üretiminde, asitlendirilmiş süt ürünlerinin stabilizasyonunda kullanılabilir (Chandel vd., 2022).

2.3.4.2. Düşük metoksilli pektin

DMP'nin ED değeri %50 ve altında olarak ifade edilmektedir. DMP jelleri çoğunlukla Ca^{2+} gibi iki değerlikli katyonların varlığında oluşmaktadır (Axelos ve Thibault, 1991). Jel oluşumu için gereken pH aralığı 2,0 ile 6,0 arasındadır ve şeker gerekmemektedir (Thibault ve Ralet, 2003). Ca^{2+} köprüleri için yeterli sayıda ayrılmış karboksil grubu gerektiği için genellikle DMP jelinin oluşması için yüksek pH tercih edilmektedir (Fraeye vd., 2010). DMP, YMP'nin amonyak, sodyum hidroksit gibi alkaliler, pektin metil esteraz gibi enzimler veya asitlerle deesterifikasyonu sonucunda oluşabilmektedir (Axelos ve Thibault, 1991; Fishman vd., 2015). Deesterifikasyon süreci asit veya alkalik gruplar kullanılarak gerçekleştirilirse; karboksil grupları rastgele dağılmaktadır ve oluşan pektin geleneksel veya amidlenmemiş DMP olarak ifade edilmektedir. Diğer tür de ise pektin amonyakla reaksiyona girmekte ve çoğunlukla sulu alkol süspansiyonu içerisinde heterojen bir reaksiyon gerçekleşmektedir. Reaksiyonun sonucunda blok halinde amid grupları ve rastgele dağılmış serbest karboksil grupları içeren amidlenmiş pektin oluşmaktadır. İki tür DMP de kalsiyum ile reaksiyona girerek pektin jelini oluşturabilmektedir (Hotchkiss vd., 2002; May, 1990; Ström vd., 2007). YMP'ye kıyasla DMP şeker içeriğinden bağımsız olarak jel oluşturur, neme ve ısıya karşı kimyasal olarak daha karardır; ancak pH'a karşı daha dirençlidir ve jel, geniş bir pH aralığında elde edilebilmektedir (Lara-Espinoza vd., 2018).

DMP jelleşmesi yakın temastaki farklı zincirlerin homogalakuronik düz bölgelerindeki karboksilat grupları arasında moleküller arası bağlantı bölgelerinin oluşmasından, Ca^{2+} iyonları aracılığıyla oluşan iyonik köprülerden, kaynaklanmaktadır (Axelos ve Thibault, 1991; Morales-Contreras vd., 2018). Pektinlerin ve aljinatların benzer yapıları arasında çapraz bağlanma meydana gelmektedir; Ca^{2+} ve pektin iyon etkileşimlerini tanımlamak için yumurta kutusu modeli kullanılmaktadır (Fang vd., 2008; Morris vd., 1982). Şekil 2.6'da görüldüğü üzere; yumurta kutusu modelinde Ca^{2+} ve iki veya daha fazla esterleşmemiş GalA zincirleri arasında bağlanma oluşmakta ve bir arada tutulmaktadır (Grant vd., 1973; Ngouémazong vd., 2012b). Ayrıca su molekülleri de Ca^{2+} iyonlarıyla etkileşime girebilmektedir (Cardoso vd., 2003).



Şekil 2.6 Yumurta kutusu modeli şeması (Ca^{2+} kasyonlarının varlığında düşük metoksilli pektin jelleşmesi) (Belkheiri vd., 2021).

DMP jelinin oluşumunu moleküler ağırlık, jelleşme sisteminin su aktivitesi, ester ve amid gruplarının sayısı ve dağılımı, pH ve iyonik güç gibi parametreler etkilemektedir (Flutto, 2003; Vriesmann ve de Oliveira Petkowicz, 2017). İyonik güç arttıkça jel oluşumu iyileşmektedir (Lara-Espinoza vd., 2018). İyonik güçteki artış jelleşme için gereken Ca^{2+} konsantrasyonunu belirlemektedir (Axelos ve Thibault, 1991). Jelleşme için gereken kalsiyum miktarı; ED, molekül ağırlığı ve esterleşmemiş GalA dağılımı gibi faktörlerden etkilenmektedir (Fraeye vd., 2010; Ngouémazong vd., 2012b). Kalsiyum fazlalığı pektin çökelmelerine veya ön jelleşmeye sebep olabilmektedir (Said vd., 2023) Kalsiyum bağlarının esterleşme içermeyen alanlarda oluştuğu belirtilmekte; bu sebeple düşük esterleşme düzeyleri daha fazla jel mukavemeti sağlamaktadır (Sharma vd., 2006). DMP jelinin dokusu kalsiyum, pektin oranının ayarlanması ile kontrol edilebilmektedir. Az kalsiyum içeren yüksek pektin içeriği elastik bir jel oluştururken; minimum pektin içeren daha fazla kalsiyum kullanımı sinerezise sebep olarak çok daha kırılğan bir ürün üretilmesine sebep olabilmektedir. DMP’de jel oluşumu için şeker gerekli olmasa da az miktarda (%10-20) şeker kullanımı sinerezisi azaltmakta ve jellerin istenen sertliğini sağlamaktadır. Ayrıca az miktarda şeker mevcut olduğunda, jel oluşturmak için gereken kalsiyum miktarı da azalmaktadır. Öte yandan, yüksek şeker konsantrasyonları jel oluşumunu engellemektedir; çünkü şekerin dehidrasyonu hidrojen bağlarını desteklemekte ve iki değerlikli iyon kuvvetleri tarafından çapraz bağlanmayı azaltmaktadır (Lara-Espinoza vd., 2018). Pektin amidasyonu ise jelleşme gücünü artırırken hidrojen bağlarını teşvik etmektedir; ayrıca daha az kalsiyuma ihtiyaç duyarak daha sert ve termo geri dönüşümlü jellerin oluşmasını sağlamaktadır (May, 1990; Sharma vd., 2006). Bu bağlamda amidatlı pektinin oluşum mekanizması direkt olarak yumurta kutusu modeliyle açıklanamamaktadır; zincir boyunca meydana gelen amid gupları hidrojen bağlarıyla da ilişkilendirilmektedir (Cardoso vd., 2003). Amidatlı pektin ve

DMP aynı şartlarda jel oluşturabilmektedir. Amidatlı pektin, aynı ED'ye sahip olan DMP'ye kıyasla daha düşük bir jelleşme sıcaklığına sahiptir ve bu tür pektin yüksek kalsiyum düzeylerindeki çökelmeye daha az eğilimlidir (Said vd., 2023).

Pektinde amid ve asetil gruplarının bulunması; komşu pektin zincirleri arasında bulunan bağlantı bölgelerindeki polar grupların stabilizasyonunu bozmakta ve jel oluşumunu engellemektedir. Pektinin yan zincirleri de molekülün esnekliğini etkilemekte ve stearik engellemeyle agregasyonu önleyebilmektedir. Pektin çözeltisinin pH düzeyi, jelin kalsiyum ihtiyacını ve jel dokusunu etkilemektedir. Literatürdeki DMP jelleriyle yapılan çalışmalarda pH değeri 3'ün altına düştüğünde amidlenmiş pektin jeli güçlenirken; Ca^{2+} ile indüklenen pektin jelinin zayıfladığı belirtilmektedir (Cardoso vd., 2003; Lootens vd., 2003). DMP düşük pH'ta Ca^{2+} olmasa bile jel oluşturabilmektedir (Gilsenan vd., 2000). Bu bağlamda jel oluşumu sadece kalsiyum iyonlarının pektine bağlanması ile olmamakta ek olarak hidrojen bağlarının oluşumu ve hidrofobik etkileşimlerle de olabilmektedir (Cardoso vd., 2003). DMP'nin alkali şartlarda jelleştiği ve pH düzenleyici olarak NaOH'un kullanıldığı bir çalışmada, pH değeri 3,5'ten 8,5'e çıkarıldığında jel sertliğinin arttığı ve bunun pektinin deesterleşmesiyle bağlantılı olabileceği belirtilmektedir. Ancak pH değeri 9,5 olduğunda ise sertlikte azalmanın görüldüğü; bununda oluşan β -eliminasyon reaksiyonu sonucunda pektinin molekül ağırlığındaki bir azalmadan kaynaklı olabileceği ifade edilmektedir. Ek olarak kalsiyum konsantrasyonunun ve varlığının DMP jelinin kristal derecesini azalttığı belirtilmektedir (Yang, X., vd., 2018). DMP ve amidatlı pektin çözünebilir katıların %55'in altında olduğu düşük şekerli veya diyabetik ürünlerde, meyveli ve düşük yağlı yoğurtlarda, jölelerde ve soslarda kullanılabilmektedir (Chandel vd., 2022; Fishman vd., 2015).

2.4. Pektinin Sağlık Üzerine Etkileri

Yüksek lifli beslenmenin sağlık yararları uzun yıllardır kabul edilmektedir; ancak yetişkinler için ortalama lif tüketim miktarı, dünya genelindeki birçok ülkede hala 25-30 g/gün olan önerilen tüketim miktarına ulaşmamaktadır (Afshin vd., 2019). Her diyet lifinin yapısı aynı olmamakla birlikte; özellikleri, diğer gıdalarla olan etkileşimleri ve bireylerdeki sonuçları değişmektedir (Poutanen vd., 2018). Diyet liflerinin tip 2 ve tip 1 diyabetin, bazı gastrointestinal hastalıklar gibi kronik hastalıkların sıklığını azalttığı veya önlediği, kalp yetmezliği ve hipertansiyon gelişimini önlediği ya da geciktirdiği öne sürülmektedir (Marques vd., 2017; Petruzzello vd., 2006). Diyet lifleri, kolondaki mikrobiyal enzimler tarafından parçalanmadan önce ince bağırsaktaki bağıışıklık

bariyerinin hücreleriyle doğrudan etkileşime girebilmektedir (Breton vd., 2015). Bu doğrudan etkileşimin sonucunda; mukus tabakasının güçlendirilmesi (Mackie vd., 2016), epitel hücrelerinin bariyer fonksiyonunun artırılması (Vogt vd., 2014), bağırsak bağışıklık tepkilerinin düzenlenmesi (Bermudez-Brito vd., 2015), hastalıkların önlendiği mekanizmaların gerçekleşmesi meydana gelmektedir (Cai vd., 2020). İnsan enzimleri tarafından sindirilmeyen diyet lifleri, kolonda bağırsak mikrobiyotası tarafından fermentasyona tabi tutulmaktadır. Diyet lifleri, bağırsak bakterilerini kısa zincirli yağ asitlerini (KZYA) üretmeye teşvik etmektedir. Asetat, propiyonat ve bütirat olmak üzere KZYA'yı üretmek için diyet lifleri, anaerobik bakteriler tarafından fermentasyon substratları olarak kullanılmaktadır (Nicholson vd., 2012). KZYA'lar ise bağırsakta düşük pH değerinin korunmasına yardımcı olmakta, böylece patojen büyümesini engellemekte ve sağlıklı bağırsak mikrobiyotasının büyümesini desteklemektedir (Macfarlane ve Macfarlane, 2012).

Birçok bitkide doğal olarak bulunan karmaşık bir polisakkarit olan pektin ise çözünebilir diyet lifidir ve genel olarak güvenli kabul edilen (GRAS-Generally Recognized as Safe) ürün olarak sınıflandırılmaktadır (Ciriminna vd., 2015; Orqueda vd., 2023). Son zamanlarda pektinin sıklıkla yağ ikame maddesi ve sağlığı pozitif etkileyen fonksiyonel bir bileşen olarak kullanımı göze çarpmaktadır (Ciriminna vd., 2015; Min vd., 2010). Prebiyotik özelliğiyle bireylerdeki etkisi bakımından yemek sonrası kan şekerinin düzenlenmesini, total kolesterol ve düşük yoğunluklu lipoprotein (LDL) düzeylerinin düşürülmesini sağlamaktadır (Beukema vd., 2020). EFSA'nın 2010 verilerinde, yetişkinlerin öğün başına en az 10 g pektin tüketmeleri ile yemek sonrası glisemik yanıtlarının azaldığı ve en az 6 g/gün pektin tüketmeleri ile normal kan kolesterol konsantrasyonlarının korunduğu ve aralarında bir neden sonuç ilişkisi olduğu belirtilmektedir (EFSA, 2010). Pektinin sağlık üzerine olan etkisi diyetdeki dozuna, pektinin yapısına, farklı ekstraksiyon tekniklerine ve ekstraksiyon aşamasındaki yapısal özelliklere bağlı olarak değişmektedir (Onumpai vd., 2011; Weber vd., 2024; Wicker vd., 2014). HG ve RG omurga yapısı, ramnoz ve arabinan yan zinciri, ED ve molekül ağırlığı gibi parametreler farklı yararlar sağlamaktadır (Pascale vd., 2022; Zhang, W. Y., vd., 2025). Yapısal özellikleri sayesinde pektin immünomodülasyon etki göstererek bağışıklık sistemini düzenlemektedir. Pektinin GalA zincirindeki yapısal değişiklikleri, bağışıklık sistemlerini kontrol etmektedir ve çalışmalara göre yüksek miktardaki GalA zinciri, artmış bir immünoşüpresyon aktivite göstermektedir (Boehler vd., 2011; Popov vd., 2013). ED'nin değişmesi de antiinflamatuvar özellikleri etkilemektedir (Sultana, 2023).

Tablo 2.2’de de görüldüğü üzere pektin bazı kanser çeşitlerini, bağırsak sağlığını, bağırsak fonksiyonunu ve bağırsak mikrobiyota bileşimini, fermentasyonunu (KZYA oluşumu), glisemik yanıtı, iştahı, mide boşalma hızını, yemek sonrası kan şekerini ve insülini, yağ metabolizmasını, toplam kolesterolü, safra asidi değişikliklerini, minerallerin/vitaminlerin biyoyararlanımını, bağışıklık belirteçlerini etkilemekte ve sağlık yararları sağlamaktadır (Ho vd., 2016; Popov vd., 2013; Soliman, 2019; Vogt vd., 2016; Weber, 2024). Ek olarak bu konuda çok fazla çalışma yapılmamış olsa da pektinin KZYA gibi araçlarla beyin veya ruh sağlığı için de faydalı olabileceği düşünülmektedir (Beukema vd., 2022; Pappolla vd., 2021; Rajamma vd., 2022).

Literatürdeki pektinle ilgili sağlık çalışmalarında turunçgil, elma ve şeker pancarı pektininin araştırılan en sık pektin kaynakları oldukları ve genellikle test edilen pektin dozunun 0,1-50 g/gün arasında değiştiği ifade edilmektedir. Ayrıca yapılan çalışmaların çoğunda pektinlerin botanik köken çalışmalarının tanımlanmadığı ifade edilirken; belirli hedef gruplarında hangi tür pektinlerinin kullanılacağını belirlemek için daha çok çalışmaya ihtiyaç duyulduğu da belirtilmektedir (Weber vd., 2024).

Tablo 2.2 Pektinin sağlık üzerine etkileri

Sağlık Yönu	Sağlık Etkisi	Kaynaklar
Metabolizma	Narenciye pektini tüketimi diyabetik sıçanlarda glikoz toleransını iyileştirmiş ve insülin direncini azaltmıştır.	Liu vd., 2016
	Obezitesi olan yetişkinler üzerinde yapılan bir çalışmada, test öğünüyle birlikte 15 g/gün pektin tüketilmesinin mide boşalma süresini önemli ölçüde geciktirdiği ve tokluk hissini arttırdığı bildirilmiştir.	Di Lorenzo vd., 1988
	HG ve RGI açısından zengin pektin ve AG açısından zenginleştirilmiş pektin içeren ginseng asidik polisakkarit kullanımıyla tip 2 diyabetli sıçanlarda KZYA üretimi artırılmıştır. Peptit tirozin ve glukagon benzeri peptit-1 salgılanması iyileştirilerek bağırsak mikrobiyota kompozisyonu düzenlenmiş ve lipit metabolizması iyileşmiştir.	Ren, T., vd., 2023
	Wistar sıçanlarının diyetlerine çarkıfelek meyvesi pektin hidrolizatı eklenmiştir. Sonucunda sıçanların bağırsaklarındaki propiyonik ve bütirik asit üretimi pektin uygulamasıyla artmıştır. Çarkıfelek meyvesi pektininin metabolik ve prebiyotik etkileri olduğu belirtilmiştir.	de Moura vd., 2021
	Genetik olarak obez ve tip 2 diyabetli farelere narenciye türünden (<i>Citrus unshiu</i>) elde edilen 100 mg/kg RGI türü pektin uygulanmıştır. Sonucunda pektin; toplam kolesterol, LDL, açlık kan şekeri, glikozlanmış serum proteini ve trigliserit (TG) seviyelerini düşürürken; yüksek yoğunluklu lipoproteini (HDL) arttırmıştır.	Ren, Y., vd., 2023
	4 gün boyunca pektin tedavisi gören 277 bireyle yapılan bir denemenin meta analizi, zengin pektin içeren diyet tüketiminin LDL ve toplam kolesterol seviyelerini önemli ölçüde azalttığını göstermiştir.	Brown vd., 1999
	Alloksan sebepli diyabetik sıçanlara çarkıfelek meyvesinin kabuğundan elde edilen pektin, 5 gün süresince oral yoldan 0,5-25 mg/kg dozunda uygulanmıştır. Sonucunda diyabetik farelerde kan glikozunun ve TG seviyelerinin düştüğü; tip 2 diyabet için umut verici olabileceği belirtilmiştir.	Silva vd., 2011
Gastrointestinal	Pektin, doku miyeloperoksidaz üretimini zayıflatmış, mukus salgısını uyarmıştır. Farelerde deneysel kolit hafifletilmiştir.	Popov vd., 2006
	Havuçtan ve biberden elde edilen RGI, fagositoz üzerinde immünomodülatör etki ve mikrobiyota üzerinde modülatör bir etki göstermiştir; bunun sonucunda da KZYA'nın üretimi artmıştır.	McKay vd., 2021
	Çalışmalarda YMP'nin DMP'ye kıyasla toplu dışkı fermantasyonlarında daha fazla miktarda propiyonik asit üretme eğiliminde olduğu belirtilmiş; YMP ve yüksek propiyonat seviyeleri arasındaki ilişki gösterilmiştir.	Gulfi vd., 2005; Larsen vd., 2019
	Yetişkin insan mikrobiyotası RGI'e maruz kaldığında asetat, propiyonat ve bütirat seviyeleri artmıştır.	Van den Abbeele vd., 2021

Tablo 2.2 Pektinin sağlık üzerine etkileri (Devamı)

Gastrointestinal	Farklı ED'ye sahip (%34,5, %70,8 ve %92,6) pektin içeren diyetlerle beslenen sıçanlarda, ED arttıkça çekumda KZYA oluşum hızı azalmıştır. DMP, YMP'ye kıyasla daha hızlı fermente edilmiştir.	Dongowski vd., 2002
	Pektin, serebral palsili çocuklarda kusma ve kronik solunum semptomları azaltmak için kullanılmıştır. Yüksek pektinli diyetle (2:1 enteral formül ve pektin sıvısı) beslenen çocuklarda reflü ataklarının ve kusmanın önemli ölçüde azaldığı, öksürük ve solunum semptomlarının da azaldığı belirtilmiştir.	Miyazawa vd., 2008
	Domuz yavrularına DMP ile zenginleştirilmiş diyet, YMP ile zenginleştirilmiş diyet, hidrotermal işlem görmüş soya fasulyesi unu ile zenginleştirilmiş diyet, kontrol diyeti verilmiştir. DMP ile zenginleştirilen diyet, nişastanın ileal sindirilebilirliğini önemli ölçüde azaltmış ve proksimal kolonda daha fazla nişasta fermentasyonunu meydana getirmiştir. İleumda bulunan DMP, YMP'ye kıyasla proksimal kolondaki mikrobiyota tarafından daha verimli bir şekilde fermente edilmiştir.	Tian vd., 2017
	Tip 2 diyabetli farelere narenciye türünden (<i>Citrus unshiu</i>) elde edilen pektin uygulamasıyla <i>Firmicutes/Bacteroidetes</i> 'in oranı artmış; <i>Ligilactobacillus</i> , <i>Lactobacillus</i> ve <i>Limosilactobacillus</i> 'un miktarı artarak bağırsak florasının disbiyozu düzenlenmiştir.	Ren, Y., vd., 2023
	İn vivo bir çalışmada turuncgillerden elde edilen DMP'nin lokal ve sistemik inflamasyonu engellediği; yüksek derecede esterleşmenin ise bağırsak inflamasyonunu engellediği belirtilmiştir.	Popov vd., 2013; Sherry vd., 2010
Bağışıklık	Obez olmayan tip 1 diyabetli farelerle yapılan bir çalışmada, düşük ED'ye sahip pektin takviyesinin bağışıklık düzenleyici sitokin dönüştürücü büyüme faktörü beta 1'in gen ekspresyonunu arttırdığı ifade edilmiştir.	Wu vd., 2019
	Bir çalışmada pektin, tümör nekroz faktör- α (TNF- α) ve interlökin-1 beta (IL-1 β) üretimini zayıflatırken; düzenleyici sitokin IL-10 üretimini teşvik etmiştir.	do Nascimento vd., 2017
	<i>Nerium indicum</i> çiçeklerinden elde edilen RGI, yüksek düzeyde arabinoz ve galaktoz içerir; makrofajları nitrik oksit üretmeyi uyurarak bağışıklık sistemi aktivasyonunu kolaylaştırmıştır.	Dong vd., 2010
	Pektin/lizozom nanofibröz matları <i>E. coli</i> ve <i>S. aureus</i> 'a karşı önemli antibakteriyel etkiler göstermiştir.	Supreetha vd., 2021
	Mürver çiçeklerinden elde edilen yüksek moleküler RGI içeren polimerlerin, yüksek kompleman sabitleme aktivitesine ve makrofaj uyarıcı aktivitelere sahip olduğu belirtilmiştir.	Ho vd., 2016

Tablo 2.2 Pektinin sağlık üzerine etkileri (Devamı)

Kanser	Pektin ve/veya guar zımkı içeren diyet takviyesinin 1,2-dimetilhidrazin kaynaklı kolon karsinogenezisi üzerindeki etkisi araştırılmıştır. Pektin, sıçanlarda kolon kanseri insidansını baskılamıştır.	Heitman vd., 1992
	pH ile modifiye edilmiş turuncgil pektininin sıçanlara oral yoldan uygulanması, prostat adenokarsinomunun akciğere metastazını önemli ölçüde azaltmıştır.	Pienta vd., 1995
	Çiğ domateslerdeki pektin oligosakkaritleri in vitro mide kanseri hücrelerinde antikanser aktivite göstermiştir.	Kapoor ve Dharmesh, 2017
	Ultrasesle modifiye edilen tatlı patates pektini, insan kolon kanseri hücre hattında hücre çoğalmasını inhibe etmiş ve in vitro apoptozu indüklemiştir.	Maxwell vd., 2016
	Elma pektininden elde edilen pektik asit, meme kanseri hücre büyümesini inhibe etmiş, hücre bağlanmasını azaltmış ve in vitro apoptozu indüklemiştir. İn vivo sonuçlarda pektik asit tümör ilerlemesini inhibe etmiştir.	Ogutu vd., 2018
	Dimetilhidrazin enjekte edilmiş sıçanlara pektin açısından zengin %15'lik portakal posası diyeti uygulanmıştır. Kaspaz-3 aktivasyonu ve tümörlerdeki T hücresi öldürücülerin aktivitesi artmıştır.	Kossoy vd., 2001
	İnsan kolon kanseri hücre hattındaki hücrelerin 10 mg/mL düşük metoksilli elma pektiniyle tedavisinde kaspaz-3 aktivitesi artmıştır.	Olano-Martin vd., 2003
	İn vitro bir çalışmada, şeker pancarından elde edilen pektin kolon kanseri hücrelerine karşı antiproliferatif aktivite göstermiş ve alkaliyle muamele edilen şeker pancarı pektin ekstresi apoptozu indüklemiştir.	Donadio vd., 2022
	Pektin/gümüş nanokompozitleri, meme kanseri hücre çoğalmasını önemli ölçüde inhibe etmiştir.	Gaikwad vd., 2017
	Pektin/altın nanopartikülleri, apoptozu indüklemiş ve kanser hücrelerinin canlılığını azaltmıştır.	Ogbonna ve Kavaz, 2022

2.4.1. Antikanser etkisi

Günümüzde önemli bir küresel hastalık olduğu bilinen kanserin tedavisi oldukça zordur; kemoterapi, gen terapisi gibi tedaviler uygulanmasına rağmen metastatik kansere bağlı ölüm oranı endişe vericidir. Kemoterapi işleminde etkenin hedefi sadece kanserli hücreler olmamakta; aynı zamanda sağlıklı hücreler de etkilenmektedir. Bu bağlamda alternatif tedaviler arasında bazı in vitro ve in vivo çalışmalar, tümör hücresinin çoğalmasının azaltılmasında ve hücre apoptozunun uyarılmasında pektinin antikanser aktivitesine dikkat çekmektedir (Leclerc vd., 2015; Nisar vd., 2019). Enzim, radyasyon ve ısıtma ile modifiye edilmiş pektinin, modifiye edilmemiş pektine kıyasla daha etkili bir antitümör aktivitesine sahip olduğu bildirilmektedir (do Prado vd., 2019; Naqash vd., 2017). Pektinin antikanser özellikleri galektin-3 (Gal-3) ile bağlanmasıyla ilişkilendirilmektedir. Literatürdeki çalışmalarda kullanılan pektin türüne bağlı olarak görülen yanıtların da farklı olabileceği vurgulanmaktadır. Pektinlerin kanser hücre yüzeyine yani galaktoz bağlayıcı lektinlere bağlanabileceği, hücre hücre ya da hücre matriks yapışmasına müdahale ederek metastatik lezyonları engelleyebileceği hipotezi öne sürülmektedir (Inohara ve Raz, 1994).

Bu bağlamda yapılan bir çalışmada prostat kanseri hücrelerinde iyonlaştırıcı radyasyonun modifiye edilmiş narenciye pektiniyle birleştirilmesinin etkinliği değerlendirilmiştir; Gal-3'teki azalmayla ilişkili olarak radyosensitiviteyi artırarak pektinin, kanser hücrelerinin göç potansiyelini düşürdüğü belirtilmiştir (Conti vd., 2018). Bir çalışmada ise elma pektininin tümör gelişimini in vivo olarak baskıladığı ve kanser hücrelerinin ölümünü uyardığı ifade edilmiştir (Delphi ve Sepehri, 2016). Modifiye edilmiş turuncgil pektini tüketen sıçanlarda tümör oluşumunun azaldığı bildirilmiştir (Nangia-Makker vd., 2002). Sıçanlarla yapılan bir çalışmada selüloz/mısır yağı içeren diyetle kıyasla; pektin/balık yağı içeren diyet, apoptozu arttırmış, proliferasyonu baskılamış ve kolon kanserine karşı koruyucu bir etki göstermiştir (Cho vd., 2011).

2.4.2. İmmünoregülasyon ve antiinflamatuvar etkisi

Literatürdeki çalışmalara bakıldığında pektinin etkileri arasında; epitel dokunun bütünlüğünü arttırmak, mukus tabakasını güçlendirmek, dendritik hücre ve makrofaj tepkilerini aktive etmek veya inhibe etmek yer almaktadır. Pektinlerin gastrointestinal bağışıklık bariyeriyle doğrudan etkileşimi Toll benzeri reseptörler (TLR) 2 ve 4 ya da Gal-3 gibi desen tanıma reseptörleri aracılığıyla yönetilebilmektedir. Pektinler kommensal bakterilerin yapışmasını destekler, patojenlerin epitel hücrelere yapışmasını

engelleyerek bağışıklıkla ilişkili bağırsak bariyerini güçlendirebilmektedir. Güncel veriler, pektinin çeşitli inflamatuvar durumları önlemek ve yönetmek için güçlü bir diyet lifi ve immünoregülatör olabileceğini göstermektedir (Beukema vd., 2020). Literatürdeki son çalışmalarda, hamilelik esnasında pektin alan bireylerin anne sütünde daha yüksek miktarda oligosakkarit olduğu belirtilmektedir (Selma-Royo vd., 2022).

Yapılan bir çalışmada RGI yoğunluklu patates pektini, *Porphyromonas gingivalis* ile enfekte edilen insan diş eti primer fibroblastlarında IL-1 β , IL-8 ve TNF- α seviyelerinin düşmesini sağlamıştır (Mieszkowska vd., 2017). RGI pektini periodontit, romatoid artrit gibi iltihap hastalıklarında umut vermektedir (Dartora vd., 2013). *Panax ginseng*'den elde edilen RGII pektini, ovalbumin ile indüklenen astımlı farelerde iltihaplı hücre infiltrasyonunu ve akciğer dokusundaki eozinofil sayısını azaltmış; interferon gama üretimini ise arttırmıştır (Jung vd., 2012). HG pektininin bağırsak mukus ekspresyonunu arttırarak bağırsak mukoza bariyerini güçlendirdiği; RG'lerin ise karmaşık yapılarından dolayı bağırsak mikroorganizma gen ekspresyonunu zenginleştirdiği ifade edilmektedir. Bu bağlamda HG pektini akut kolorektal iltihaplanmalarda tercih edilirken, RGI ise kronik iltihaplanmalarda tercih edilebilmektedir (Jin vd., 2021).

2.4.3. Bağırsak sağlığına etkisi

Çocuk ve bebeklerde pektin takviyesi *Shigella*, *Enterobacter*, *Salmonella* gibi patojen mikroorganizmaların sayısının azalmasını sağlayarak akut bağırsak enfeksiyonlarını azaltabilmektedir (Lattimer ve Haub, 2010). Pektin, bağırsak mikrobiyotası tarafından fermente edildiği için; aynı zamanda bağırsaktaki reseptörlerle direkt olarak etkileşiminden kaynaklı bağırsak sağlığını pozitif yönde etkilemekte, epitel ve mukozal katmanları güçlendirmektedir (Beukema vd., 2020; Beukema vd., 2021; Tang ve de Vos, 2023). Farelerde yapılan bir çalışmada farklı ED'lere bağlı olarak pektinin ülseratif kolit üzerine olan etkisi araştırılmıştır ve DMP'nin, YMP'ye kıyasla akut kolitli farelerde daha iyi koruyucu etki gösterdiği ifade edilmiştir (Fan vd., 2020). Obez sıçanlarla yapılan bir çalışmada elmadan elde edilen pektinin; bağırsak mikrobiyotasını düzenleyebileceğini, yüksek yağlı diyetin sebep olduğu hiperkolesterolemiyi, dislipidemi, hiperglisemi, hiperinsülinemi, metabolik endotoksemi ve sistemik inflamasyonu hafifletebileceği belirtilmiştir (Jiang vd., 2016). Farklı ED değerlerine (%30, %56 ve %74) sahip olan limon pektinlerinin bağışıklık ve epitel hücrelerinin bariyer fonksiyonuna etkisi incelendiğinde TLR'yi ED ile orantılı olarak etkilediği ortaya

konulmuştur. Çalışmada pektinin TLR 2 ve TLR 4'ü indüklediği, limon pektininin sağlığı pozitif yönde etkileyen fonksiyonel bir bileşik olabileceği belirtilmiştir (Vogt vd., 2016).

Bir başka çalışmada RGI pektinleri, insan epitel kolorektal adenokarsinom hücrelerinde bağırsak geçirgenliğini azaltmıştır. Ek olarak pektinin, bu hücre hattında yara iyileşmesini hızlandırdığı ve ülseratif kolitin terapötik yönetimi için umut verici olabileceği belirtilmiştir (Maria-Ferreira vd., 2018). *Bifidobacterium longum* BB-46 ve limondan elde edilmiş pektin kombinlenerek obez bireylerin mikrobiyotası üzerindeki etkileri değerlendirilmiştir. Çalışmanın sonucunda, hem *B. longum* BB-46'nın hem de pektinin obeziteyle ilişkili mikrobiyotayı düzenleyebileceği belirtilmiştir. Bu çalışma pektinin, bütirat üreten bakterileri uyarmasının yanı sıra antiinflamatuvar etkilerle ilişkili cinsleri de uyurabileceğini göstermiştir (Bianchi vd., 2018). Bir çalışmada, %30 domuz yağı içeren ve yüksek yağlı bir diyetle beslenen farelerde 8 hafta boyunca oral yoldan verilen pektinin alkolsüz yağlı karaciğer hastalığını önlemeye olan etkisi araştırılmıştır. Sonucunda mitogenle aktive olan ve protein kinaz yolu tarafından düzenlenen bir mekanizma ile lipit metabolizmasında iyileşmelerin görüldüğü, oksidatif stresin ve iltihabın azaldığı belirtilmiştir. Pektin, doza bağlı olarak asetik ve propiyonik asitte bir artış sağlamıştır. *Bacteroides*, *Parabacteroides*, *Olsenella* ve *Bifidobacterium* sayıları artmıştır; bu çalışmada pektinin bağırsak metabolizmasını ve KZYA'ları olumlu yönde etkilediği belirtilmiştir (Li vd., 2018). Farelerle yapılan 10-14 günlük deneysel bir çalışmada, farklı gruptaki farelere portakal pektini ve turunçgil pektini verilmiştir; pektinin yan zincir içeriğinin kolit patogenezi üzerindeki etkisi incelenmiştir. Kolondaki klinik semptomların ve doku hasarının portakal pektini ile beslenen farelerde iyileştiği, portakal pektini ile beslenen farelerde kolon IL-1 β ve IL-6 düzeylerinin azaldığı gözlenmiştir. Portakal pektinin kolite karşı koruyucu etkisinin antibiyotiklerle tedavi edilen farelerde dahi gözlemlendiği ifade edilmiştir (Ishisono vd., 2019).

2.4.4. Bilişsel sağlığa etkisi

Modifiye turunçgil pektini ile sıçanlarla yapılan bir çalışmada pektinin, Gal-3'ü inhibe ederek alzheimer tipi demans hastalarında bilişsel bozuklukları hafiflettiği ve nöroinflamasyonu azalttığı belirtilmiştir. Ayrıca modifiye turunçgil pektininin antioksidan potansiyele sahip olduğu, nörodejeneratif hastalıklar için terapötik potansiyel taşıdığı ifade edilmiştir (Akgöl vd., 2024). 7-9 yaş aralığındaki ergenlik öncesi çocuklarla yapılan bir çalışmada diyet kalitesinin bilişsel testlerle ilişkisi incelenmiştir. Çocukların pektin alımıyla testlerdeki iyileştirilmiş yanıtlar arasında pozitif ilişki bulunmuş ve

bilişsel görevdeki performansın artırılmasında diyet lifi ve pektinin önemi vurgulanmıştır (Khan vd., 2015). Sağlıklı gönüllülerde DMP ile diyet takviyesinin inflamasyon belirteçleri, anksiyete ve depresyon gibi ruh hali üzerindeki rolünü değerlendirmek için yapılan bir çalışmanın sonucunda 10-15 g/gün DMP takviyesi alım dozlarında hem anksiyete hem depresyon skorları doza bağlı olarak düşmüştür (Vijay vd., 2024). Farelerle yapılan bir çalışmada fare hipokampuslerinde tanıma belleği, depresyon benzeri davranış, spontan aktivite, IL-6, TNF- α , IL-1 β gibi parametrelere pektinlerin etkisi incelenmiştir. Sonucunda pektinlerle tedavi edilen farelerde daha iyi tanıma belleği ve antidepresan benzeri bir etkinin görüldüğü bildirilmiştir (Paderin ve Popov, 2018).

2.4.5. Kan şekeri ve kan lipitlerine etkisi

Bazı toplumlarda düşük diyet lifi alımı diyabetin görülme sıklığının artmasına sebep olabilmektedir. Pektinin tip 1 ve tip 2 diyabetin kontrolünde pozitif etkiye sahip olabileceği öne sürülmektedir; fakat pektinin insülini üreten pankreas β -hücrelerinin üzerindeki mekanizması tam bilinmemektedir. Bu bağlamda farklı ED'ye sahip olan limon pektinleriyle yapılan bir çalışmada özellikle düşük ED'ye sahip pektinlerin insülin üreten β -hücrelerini strese karşı daha az duyarlı hale getirerek diyabetin önlenmesine katkıda bulunabileceği belirtilmiştir (Hu vd., 2020). Tip 2 diyabetli sıçanlarla yapılan bir çalışmada turunçgil pektininin antidiyabetik etkisi araştırılmış ve 4 haftalık turunçgil pektini uygulamasının ardından sıçanlarda açlık kan şekeri seviyelerinin azaldığı; ayrıca diyabetli sıçanlarda glikoz toleransının, hepatik glikojen içeriğinin ve kan lipit seviyelerinin (TG, LDL ve HDL) iyileştiği belirtilmiştir. Ek olarak turunçgil pektininin insülin direncini önemli ölçüde azalttığı, antidiyabetik etkide önemli bir rol oynadığı ve adjuvan tedavide potansiyel olarak kullanılabileceği ifade edilmiştir (Liu vd., 2016).

Pektin, kan kolesterol modülasyonunu sağlamaktadır. 4 hafta süresince yiyeceklerle birlikte 15 g/gün pektin veya selüloz alan hafif hiperkolesterolemik bireylerle yapılan bir çalışmada, pektinin kaynağına ve türüne bağlı olarak kolesterol düşürücü etki görülmüştür (Brouns vd., 2012). Muz ve çarkıfelek meyvesinden (*P. tripartita* var. *mollissima*) izole edilmiş orta metoksilli pektin ile turunçgillerden elde edilen yüksek, düşük metoksilli ticari pektinlerin lipit sindirimi üzerindeki etkisinin ve gastrointestinal sistemin incelendiği bir çalışmada ED arttıkça lipit sindiriminin derecesinin azaldığı, yüksek ve orta metoksilli pektinlerin lipitlerin sindirim hızını azalttığı belirtilmiştir (Espinal-Ruiz vd., 2016). Elma posasından sitrik asit kullanılarak elde edilen pektinin, pankreas lipazının in vitro inhibisyonu açısından değerlendirildiği bir çalışmada lipaz

inhibisyonunun pektinin kaynağına ve ekstraksiyon işlemine bağlı olduğu belirtilmiştir. Elde edilen pektin örneklerinin güçlü lipaz inhibitörleri olabileceği ifade edilmiştir (Kumar ve Chauhan, 2010). RGI pektini, pektik polisakkaritlerin yaklaşık olarak %20-35'ini oluşturmaktadır ve literatürde antidiyabetik, antiinflamatuvar gibi pek çok biyolojik aktiviteyi araştıran çalışmalarda görülmektedir (Chengxiao vd., 2021; Wu vd., 2021). Bir çalışmada yüksek yağlı diyetten kaynaklanan obezitenin inhibe edici etkisi üzerine RGI'in dallanma derecesinin, içeriğinin ve moleküler boyutunun etkisi araştırılmıştır. Sonucunda RGI hiperlipidemiye iyileştirme açısından karaciğerde yağ birikimini azaltmış ve beyaz yağın kahverengileşmesini teşvik ederek kan lipid seviyelerini düşürmüştür; ayrıca HG pektinine kıyasla daha iyi bir sonuç verdiği ifade edilmiştir (Zhu vd., 2020).

2.5. Pektin Kaynakları

Farklı içeriklere sahip olan pek çok bitkiden pektin elde edilebilmesine rağmen her meyve ve sebzedeki pektin ticari anlamda kullanılamamaktadır (Thakur vd., 1997). Günümüzde endüstriyel anlamda ticari pektinin yaklaşık olarak %85'i turunçgil kabuklarından, %15'i elma posasından elde edilmektedir (Bosch ve Malgas, 2023). Kuru ağırlık bazında yaklaşık olarak turunçgil kabuğu %20-30, elma posası %10-15, şeker pancarı ve ayçiçeği ise %10-20 oranında pektin içermekte ve pektin kaynakları olarak kullanılmaktadır (Kalapathy ve Proctor, 2001; Srivastava ve Malviya, 2011). Narenciye türü pektinlerin olumlu jel oluşturma özellikleri; HG/RGI oranı, moleküler ağırlığı, doğrusallık ve dallanma derecesi, nötr şeker yan zincirlerinin uzunluğu ve ED gibi yapısal özellikleriyle ilişkilendirilmektedir (Costa vd., 2022; Cui vd., 2023; Yang vd., 2022). Günümüzde pektin talebinin artması, turunçgillerde görülen siyah ve yağlı leke hastalıkları gibi sebeplerden dolayı artan ihtiyacın değerlendirilmesine ilişkin araştırmalar sürmektedir. Alternatifler üzerine yapılan bilimsel çalışmalara ilişkin Tablo 2.3 ve Tablo 2.4'te pektin kaynakları listelenmiştir (Sharif vd., 2018).

Tablo 2.3 Farklı pektin kaynakları

Pektin Kaynakları	Kaynaklar
Kakao Kabuğu	Anoraga vd., 2024; Mollea vd., 2008
Balkabağı Kabuğu	Frosi vd., 2024
Karpuz Kabuğu	Majid vd., 2023; Petkowicz vd., 2017
Jak Meyvesi Kabuğu	Sontakke vd., 2024
Kahve Posası	Biratu vd., 2024
Muz Kabuğu	Chinnathambi vd., 2024
Papaya Kabuğu	Feng vd., 2024
Ananas Kabuğu	Rodsamran ve Sothornvit, 2019
Durian Kabuğu	Ginting vd., 2024
Amarant Yaprakları	Mzoughi vd., 2018
Ejder Meyvesi	Du vd., 2024
Pomelo Kabuğu	Hossain vd., 2024; Sun vd., 2024
Tatlı Patates	Zhang, W. Y., vd., 2025
Ağaç Domatesi	Manjula vd., 2024
Kavun Kabuğu	Drishya ve Wani, 2024
Mango Kabuğu	Thakare vd., 2023
Çarkıfelek Meyvesi Kabuğu	Freitas vd., 2020a; Pereira vd., 2024

Tablodaki alternatifler incelendiğinde, çarkıfelek meyvesi kabuğu farklı bir pektin kaynağı olarak göze çarpmaktadır (Freitas vd., 2020a; Pereira vd., 2024). Pektin eldesinde pektin verimini; ekstraksiyonda kullanılan asit, sıcaklık, katı sıvı oranı, pH, ekstraksiyon süresi, aşamaları, teknikleri ve parametreleri gibi pek çok faktör etkilemektedir (Picot-Allain vd., 2022; Putnik vd., 2017). Tablo 2.3 ve Tablo 2.4’te görüldüğü üzere; gıda endüstrisinde alışılmadık kaynakların kullanılmasıyla meydana gelen atık yan ürünler pektin ekstraksiyonu açısından umut vermekte ve pektin kaynaklarının çeşitlenmesi yönünden önem arz etmektedir.

Tablo 2.4 Pektin kaynakları ve elde edilen verimler

Pektin Kaynakları	Pektin Verimi (%)	Kaynaklar
Ahududu, çilek, böğürtlen	4,10-12,20	Muñoz-Almagro vd., 2021
Muz Kabuğu	14,47-24,08	Aida ve Zailan, 2019; Khamsucharit vd., 2018
Ejder Meyvesi Kabuğu	7,15-23,34	Du vd., 2024; Ismail vd., 2012; Jiang vd., 2023; Muhammad vd., 2014; Muhammad vd., 2020; Setyajati vd., 2023; Thirugnanasambandham vd., 2014; Zaidel vd., 2017
Mango Kabuğu	9-32	Aida ve Zailan, 2019; Koubala vd., 2008; Thakare vd., 2023; Wongkaew vd., 2020; Xia ve Matharu, 2017
Çarkıfelek Meyvesi Kabuğu	7,29-18,20	Klinchongkon, 2017; Kulkarni ve Vijayanand, 2010; Lin vd., 2021; Phan ve Ngo, 2020
Karpuz, Kavun Kabuğu	4,19-27,86	Drishya ve Wani, 2024; Jiang vd., 2012; Mamiru ve Gonfa, 2023; Pérez vd., 2022
Limon, Mandalina, Pomelo, Portakal, Turunç Kabukları	5,29-36,33	Chien vd., 2022; Dambuza vd., 2024; El Fihry vd., 2022; Hosseini vd., 2019; Jiang vd., 2023; Khule vd., 2012; Kumari vd., 2023; Liew vd., 2016; Setyajati vd., 2023; Sun vd., 2024; Yu vd., 2024
Domates Atığı	15,1-35,7	Grassino vd., 2016a
Elma, Havuç Posası	10,10-15,20	Jafari vd., 2017; Ziari vd., 2010
Üzüm Posası	2,8-11,0	Megías-Pérez vd., 2023; Spinei ve Oroian, 2022
Tatlı Patates	2,14-3,16	Zhang, W. Y., vd., 2025
Nar Kabuğu	8,5	Moorthy vd., 2015
İncir	6,05-15,3	Gharibzahedi vd., 2019; Li ve Rao, 2024
Şeftali, Kahve Posası	9,94-12,7	Biratu vd., 2024; Faravash ve Ashtiani, 2008
Kivi Kabuğu	17,30-23,98	Güzel ve Akpınar, 2019; Liu vd., 2024
Jak Meyvesi Kabuğu	11,3-25,1	Koh vd., 2014; Mbaeyi-Nwaoha vd., 2019; Xu vd., 2018
Papaya Kabuğu	7,34-25,41	Aida ve Zailan, 2019; Altaf vd., 2015; Maran ve Prakash, 2015; Setyajati vd., 2023
Kırmızı ve Şeker Pancar Posası	34,4-37,0	del Amo-Mateos vd., 2024
Balkabağı Kabuğu	2,48-14,12	Frosi vd., 2024; Maddakandage Dona, 2019
Ağaç Fasulyesi Kabuğu	12,65	Saelee vd., 2025

2.6. Pektin Üretimi

Elma, muz, turunçgil vb. gibi meyveler gıda endüstrisi tarafından işlenirken meyvenin özellikle kabuk ve posa kısımlarını içeren atıklar oluşmaktadır (Błaszczuk vd., 2024; Wongkaew vd., 2021). Oluşan bu atıkların iyi yönetilememesinin sonucunda karbon ayak izi ve sera gazı gibi çevresel kirleticiler artmaktadır (Bhatia vd., 2023). Oluşan bu küresel soruna karşı çözüm olarak, tarım kaynaklı gıda atıkları katma değeri yüksek ürünlere dönüştürülebilmektedir (Samota vd., 2023). Bu bağlamda da GRAS ürün olarak belirtilen, büyüyen bir pazara ve ticari olarak yüksek bir değere sahip olan pektin göze çarpmaktadır (Moslemi, 2021; Roman-Benn vd., 2023). FAO/WHO pektini doğal bir gıda katkı maddesi olarak belirtirken; günlük olarak bir kısıtlama olmadan kullanılabileceğini belirtmektedir (Mada vd., 2022).

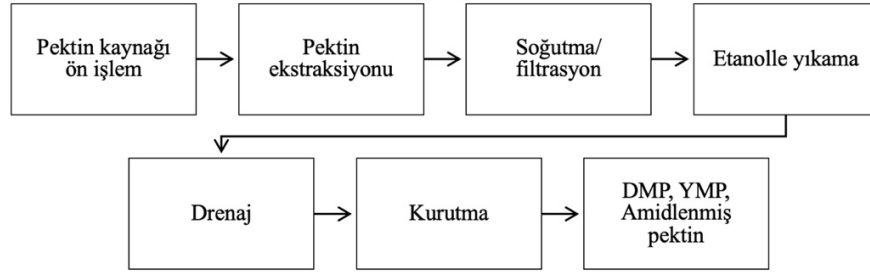
Pektinin bitkilerin hücre duvarından elde edilerek üretildiği bilinmektedir. Pektin üretimi temel olarak; pektinin çözünür hale getirilmesiyle ekstraksiyonu, filtrasyonu, alkolle çöktürülmesi, yıkanması ve kurutulması aşamalarından oluşan çok katmanlı bir fizikokimyasal işlem olarak belirtilmektedir (Ciriminna vd., 2015). Sarı çarkıfelek meyvesiyle yapılan bir çalışmada meyvenin olgunluk seviyesi arttıkça elde edilen pektin veriminin düştüğü ifade edilmektedir. Çalışmada meyvelerden elde edilen pektin verimleri yeşilken %28,5, orta olgunlukta %24,8 ve olgunken %20,7 oranında belirtilmiştir (Reolon vd., 2009). Bazı çalışmalarda ise ham pektin veriminin olgunlaşma başladığında arttığı; fakat son olgunlaşma aşamasında azaldığı ifade edilmektedir (Nguyen vd., 2022). Meyve olgunlaştıkça, protopektinazlar ham meyvede bulunan çözünmeyen protopektini parçalayarak çözünür pektini oluşturmaktadır (Patidar vd., 2018). Aşırı olgun meyvelerde bulunan yüksek konsantrasyondaki poligalakturonaz ve pektinesteraz enzimleri, pektin yapısının parçalanmasını ve nişastanın hidrolizini hızlandırarak meyvenin yumuşamasına yol açmaktadır (Kozłowski ve Pallardy, 1997). Üretilen pektinin ED'sine göre jel oluşturabilmesi ve ticari açıdan içerdiği GalA miktarı önem taşımaktadır (May, 1990). Farklı bitkilerden elde edilen pektinler sıklıkla benzer yapısal özelliklere sahip olsa da bitkinin fizyolojik süreci, türü ve ekstraksiyon koşulları gibi faktörlere göre değişiklik göstermektedir (Minzanova vd., 2018).

Son zamanlarda küresel açıdan pektin talebi artmaktadır. Küresel pektin pazarının 2024 yılında 1,25 milyar ABD dolarına ulaştığı belirtilirken; pazarın 2033 yılına kadar 2,31 milyar ABD dolarına ulaşacağı ve 2025-2033 yılları arasında %7'lik bir büyüme göstereceği öngörülmektedir (Research and markets, 2025). Ancak gıda endüstrisinde

ciddi ölçüde pektin içeriğine sahip olan hammadde işlenirken hem atık olmakta hem de kaynak israfına yol açarak çevre kirliliğine sebep olmaktadır (Su vd., 2019). Öte yandan, geleneksel pektin üretim sürecinde sebze ve meyvelerin yan ürünlerini değerlendirirken elde edilen pektinin, üretim aşamasındaki ekonomik ve enerji talebini karşılayıp karşılamadığına yönelik de bir kaygı bulunmaktadır (Casas-Orozco vd., 2015). Buna sebep olarak ise uzun işlem süreleri ve sıcaklıkları sebebiyle iyi kalitede pektinin elde edilip edilememesi gösterilmektedir (Adetunji vd., 2017). Dolayısıyla pektin üretiminde geleneksel kaynakların dışında geleneksel olmayan kaynaklarında kullanılması ve teşvik edilmesi; ayrıca üretim aşamasında daha düşük çözücü tüketimi, daha kısa pektin çıkarma süresi, daha düşük sıcaklıkları içeren ve pektin veriminin arttırıldığı yeni çevre dostu pektin üretim yöntemlerinin araştırılması önem taşımaktadır. Pektin üretim endüstrisinin gelişmesinde atık olan kabuk gibi yan ürünlerin kullanılması, pektin kaynaklarının çeşitlendirilmesi, ekolojik ve çevre dostu bir adım olarak nitelendirilirken; zamanında atık olarak kabul edilen ürünün değerli bir kaynağa dönüşümünü ele alan döngüsel ekonominin ilkeleri de desteklenerek sürdürülebilirlik açısından önem arz etmektedir (Adetunji vd., 2017; Said vd., 2023; Yi vd., 2024). Dolayısıyla paketli gıdalara artan talep ve tüketicilerin temiz içerikli ürün isteği de düşünüldüğünde hem küresel hem de Türkiye açısından katma değeri yüksek olan pektinin ticari anlamda üretilebiliyor olması ve farklı kaynaklardan üretiminin teşvik edilmesi önem taşımaktadır (Adimas ve Abera, 2023).

2.7. Pektin Ekstraksiyonu

Pektin ekstraksiyonunda ilk olarak hücre duvarında orta lamelde bulunan protopektin, kurutulmuş meyve kabuklarından su, seyreltik organik veya mineral asitlerle ekstrakte edilmektedir. Filtre edilen pektin, konsantre hale getirilmekte, alkol eklenerek flokleştirilmekte ve kütle pektini elde edilmektedir. Ardından kütle pektini alkolle yıkanmakta, kurutulmakta ve toz haline getirilerek depolanmaktadır (Adetunji vd., 2017; Adimas ve Abera, 2023; Ciriminna vd., 2015; Dang vd., 2024; May, 1990). Pektin ekstraksiyon sürecinin adımları Şekil 2.7’de gösterilmiştir. Ekstraksiyon işlemi, hedef bileşiğin özelliklerini etkilemeden ve kirlenmeye neden olmadan maksimum verim elde etmeyi amaçlamaktadır (Dalal vd., 2020).



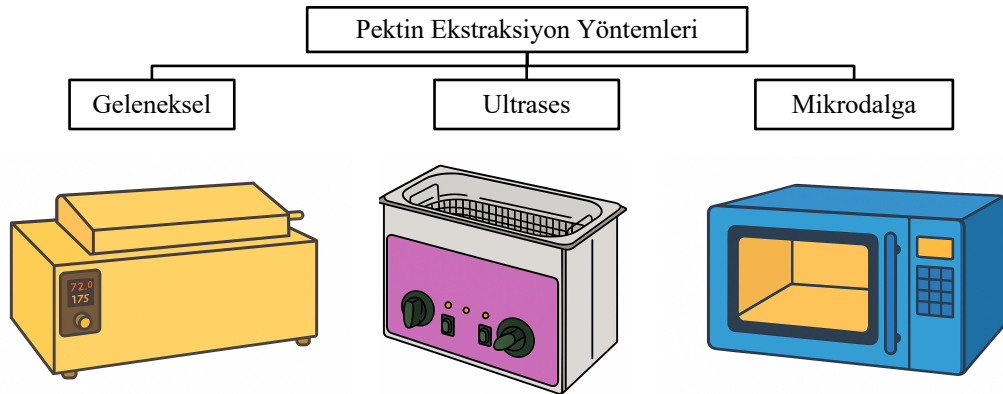
Şekil 2.7 Pektin ekstraksiyon aşamaları (Adimas ve Abera, 2023).

Pektin ekstraksiyonu, pektin çalışmalarının ilk ve kritik aşaması olarak ifade edilmektedir. Farklı çözücüler ve yöntemler pektinin yapısal pek çok özelliğini etkilemektedir. Genellikle seçilen yöntem, bitkinin hücre duvarının yapısına bağlıdır; pektin bitkinin hücre duvarında olduğu için hemiselüloz, selüloz, protein vb. gibi bileşenlerle güçlü çapraz bağları sebebiyle bu ağ yapısının kırılması gerekmektedir. Bu yüzden asitte çözünen pektik polisakkaritler sıklıkla şelat oluşturmaya maddeler, güçlü alkaliler, güçlü asitler, ultrases vb. gibi kimyasal veya fiziksel yöntemlerle çıkarılmaktadır (Dou vd., 2019; Jiang, Y., vd., 2020; Naqash vd., 2017). Pektinin ekstraksiyonu esnasında protopektin hidroliz olarak pektin polimerleri ekstraksiyon çözücüsünde çözünmektedir (Riyamol vd., 2023).

Sıcak su ekstraksiyon yöntemi birincil hücre duvarına esas olarak kovalent olmayan bağlarla bağlanmış olan pektini çözmek için kullanılmaktadır (Imaizumi vd., 2017). Asit ve alkali yöntemlerde aynı şekilde pektini çözebilmektedir (Colodel ve de Oliveira Petkowicz, 2019). Sıklıkla kullanılan asit yöntemi, bitkinin hücre duvarını etkili bir şekilde parçalamakta ve pektinin suda çözünmesini kolaylaştırmaktadır. Bu yöntem sıklıkla RGI alanlarını kaldırırken HG alanını korumaktadır. Ek olarak ekstraksiyonun pH'ı ve sıcaklığı, HG ve RGI içeriğini önemli oranda etkilemektedir (Murayama vd., 2021; Xiong vd., 2021; Yapo vd., 2007; Zheng vd., 2020). Alkali ekstraksiyon ise β -eliminasyon reaksiyonu ile HG zincirini bozmakta ve yan zincirleri korumaktadır; dolayısıyla oluşan pektinde daha fazla RGI alanı bulunmaktadır (Khodaei vd., 2016; Zhang, X., vd., 2020). Şelat oluşturmaya maddeler ise iyonik bağlar ile ara tabakaya bağlanmış olan pektini çözebilmektedir. Ayrıca duvardaki kalsiyum ile birleşerek kararlı kompleksler oluşturabilmektedir; bu sayede de kalsiyum iyonlarının suda çözünmesi kolaylaşmaktadır. Şelat oluşturmaya maddelerle elde edilmiş pektinin esas olarak HG alanlarını içerdiği belirtilmektedir (Morris vd., 2011). Literatürdeki çalışmalarda yüksek oranda HG içeriğine sahip olan pektinlerin daha iyi jel oluşturabildiği, daha iyi bir viskozite özelliği gösterdiği ve pektin filmlerini üretmek için uygun olduğu ifade

edilmektedir (Zhang, M., vd., 2020). Doğal bir diyet lifi olduğu bilinen RGI tipi pektin ise kolondaki mikroorganizmalar tarafından fermente edilmektedir ve bu içeriğe sahip olan pektinin probiyotik fonksiyon, antiobezite, antikanser gibi özellikler gösterdiği belirtilmektedir; dolayısıyla pektinlerin işlevsel özelliklerinin ve yapılarının elde edildiği çözücüyle ilişkili olabileceği göze çarpmaktadır (Zhang, W. Y., vd., 2025).

Pektin, meyve ve yan ürünlerinden sıklıkla sulu yöntemlerle çıkarılmaktadır. Geleneksel yöntemler endüstriyel anlamda daha az ekipmana ihtiyaç duyulan, inorganik ve organik asit ekstraksiyonu olarak belirtilmektedir. Ancak bu yöntemlerde yüksek sıcaklık, uzun süre ve yüksek enerjiye ihtiyaç duyulmaktadır. Bu durumda da pektin depolimerizasyona uğramakta; verim ve kalitede kayıplar meydana gelebilmektedir. Ayrıca bu yöntemlerde kullanılan asit ve miktarından kaynaklı olarak çevresel sorunlar oluşabilmektedir. Bu sebeple de daha kısa sürelerle ve düşük sıcaklıklara ihtiyaç duyulan; aynı zamanda da kaliteli ve yüksek verimli pektin elde edilebilecek sürdürülebilir yeni yöntemler geliştirilmektedir (Min vd., 2011). Bu bağlamda Şekil 2.8’de de görüldüğü gibi geleneksel olmayan ve çevre dostu olarak belirtilen; ultrases, mikrodalga, enzimatik, subkritik su, ultra yüksek basınç ekstraksiyonu gibi yöntemler gündeme gelmektedir (Said vd., 2023; Shivamathi vd., 2022). Literatürde ultrases veya mikrodalga ekipmanlarının geleneksel yöntemle kıyasla daha sınırlı olduğu ve maliyetlerinin daha yüksek olduğu belirtilse de uzun vadede enerji tüketimi, ekstraksiyon süresi ve reaktif kullanımı açısından daha avantajlı olabilecekleri göze çarpmaktadır (Albuquerque vd., 2018; Cui vd., 2021; Wang vd., 2016).



Şekil 2.8 Farklı pektin ekstraksiyon yöntemleri (Jeevitha vd., 2023).

Tablo 2.5’te görüldüğü gibi her yöntemin kendine göre dezavantajları ve avantajları vardır; yöntemlerin seçimi bitkinin kaynağı, çevresel etkisi ve istenen verim gibi faktörlere bağlı olarak değişmektedir. Literatürde mikrodalga ve ultrases yöntemlerinin pektin verimini iyileştirebildiği; bu sebeple verimi daha da arttırmak adına

yöntemlerin kombinasyonunun yapılabileceği belirtilmektedir (Riyamol vd., 2023). Seçilen yöntem elde edilen pektinin monosakkarit bileşimi, konformasyonu, ED'si ve moleküler ağırlığı gibi özelliklerini etkilemektedir (Cui vd., 2021).

Tablo 2.5 Pektin ekstraksiyon yöntemlerinin karşılaştırılması

Yöntem	Avantajları	Dezavantajları	Kaynaklar
Geleneksel Asit ile Ekstraksiyon	- Basit ve düşük maliyetli - Endüstride yaygın kullanılır - Donanım gereksinimi az	- Uzun işlem süresi - Yüksek enerji tüketimi - Pektinin yapısal bozunma riski	Cui vd., 2021; Seixas vd., 2014
Ultrases ile Ekstraksiyon	- Daha kısa işlem süresi - Yüksek verim - Daha düşük sıcaklık - Enerji tasarrufu - Hücre duvarı parçalama etkisi	- Ultrases ekipmanı maliyetli - Bazı cihazlar için ölçekleme zor olabilir - Yüksek enerji yoğunluğu - Pektinin yapısı bozabilir - Zamanla güç azalabilir	Arumuganainar vd., 2025; Chemat vd., 2017; de Oliveira vd., 2016a; Hernandez-Hernandez vd., 2024
Mikrodalga ile Ekstraksiyon	- En kısa işlem süresi - Yüksek verim - Daha az çözücü kullanımı - Enerji verimliliği yüksek - Pektin kalitesi korunabilir	- Mikrodalga cihazları pahalı - Pektinin termal bozunma riski - Süre ve güç kontrolü hassas	Chen vd., 2007; Cui vd., 2021; Seixas vd., 2014

Şekil 2.9'da görüldüğü üzere ekstraksiyon yöntemine göre parametreler değişebilmektedir (Belkheiri vd., 2021; Spinei ve Oroian, 2022; Yang, Y., vd., 2018).



Şekil 2.9 Pektin ekstraksiyon yöntemleri ve bazı parametreleri (Adimas ve Abera, 2023; Yu vd., 2024).

Çalışmalar incelendiğinde pektin verimi ekstraksiyon süresi, sıcaklık ve asitlikle artarken; öte yandan düşük pH değeri, uzun süreli ekstraksiyon ve yüksek sıcaklık pektinin polimer yapısının uzunluğunu azaltabilmektedir. Dolayısıyla nihai üründe bazı fonksiyonel özelliklerin kaybolabileceği ifade edilmektedir. Uzun ısıtma işlemi, pektinlerin beta eliminasyonuna yol açmaktadır ve dallanmanın giderilmesiyle termal

bozunuma uğramış düşük kaliteli pektinler oluşabilmektedir. Ayrıca sıcaklık arttıkça ED değeri, pH düştükçe de GalA içeriği düşebilmektedir (Belkheiri vd., 2021; Emaga vd., 2008; Kulkarni ve Vijayanand, 2010). Yüzey alanı kütle transfer oranıyla doğru orantılıdır; ham maddenin granülometrisi ne kadar düşükse ekstraksiyondaki kütle transferi o kadar iyi olmaktadır (de Oliveira vd., 2015). Çalkalama hızının artmasıyla kütle transfer hızı artmakta ve difüzyon tabakasının kalınlığı azalmaktadır; dolayısıyla pektin verimi artmaktadır (Kanse vd., 2017). Yapılan çalışmalar incelendiğinde katı sıvı oranı sıklıkla 1:10 ile 1:50 arasında tutulmaktadır (Belkheiri vd., 2021). Oran arttıkça ekstraksiyon hacmi artmakta ve olması gerekenden fazla şişen bitki materyali, hücre duvarını daha kolay parçalamaktadır; bu sayede de pektin ortama salınmakta ve verim artmaktadır. Ancak bu oran belli bir düzeyin üzerine çıkarsa, doymuş hale gelen solüsyonda kütle transferi ve hızı negatif etkilenmekte ve verim azalabilmektedir. Yapılan bir çalışmada oran 1:10'nun altında olduğunda verimin düştüğü belirtilmektedir; bu durum ise çözücü miktarının pektinin çözünmesi için yetersiz kalmasıyla açıklanabilmektedir (Chik vd., 2023; Kulkarni ve Vijayanand, 2010; Maran vd., 2013).

Kuru maddeyle etkileşime girebilmesi açısından düşük viskoziteli bir çözücü kullanımı önerilmektedir. Dolayısıyla pektin ekstraksiyonunda kullanılan çözücünün türü de önem arz etmektedir (Oliveira vd., 2015). Pektin eldesinde çözücü olarak sülfürik, nitrik ve hidroklorik asit gibi mineral asitler veya tartarik, asetik ve sitrik asit gibi organik asitler tercih edilmektedir (Adetunji vd., 2017; Grassino vd., 2016a; Lefsih vd., 2016). Mineral asitler, suda hidrojen iyonları ve konjuge baz iyonları oluşturan; bir veya daha fazla anorganik maddeden oluşan asit türleri olarak bilinmektedir. Hidroklorik asit gibi mineral asitlerin aşındırıcı atık su ürettiği, son ürünü kirlettiği, ekipman korozyonuna sebep olduğu ve üretim maliyetini arttırdığı ifade edilirken; çevre dostu olmadığı belirtilmektedir (He vd., 2021; Hosseini vd., 2016; Liew vd., 2018). Literatürde çözücü türü üzerine yapılan çalışmalarda, işlem esnasında oluşan atıkların arıtılmasındaki zorluklar ve toksisite güçlü asit kullanımıyla ilgili zorlukları göstermektedir. Bu sebeple çevresel ve ekonomik faydaları düşünüldüğünde mineral asitlerin yerine organik asitlerin kullanımı göze çarpmaktadır (Kanse vd., 2017). Mineral asitlere kıyasla organik asitlerin ayrışma ve hidroliz kapasiteleri daha düşüktür; organik asitler daha az yıkıcıdır ve elde edilen pektinin daha az depolimerleşmesine neden olmaktadır ve böylece pektinin yapısını korumaktadır (Cui vd., 2021; Picot-Allain vd., 2022). Öte yandan bazı çalışmalarda ise organik asitlerin çevre dostu kabul edildiği, pektinin yapısını koruduğu; ancak üretimlerinin mineral asitlerin üretiminden daha yüksek oranda iklim değişikliği

etkilerine yol açabildiği belirtilmektedir (Nadar vd., 2022). Pektin eldesinde farklı çözücülerin kullanılması elde edilmek istenen pektin çeşidi için önem arz etmektedir. YMP elde etmek için güçlü asitler; DMP elde etmek için sıcak su yöntemi kullanılabilir (Raji vd., 2017).

Gıdalarda kullanımı Amerika Birleşik Devletleri Gıda ve İlaç Dairesi (FDA-Food and Drug Administration) tarafından GRAS statüsünde olan ve organik asit türü olarak belirtilen sitrik asidin pektik bileşiklerdeki glikozid bağları kırmada daha etkili olabileceği belirtilmektedir. Ek olarak yapılan bazı çalışmalarda sitrik asit ekstraksiyonu, polisakkaritlerin bazı fizikokimyasal özelliklerini de arttırabilmekte ve tercih edilebilir bir pektin rengi sunabilmektedir (Cui vd., 2016). Ayrıca sitrik asit hem şelatlayıcı hem de asit özelliği göstermektedir (Yang, X., vd., 2018). Literatürdeki verilerde asidik çözeltilerin tek başına kullanımına kıyasla şelat oluşturan ajanlar içeren ekstraksiyon çözücülerinin daha fazla miktarda pektin çıkarabildiği belirtilmektedir (Begum vd., 2014). Elma kabuğu (Cho vd., 2019), kakao kabuğu (Chan ve Choo, 2013), şeker pancarı posası, (Li vd., 2015), çarkıfelek meyvesi (Liew vd., 2014) ve üzüm posası (Rezaei vd., 2021) gibi ürünlerin ekstraksiyonunda sitrik asidin kullanıldığı ifade edilmektedir. Literatür incelendiğinde jak meyvesinin kabuğundan 1:30 katı sıvı oranı ve pH 2,0 koşullarında pektin ekstraksiyonunun yapıldığı bir çalışmada hidroklorik, nitrik ve sülfürik asit olmak üzere mineral asitlerin ve sitrik, laktik ve tartarik asit olmak üzere organik asitlerin etkinliği araştırılmıştır. En yüksek pektin verimi sitrik asitle yapılan ekstraksiyonda %17,9 olarak bulunurken; hidroklorik asit kullanıldığında ise %17,2 oranında verim elde edildiği belirtilmiştir (Xu vd., 2018). Dondurularak kurutulmuş pomelo kabuklarından pektin ekstrakte edilen bir çalışmada asetik ve laktik aside kıyasla sitrik asitle elde edilen pektinin en yüksek GalA içeriğine sahip olduğu bildirilmiştir (Van Hung vd., 2021). Dolayısıyla uygun bir sürdürülebilir ekstraksiyon yönteminin seçimi hem pektinin verimini en üst seviyeye çıkarmak hem de pektinin biyolojik, reolojik, fizikokimyasal, işlevsel ve yapısal özelliklerini korumak için önem taşımaktadır.

2.7.1. Geleneksel asit ile pektin ekstraksiyonu

Geleneksel asitle ekstraksiyon yönteminde genellikle yaklaşık 1-3 saat süresince sürekli karıştırma ile pH 1,0-3,0 değerinde, 75–100 °C sıcaklık arasında mineral veya organik asitle asitlendirilmiş su içinde pektin ekstrakte edilmektedir. Sıcaklık, katı sıvı oranı, pH değeri, çözücü özellikleri, süre vb. gibi çeşitli faktörler geleneksel asit yöntemini etkilemektedir (Belkheiri vd., 2021; Marić vd., 2018; Naqash vd., 2017).

Sıklıkla kullanıldığı bilinen pektin çıkarma yöntemleri sıcak asit ve sudur; ancak sıcak asit tekniğinin daha çok kullanıldığı belirtilmektedir (Bagherian vd., 2011). En basit ekipmana ihtiyaç duyulan yöntemin geleneksel ekstraksiyon olduğu ifade edilmektedir (Narayan ve Srivastava, 2016). Geleneksel asit ekstraksiyon yönteminde protopektin, pektinik aside hidroliz olmakta, ardından etanolle çöktirmektedir (Sandarani, 2017). Sıklıkla mineral asitlerin tercih edildiği bu yöntemde; kullanılan yüksek miktardaki asit, uzun süren ekstraksiyon, yüksek enerji tüketimi, bazı çevresel sorunlar, yüksek sıcaklıklar ve bazı uçucu bileşenlerin kaybı gibi sebeplerle bitki materyallerinde bulunan değerli bileşenlerin bozunması ve buna bağlı olarak düşük verimli pektin eldesi gibi bazı dezavantajlar bulunmaktadır (Adetunji vd., 2017; Gavahian vd., 2021; Satari ve Karimi 2018). Bu bağlamda Bölüm 2.7’de de bahsedildiği gibi geleneksel asitle ekstraksiyona alternatif yenilikçi yöntemler ve organik çözücüler gündeme gelmektedir. Yapılan bir çalışmada geleneksel ve ultrases destekli ekstraksiyon karşılaştırılmış ve sitrik asit kullanılarak üzüm posasından pektin ekstrakte edilmiştir. Sonucunda geleneksel asit ile ekstraksiyonda pektin verimi %25,6 olarak bulunurken; ultrases destekli ekstraksiyonda %32,4 olarak bulunmuştur (Minjares-Fuentes vd., 2014). Fakat literatürdeki bazı çalışmalarda ise verim bakımından ultrases ve mikrodalga yöntemine kıyasla geleneksel ekstraksiyonun daha iyi olduğu ifade edilmektedir (Bagabaldo vd., 2022). Çilek, ahududu, yaban mersini gibi bitkilere geleneksel sitrik asit ekstraksiyonu uygulanmıştır. Sonucunda ahududu dışındaki meyvelerde geleneksel sitrik asit ekstraksiyonunun, ultrases ve mikrodalga ekstraksiyon yöntemlerine kıyasla daha yüksek verimle sonuçlandığı belirtilmiştir (Muñoz-Almagro, vd., 2021).

Aynı renk ve olgunluk düzeyinde bulunan çarkıfelek meyvesinin kabuklarından sitrik asit kullanılarak geleneksel asit yöntemiyle farklı pH değerlerinde ve sürelerinde pektin ekstrakte edilmiştir. İdeal pektin elde etme koşulları 75 dakika ve pH 2,0 olarak ifade edilmiş ve verim %14,6 olarak bildirilmiştir. Ayrıca çalışmada ekstraksiyon verimini en çok etkileyen parametrenin pH olduğu ifade edilmiştir (Liew vd., 2014). Karpuz kabuğundan pektin elde edilen bir çalışmada pektinde bulunan karboksil gruplarının daha düşük pH'ta asitleştirilmiş ekstraksiyon çözücüsü sebebiyle hidratlandığı ve karboksil gruplarındaki yük kaybının, itici kuvvetleri azalttığı dolayısıyla pektinin çökmesini teşvik ettiği ifade edilmiştir. Bu bağlamda pH düştükçe bitki kaynağından pektinin kütle transferinin ve veriminin arttığı belirtilmiştir (Pérez vd., 2022). Çarkıfelek meyvesinden geleneksel yöntemle pektin elde edilen bir çalışmada ekstraksiyon süresi uzun olduğunda pektinde depolimerizasyon olabileceği ve bozunma görülebileceği

dolayısıyla geleneksel ekstraksiyonda yüksek sıcaklık ve uzun sürenin polisakkaritin GalA gibi yapısal özelliklerini etkileyebileceği ifade edilmiştir (de Oliveira vd., 2015). Tablo 2.6’da da görüldüğü üzere sarı çarkıfelek meyvesinin kabuğundan (*Passiflora edulis flavicarpa*) geleneksel ekstraksiyon ile %13,8 oranında verim elde edilmiştir (Freitas vd., 2020a). Çarkıfelek meyvesi kabuğundan hidroklorik ve nitrik asit kullanılarak yapılan geleneksel pektin ekstraksiyonu çalışmalarında elde edilen verimler %6-16 arasında değişmiştir (de Oliveira vd., 2015; de Oliveira vd., 2016a; Huo vd., 2023; Kulkarni & Vijayanand, 2010; Vasco-Correa ve Zapata, 2017; Yapó, 2009).



Tablo 2.6 Çarkıfelek meyvesi kullanılarak geleneksel asit ile pektin ekstraksiyonu

Pektin Kaynağı	Değişkenler	Verim (%)	ED (%)	GalA (%)	Kaynaklar
Sarı Çarkıfelek Meyvesi (<i>Passiflora edulis</i> f. <i>flavicarpa</i> L.)	1:30 katı sıvı oranı, hidroklorik asit, pH 2,0, 98,7 °C, 60 dakika	14,8	9,6/100 g metoksil	88,20	Kulkarni ve Vijayanand, 2010
Mor Çarkıfelek Meyvesi	1:30 katı sıvı oranı, nitrik asit, pH 2,0, 98 °C, 60 dakika	5,28	74,50	78,41	Liang vd., 2022
Sarı Çarkıfelek Meyvesi (<i>Passiflora edulis</i> f. <i>flavicarpa</i>)	Nitrik asit, 80 °C, 40 dakika, 1:50 katı sıvı oranı	24,9	68,0	72,8	Silva ve de Resende, 2023
Sarı Çarkıfelek Meyvesi (<i>P. edulis</i> Sims f. <i>flavicarpa</i>)	60 dakika, katı sıvı oranı 1:30, pH 2,0, 85 °C, nitrik asit	10,90	86,75	70,35	de Oliveira vd., 2015
Sarı Çarkıfelek Meyvesi (<i>Passiflora edulis flavicarpa</i>)	80 °C, 52,5 dakika, sitrik asit, katı sıvı oranı 1:30	13,18	86,76	-	Freitas vd., 2020a
Mor Çarkıfelek Meyvesi (<i>Passiflora edulis</i>)	Sitrik asit, 76°C, 99 dakika, pH 2,0, katı sıvı oranı 1:50	13,18	61,98	78,09	Dao vd., 2021
Sarı Çarkıfelek Meyvesi (<i>P. edulis</i> Sims f. <i>flavicarpa</i>)	Katı sıvı oranı 1:30, 10 dakika, 85 °C, pH 2,0, nitrik asit	7,95	-	-	de Oliveira vd., 2016a
Sarı Çarkıfelek Meyvesi (<i>Passiflora edulis</i> f. <i>flavicarpa</i>)	Sitrik asit, 75 dakika, pH 2,0, katı sıvı oranı 1:25, 70 °C	14,60	78,59	-	Liew vd., 2014
Sarı Çarkıfelek Meyvesi (<i>Passiflora edulis</i> f. <i>flavicarpa</i>)	pH 1,62, limon suyu, 90 dakika, katı sıvı oranı 1:25, 80 °C,	10,8	65	78,3	Yapo, 2009
Mor Çarkıfelek Meyvesi (<i>Passiflora edulis</i> Sims)	Sitrik asit, katı sıvı oranı 1:50, 95 °C, 80 dakika	38,77	-	-	Nguyen vd., 2022
Mor Çarkıfelek Meyvesi (<i>Passiflora edulis</i> Sims)	90 °C, pH 2,0, 120 dakika, katı sıvı oranı 1:20, prolin-sitrik asit	22,63	63,91	59,1	Huo vd., 2023
Mor Çarkıfelek Meyvesi (<i>Passiflora edulis</i> sp.)	1:30 katı sıvı oranı, pH 3,0, sitrik asit, 95 °C, 95 dakika	10,9	18,9	55,0	Pereira vd., 2024
Sarı Turuncu Çarkıfelek Meyvesi (<i>Passiflora tripartita</i> var. <i>mollissima</i>)	80 °C, 30 dakika, 1:10 katı sıvı oranı, hidroklorik asit, pH 3,5	23,2	76,9	65,4	Rentería-Ortega vd., 2023
Sarı Çarkıfelek Meyvesi (<i>Passiflora edulis</i> f. <i>flavicarpa</i>)	1:25 katı sıvı oranı, 70 °C, 75 dakika, sitrik asit, pH 3,3	12	38,26	58,43	Mbaeyi-Nwaoha vd., 2019
Mor Çarkıfelek Meyvesi (<i>Passiflora edulis</i>)	Nitrik asit	10,36	85,21	83,30	Manjula vd., 2024
Turuncu Çarkıfelek Meyvesi (<i>Passiflora ligularis</i>)		5,70	47,05	59,84	

2.7.2. Mikrodalga ile pektin ekstraksiyonu

Mikrodalga, manyetik ve elektriksel alanlardan oluşan periyodik olarak iki dik açıyla titreşen elektromanyetik dalgalar olarak ifade edilmektedir. Elektromanyetik spektrumda 300 MHz ile 300 GHz arasındaki frekansta yer aldığı belirtilmektedir ve mikrodalgalar sıklıkla enerji taşıyıcısı olarak kullanılmaktadır (Letellier ve Budzinski, 1999; Venkatesh ve Raghavan, 2004). Bu frekans aralığı mikrodalgayla ısıtılmış çözücünün kutup moleküllerinin düzensiz bir şekilde dönmesine neden olmakta ve ısı üretmektedir; ayrıca geleneksel yöntemle kıyasla sıcaklık gradyanı bulunmamaktadır (Venkatesh ve Raghavan, 2004). Mikrodalga ışınları; gama ve X-ray ışınlarına kıyasla iyonlaştırıcı olmayan ışınlar olarak bilinmektedir; dolayısıyla bileşiğin moleküler yapısında değişikliğe sebep olmamaktadır (Liew vd., 2016). Mikrodalga ısıtmada enerji transferinin iki yolla gerçekleştiği ifade edilmektedir. Dipol rotasyonu, kutup moleküllerindeki dipollerin tersine döndüğü bir mekanizma olarak belirtilirken; iyonik iletim ise çözücüde bulunan yüklü iyonların yer değiştirdiği bir mekanizma olarak belirtilmektedir (Routray ve Orsat, 2012). Bu bağlamda mikrodalga ile ekstraksiyon yönteminde bitkiler mikrodalga enerjisine maruz kalmaktadır. Mikrodalgalar dipol rotasyon ve iyonik iletim gibi mekanizmalarla bazı organik bitki bileşenleriyle ve suyla etkileşime girmektedir. Böylece bitki dokularının içinde kinetik enerji ve ısı oluşmakta, oluşan bu titreşimle hücre dokuları lizise uğramakta ve tahrip olan bitki, içeriğini serbest bırakmaktadır (MS vd., 2018; Sandarani, 2017). Parçalanmış parankim hücrelerinin özgül yüzey alanları artarken; bu sayede bitki hücrelerinin suyu emme yeteneği artmaktadır (Kratchanova vd., 2004). Ek olarak pektik maddeler ve pektinesteraz, mikrodalga kullanımı ile pektin ekstraksiyonunu arttıracak şekilde etkileşime girmektedir (Maran vd., 2013). Mikrodalga ısıtma yönteminde ısı ve kütle transferi aynı yönde gerçekleşmektedir; dolayısıyla ekstraksiyon hızı ve verimi artarak sinerjik bir etki yaratmaktadır (Vinatoru vd., 2017). Geleneksel yöntemlerle karşılaştırıldığında ekstraksiyon süresi oldukça kısalmaktadır, daha düşük enerji tüketimi ve kaliteli son ürün gibi avantajlı yönleri bulunmaktadır (Adetunji vd., 2017; Chemat vd., 2017; Marić vd., 2018). Bazı çalışmalarda diğer yöntemlere kıyasla daha yüksek oranda ekstraksiyon veriminin olduğu ifade edilmektedir (Maran vd., 2013). Literatürde mikrodalga gücü arttıkça pektin veriminin arttığı; öte yandan daha yüksek mikrodalga gücünün daha uzun süre kullanılmasıyla pektin veriminin azaldığı belirtilmektedir (Thirugnanasambandham vd., 2014). Mikrodalga gücünün artmasıyla pektinin moleküler ağırlığının azalabileceği

ve bozunmaya sebep olabileceği ifade edilmektedir. Yapılan bir çalışmada mikrodalga gücünün 510 W'ın üzerinde olması durumunda verimin azalabileceği bildirilmiştir (Maran ve Prakash, 2015). Literatürdeki yapılan çalışmalar incelendiğinde geleneksel, mikrodalga ve ultrases yöntemiyle greyfurt kabuğundan pektin ekstrakte edilen bir çalışmada mikrodalga gücü arttıkça (0,45, 0,63 ve 0,9 kW) pektin veriminin arttığı (sırasıyla %21,23, %22,71 ve %26,27) ve en yüksek verimin mikrodalga ile elde edildiği ifade edilmiştir. Ayrıca pektinlerin GalA içeriklerinin geleneksel yöntemde %69,89, mikrodalga yönteminde ise %66,27-75,91 arasında olduğu; mikrodalga gücünün ve süresinin artmasıyla yükseldiği ifade edilmiştir. Bu artış GalA analizindeki kimyasalların pektinin dokusuna daha iyi nüfus etmesiyle açıklanmıştır. ED değeri de güç ve süre arttıkça yükselmiştir (Bagherian vd., 2011).

Pektin ekstraksiyonu ile ilgili analitik çalışmalarda genellikle basınç ve sıcaklığın kontrol edilebildiği kapalı mikrodalga fırınları kullanılmaktadır (Letellier ve Budzinski, 1999). Ancak mikrodalga yönteminde sıcaklıkla ilgili veri genellikle belirtilmemektedir; dolayısıyla gücün verimi etkilediği çalışmalarda daha yüksek güç ayarlarının daha yüksek enerji girişlerine, ısıtma hızlarına veya sıcaklıklarına karşılık gelmiş olabileceği düşünülmektedir (Mao vd., 2023). Ekstraksiyon süresinin, ekstraksiyonu etkileyen en önemli faktörlerden biri olduğu; en yüksek verim için en uygun sürenin seçilmesi gerektiği belirtilmektedir (Maran vd., 2013). Ek olarak limon kabuğundan aralıklı ve sürekli mikrodalga ekstraksiyonu ile pektin elde edilen bir çalışmada hem uzun ışınlama süresi ve yüksek mikrodalga gücü hem de düşük pH değerlerinde elde edilen pektinin ED'sinin azaldığı; en yüksek verimin elde edildiği koşullarla ED arasında doğrusal bir ilişkinin olmadığı belirtilmiştir (Wani ve Patidar, 2025).

Mikrodalga ile ekstraksiyonda mikrodalga gücü, mikrodalga sisteminin seçimi, elde edilecek bitkinin parçacık boyutu ve nem içeriği gibi özellikler pektin ekstraksiyonunu etkilemektedir (Adetunji vd., 2017). Ayrıca çözücünün seçimi ve dielektrik özellikleri de önem arz etmektedir; bu bağlamda sıklıkla asidik suyun kullanıldığı ifade edilmektedir. Suyun gıdalarda mikrodalga enerjisinin ana alıcısı olduğu belirtilmekte; dolayısıyla gıda materyalinin nem içeriği ne kadar fazlaysa mikrodalga ısisına tepki verme hızının da o kadar hızlı olacağı ifade edilmektedir (Venkatesh ve Raghavan, 2004). Ek olarak geleneksel ekstraksiyon yöntemine göre mikrodalga destekli ekstraksiyonla elde edilen pektinin kantitatif ve kalitatif özellikleri iyileşebilmektedir; ancak kullanılan çözücü, geleneksel yöntemle kıyasla azalmış olsa da yine de ekipman korozyonuna sebep olabilmektedir (Bagherian vd., 2011; Fishman vd., 1999). Yine de bu

yöntem ekstraksiyon anında daha az oranda çözücü kullanımı gibi sebeplerle çevreci bir yöntem olarak adlandırılmaktadır (Chen, 2013). Yöntemin dezavantajları arasında ise seçiciliğin düşük oluşu, yüksek sıcaklıklarda istenmeyen reaksiyonların meydana gelmesi ve özel ekipmana ihtiyaç duyulması gibi faktörler sayılabilmektedir (Ajila vd., 2011). Tablo 2.7’de çarkıfelek meyvesinden mikrodalga yöntemiyle elde edilen pektinlerin detayları incelenmiştir.

Tablo 2.7 Çarkıfelek meyvesi kullanılarak mikrodalga ile pektin ekstraksiyonu

Pektin Kaynağı	Değişkenler	Verim (%)	ED (%)	GalA (%)	Kaynaklar
Sarı Çarkıfelek Meyvesi (<i>Passiflora edulis f. flavicarpa</i>)	1:25 katı sıvı oranı, pH 2,0, 628 W, 9 dakika, nitrik asit	13	65,15	82,30	Seixas vd., 2014
	1:25 katı sıvı oranı, pH 2,0, 628 W, 9 dakika, asetik asit	12,9	64,56	62,50	
	1:25 katı sıvı oranı, pH 2,0, 628 W, 9 dakika, tartarik asit	18,2	50	58,5	
Mor Çarkıfelek Meyvesi (<i>Passiflora edulis</i>)	Sitrik asit, 218 W, 12 dakika, pH 2,9, katı sıvı oranı 1:57	18,73	53,27	71,39	Dao vd., 2021
Mor Çarkıfelek Meyvesi (<i>Passiflora edulis Sims</i>)	Katı sıvı oranı 1:35, 7 dakika, 376 W, 180 mM NaOH	14,2	87,40	-	Quoc ve Pham, 2022
Sarı Çarkıfelek Meyvesi (<i>Passiflora edulis f. flavicarpa L.</i>)	1:30, 9 dakika, 600 W, pH 5,4, amonyum sülfat	16,93	73,09	55,12	Zhao vd., 2023
Mor Çarkıfelek Meyvesi (<i>Passiflora edulis</i>)	Nitrik asit	9,04	80,94	83,37	Manjula vd., 2024
Turuncu Çarkıfelek Meyvesi (<i>Passiflora ligularis</i>)		3,14	81,25	56,32	
Sarı Çarkıfelek Meyvesi (<i>Passiflora edulis Sims f. flavicarpa</i>)	pH 2,0, tartarik asit, 3 dakika	37,67	-	-	Dos Reis vd., 2018
Mor Çarkıfelek Meyvesi (<i>Passiflora edulis Sims f. edulis</i>)		32,85	-	-	
Turuncu Çarkıfelek Meyvesi (<i>Passiflora caerulea</i>)		21,55	-	-	

2.7.3. Ultrases ile pektin ekstraksiyonu

Ses dalgaları sıvı, katı ve gazdaki mekanik titreşimler olarak bilinmektedir. 20 kHz frekansın üzerindeki ses dalgaları, ultrases olarak ifade edilmektedir. Ultrasesin ise insanların duyabildiği aralıktan (1-16 kHz) daha yüksek bir frekansa sahip olduğu belirtilmektedir. Ultrases dalgaları yayılabilmeleri açısından bir ortama ihtiyaç

duymaktadır; ayrıca molekülleri birbirinden ayıran genişleme ve molekülleri birbirine iten sıkıştırma döngülerini içermektedir. Bu yönüyle ultrases dalgaları elektromanyetik dalgalardan farklı olarak belirtilmektedir. Bir sıvıda genleşme döngüsü negatif bir basınç üretmektedir ve eğer negatif basınç, sıvının çekme mukavemetini aşarsa genleşme döngüsü sıvıda boşluk veya kabarcıklar oluşturmaktadır. Buhar kabarcıklarının oluştuğu, büyüdüğü ve içe doğru çöktüğü bu süreç "kavitasyon" olarak adlandırılmakta ve ultrases ile pektin ekstraksiyonun temelini oluşturmaktadır. Tüm sürecin yaklaşık olarak 400 µs içinde gerçekleştiği belirtilmektedir. Kaviteasyon, öncelikli olarak çatlak gibi var olan zayıf noktalarda meydana gelmektedir (Dranca ve Oroian, 2019; Luque-Garcia ve De Castro, 2003). Bu bağlamda ultrases ile ekstraksiyon yönteminde yüksek frekansa sahip ultrases dalgaları, ortama yayılınca basınç değişiklikleri meydana gelmekte, bu basınç değişiklikleriyle kaviteasyon kabarcıkları oluşmakta, bu sayede de hücresel yapılar bozulmakta ve parçalanmaktadır. Hücreye daha hızlı ve güçlü bir şekilde çözücü girişi olmaktadır. Kütle transferinin yoğunlaşması sağlanmakta ve böylece pektin ekstraksiyonu kolaylaşmaktadır (Adetunji vd., 2017; Dalal vd., 2020; Gavahian vd., 2021; Kumar K., vd., 2021; Marić vd., 2018; Misra vd., 2018; Polanco-Lugo vd., 2019; Tiwari, 2015). Bu yöntemde hem ısının hem de ultrasesin varlığı pektinin bozunmasını, çıkarılabilirliğini ve çözünmesini kolaylaştırmaktadır (Putnik vd., 2017).

Bu yöntem prob üniteleri ve su banyosu olmak üzere iki şekilde yapılabilmektedir. Su banyosu genellikle daha sık kullanılıyor olsa da ultrases enerjisindeki dağılımda oluşan homojenliğin eksikliği, zamanla gücün azalması ve enerji israfının meydana gelmesi gibi negatif yönleri bulunmaktadır. Prop sistemleri ise enerjiyi belirli bir örnek bölgesine odaklamasıyla ve daha verimli bir sıvı kaviteasyonu sağlamasıyla daha iyi bir çalışma prensibi sergilemektedir (Luque-Garcia ve De Castro, 2003; Vinatoru vd., 2001). Literatürdeki pektin ekstraksiyonu çalışmalarında, prob ünitelerinin laboratuvar ölçeğinde daha sık kullanıldığı belirtilmektedir (Adimas ve Abera., 2023).

Ultrases yönteminin verimli bir şekilde uygulanabilmesi için bitkinin parçacık boyutu ve nem içeriği, çözücü türü, ultrases süresi, frekansı, basıncı ve sıcaklığı gibi parametrelere dikkat etmek gerekmektedir. Ekstraksiyonda katı sıvı oranı da önem taşır; katı sıvı oranı düşük olduğunda ortamın viskozitesi düşmekte, kaviteasyon yoğunluğu artmakta ve verim artmaktadır. Oranın ve katı parçacıklarının artmasıyla ortamın viskozitesinin artacağı dolayısıyla kaviteasyon yoğunluğunun azalacağı ve verimin düşeceği ifade edilmektedir (Moorthy vd., 2015; Wang ve Weller, 2006). Ayrıca sıcaklık artışı başlangıçta verimi artırır; ancak belli bir yerden sonra kaviteasyonun azalmasına

sebepler olarak verimi azaltmaktadır (Kumar K, vd., 2021). Literatürdeki birçok çalışma ultrases yönteminde sürenin önemini vurgularken; belirli bir süreden sonra verim gibi değerlerin düşebileceği belirtilmektedir. Yapılan bir çalışmada 10-60 dakikalık ultrases uygulama sürelerinin pektin verimine olan etkisi incelenmiş ve optimum sürenin 30 dakika olduğu ifade edilmiştir (Panchev vd., 1988). Geleneksel yöntemle kıyasla ultrases ile ekstraksiyon yönteminde; düşük enerji tüketimi, daha az çözücü kullanımı, verimin artması, daha kısa uygulama süresi, ekipmanların daha küçük olması, süreç kontrolünde daha hızlı tepki, daha hızlı enerji ve kütle transferi, azalmış termal gradyanlar ve düşük ekstraksiyon sıcaklıkları gibi avantajlı yönler bulunmaktadır (Azmir vd., 2013; Chemat vd., 2008; Chemat vd., 2017; Marić vd., 2018). Bu yöntemde geleneksel yöntemle kıyasla elde edilen pektinin antioksidan özellikleri daha az etkilenmektedir (Nguyen ve Pirak, 2019). Fakat bazı çalışmalarda dağılmış fazın daha yüksek olan konsantrasyonunun ultrases dalgasını zayıflattığı; bu nedenle aslında çözücü kullanımının çok da azalmadığı ifade edilmektedir. Yapılan çalışmalarda pektin veriminin bitkiye ve biyokütleyle bağlı olduğu, ultrases vericisinden uzaklaştıkça ultrases yoğunluğunun azaldığı belirtilmektedir (Wang ve Weller, 2006). Dolayısıyla numune içeren kabın ekstraksiyon ortamındaki konumu da pektin verimini etkilemektedir (Carreira-Casais vd., 2021).

Günümüzde ultrases destekli pektin ekstraksiyonu sıklıkla tercih edilmektedir. Literatürdeki çalışmalarda greyfurt kabuğundan geleneksel, mikrodalga ve ultrases yöntemiyle pektin ekstrakte edilmiştir. Su banyosu sistemli aralıklı ultrases uygulamasında, sürekli ultrases uygulamasına kıyasla daha yüksek oranda verim elde edilmiştir. Süre ve sıcaklığın önemli parametreler olduğu ifade edilirken; 25. dakikaya kadar pektin veriminin arttığı ve maksimuma ulaştığı ancak daha sonra sürenin artmasıyla elde edilen pektinin termal bozunmasından kaynaklı verimin azaldığı ifade edilmiştir. Ayrıca ultrases ile elde edilen pektinlerin GalA içeriklerinin %66,12-68,45 arasında değiştiği; değerlerin ultrases uygulama süresinin artmasıyla arttığı bildirilmiştir. Pektin eldesinde optimal koşulların 70 °C, 25 dakika olduğu ve %17,92 oranında verimin elde edildiği belirtilmiştir (Bagherian vd., 2011). Nar kabuğundan pektin ekstrakte edilen bir çalışmada pH düştükçe verimin arttığı ifade edilirken; 30. dakikaya kadar verimin arttığı ve daha sonra sürenin artmasıyla verimin azaldığı ifade edilmiştir. Kaviteasyon etkisinin ekstraksiyonun erken döneminde hızlanmış olduğu ve süre ilerledikçe ultrasese maruz kalmanın pektinin yapısal yıkımına sebep olabileceği belirtilmiştir (Moorthy vd., 2015). Ultrases yöntemiyle çarkıfelek meyvelerinden elde edilen pektinlere ilişkin çalışmalar Tablo 2.8’de görülmektedir.

Tablo 2.8 Çarkıfelek meyvesi kullanılarak ultrases ile pektin ekstraksiyonu

Pektin Kaynağı	Değişkenler	Verim (%)	ED (%)	GaA (%)	Kaynaklar
Sarı Çarkıfelek Meyvesi (<i>Passiflora edulis</i> Sims f. <i>flavicarpa</i>)	10 dakika, katı sıvı oranı 1:30, 644 W güç yoğunluğu, pH 2,0, nitrik asit, 85 °C, 20 kHz ultrases frekansı	12,67	60,36	66,65	de Oliveira vd., 2016a
Mor Çarkıfelek Meyvesi	pH 2,0, katı sıvı oranı 1:30, nitrik asit, 480 W, 65 °C, 15 dakika	6,52	83,40	82,90	Liang vd., 2022
Sarı Çarkıfelek Meyvesi (<i>Passiflora edulis</i> f. <i>flavicarpa</i> L.)	Katı sıvı oranı 1:30, amonyum sülfat, pH 5,4, 20 kHz, 400 W, 25 °C, 30 dakika, darbeleri ultrases (çalışma modeli: 2 saniye açık, 2 saniye kapalı)	12,23	41,88	34,61	Zhao vd., 2023
Sarı Çarkıfelek Meyvesi (<i>Passiflora edulis</i> f. <i>flavicarpa</i> L.)	0,15-0,85 M sitrik asit, 18-105 dakika, pH 1,5-2,2, 27 °C	12,91-54,69	18-30	-	dos Santos vd., 2017
Sarı Çarkıfelek Meyvesi	1:20 katı sıvı oranı, 135 W, 40 kHz, sitrik asit, 10 dakika	-	70,2	-	de Souza vd., 2018
Çarkıfelek Meyvesi	pH 2,0, 70 dakika, 210 W, 45 °C	14,78	-	-	Wang, J., vd., 2022
Mor Markıfelek Meyvesi (<i>Passiflora edulis</i> Sims f. <i>edulis</i>)	35 °C, 240 W ultrases gücü, 1:65 katı sıvı oranı, %0,6 amonyum oksalat, 30 dakika, pH 2,0	10,05	-	51,83	Guo vd., 2020
Sarı Çarkıfelek Meyvesi (<i>Passiflora edulis</i> f. <i>flavicarpa</i> L.)	1:30 katı sıvı oranı, pH 2,0, nitrik asit, 60 °C, 660 W, 20 kHz, darbeleri ultrases (çalışma modeli: 1,5 saniye açık, 2,5 saniye kapalı)	13,38	78,61	65,38	Wickramasinghe vd., 2022
Mor Çarkıfelek Meyvesi (<i>Passiflora edulis</i> f. <i>edulis</i>)		13,80	82,99	61,95	
Mor Çarkıfelek Meyvesi (<i>Passiflora edulis</i> f. <i>edulis</i>)	Nitrik asit	6,44	76,92	68,64	Manjula vd., 2024
Turuncu Çarkıfelek Meyvesi (<i>Passiflora ligularis</i>)		3,95	71,42	24,64	

2.8. Pektinin Kullanım Alanları

Değişik bitkilerden elde edilen pektinler yapısal farklılıkları ve çeşitlilikleri sayesinde pek çok uygulamada kullanılabilir (Minzanova vd., 2018). Pektinin birçok aktif fonksiyonel polisakkarit grubundan oluştuğu ve diğer biyopolimerlere kıyasla yüksek modifikasyon özelliklerine sahip olduğu bilinmektedir. Pektin, suyu tutabilen veya emebilen bir yapıdadır ve şişme özellikleri gösteren hidrofilik doğal bir

polimer olarak göze çarpmaktadır. Pektin jelleşme özelliği sayesinde aerogeller, oleogeller veya hidrojel elde etmek için kullanılmaktadır. Hidrojel oluşturma özelliği sayesinde viskoz ve sulu gıdalarda sıklıkla kullanılmaktadır (Douglas vd., 2018; Sultana, 2023). Pektin hidrojelleri biyoyumluluk, kararlı fizikokimyasal özellikler ve biyolojik olarak parçalanabilirlik gibi özellikler sergilemektedir (Amirian vd., 2021; Mishra vd., 2011). Pektinin çevre dostu özellikleri ele alındığında negatif çevresel etkiyi en aza indiren, tüketicilerin sağlıklı ve daha temiz gıda talebini karşılayan bir içerik olduğu göze çarpmaktadır (Said vd., 2023). Bu bağlamda pektin ulaşılabilirliği ve özellikleri sayesinde; biyomedikal, gıda, sağlık hizmetleri, doku mühendisliği, yara iyileşmesi, ilaç endüstrisi gibi alanlarda sıklıkla kullanılmaktadır. Ayrıca pektin, kompozit ve hidrojel malzemelerle çapraz bağlanabilmekte; matris yapısı farklı olan biyoaktif bileşiklerle birleştirilebilmektedir (Mishra vd., 2011; Sultana, 2023; Sutar vd., 2008).

2.8.1. Gıda endüstrisinde pektin kullanımı

Pektin gıda endüstrisinde sıklıkla, emülgatör, koyulaştırıcı, jel oluşturunu ve dengeleyici amacıyla kullanılmaktadır (Celus vd., 2018; Espitia vd., 2014; Guo vd., 2018; Sun vd., 2020). Çoğunlukla meyve sularında, süt ürünlerinde, tatlılarda, jölelerde ve reçellerde tercih edilmektedir (Jindal vd., 2013; Masuelli, 2011). Dengeleyici madde olarak kullanımı ise koloidal dispersiyonlarda göze çarpmakta ve asitlendirilmiş süt içecekleri, yüksek protein içeriğine sahip meyve içecekleri ve antioksidanlarla güçlendirilmiş gıdalarda kullanılmaktadır (Naqash vd., 2017; Zhang vd., 2015). Pektin ED ile bağlantılı olarak metal iyonlarını şelatlayabilmektedir ve antioksidan özelliğiyle bilinmektedir. Bu sebeple antioksidan olarak gıdalara eklenebilmekte ve pektin sentetik katkı maddelerinin azaltılmasını sağlayarak temiz etiketli ürünlerin elde edilmesini sağlamaktadır (Celus vd., 2018; Sun vd., 2020).

Pektinin emülsifiye edici madde olarak kullanımını; protein kısmı, ED gibi moleküler özellikleri, pektin konsantrasyonu gibi çevresel ve kimyasal özellikleri etkilemektedir. Bu bağlamda pektin, yağ ve suyun arayüzündeki gerilimi azaltmaktadır; protein, yağ, su arayüzü bağları sebebiyle emülsiyon kararlılığında iyileşmeler sağlamaktadır (Freitas vd., 2021). Ayrıca pektin, hidrojel parçacıklarının ve yağ parçacıklarının dokusunu, duyuusal ve fiziksel özelliklerini etkili bir şekilde taklit edebilmektedir. Pektin damlacıklarının agregasyona karşı koruyucu ve daha kalın bir tabaka oluşturduğu bilinmektedir; dolayısıyla DMP'ler kalsiyum jelasyonu ile mayonez gibi ürünlerde, düşük tuz ve yağ içeriğine sahip ürünlerde gıdaların besin kalitesini ve

duyusal özelliklerini arttırmak adına yağ ikamesi olarak kullanılabilmektedir (Du vd., 2022; Freitas vd., 2021). Çarkıfelek meyvesi kabuğu ile yapılan bir çalışmada pektin ekstrakte edilmiş ve farklı yağ içeriklerine sahip emülsiyondan emüljel elde edilme süreci incelenmiştir. Elde edilen pektin, yağ ve su arasında bulunan arayüz gerilimini önemli ölçüde düşürmüş ve iyi bir emülsifiye etme özelliği göstermiştir. Ayrıca çalışmada çarkıfelek meyvesi kabuğu pektin emüljelinin ticari kullanım açısından sürdürülebilir bir yağ ikamesi olarak kullanım potansiyeli vurgulanmıştır (Kavya vd., 2023).

Pektin kullanılarak gıdaların raf ömrünü uzatmak adına yenilebilir kaplamalar ve ambalaj malzemeleri üretilebilmektedir. Pektinin film ve jel oluşturma özelliği, biyolojik olarak parçalanabilirliği bu kullanımı açıklamaktadır (Espitia vd., 2014; Sakoei-Vayghan vd., 2020). Petrol kaynaklarından elde edilen malzemelere dayalı yenilebilir kaplama üretimine karşın, pektin kullanımı özellikle sürdürülebilirlik yönünden yeşil ambalaj özelliğiyle göze çarpmaktadır (Anastas ve Eghbali, 2010; Gaona-Sánchez vd., 2021). Ancak literatür incelendiğinde yenilebilir kaplamalarla ilgili yapılan çalışmaların sıklıkla meyvelerle olduğu ve et ürünlerindeki çalışmaların sınırlı olduğu dikkat çekmektedir (Martău vd., 2019). Bitki özleri ve uçucu yağlar ile pektin, filmlerin su bariyeri özelliğini arttırmakta ve antimikrobiyal aktivite göstermektedir. Yapılan bir çalışmada fesleğen ve sarımsak uçucu yağlarıyla kitosan-pektin hidrojelleri kapsüllenmiş ve kapsüllerin çeşitli patojenlerle savaştığı gözlenmiştir (Torpol vd., 2019). Bir başka çalışmada ise taze yumurtaların dışındaki *Salmonella enteritidis* spp. tarafından oluşan çapraz kontaminasyonu ortadan kaldırmak amacıyla pektin-aljinat içeren karışım bir kaplama hazırlanmış ve sonucunda pektin-aljinatlı karışımla kaplanmış yumurta kabuklarında kaplanmamış yumurta kabuklarına kıyasla daha düşük oranda mikrobiyal popülasyon tespit edilmiştir (De Leo vd., 2018). Yapılan bir çalışmada sıcaklığa duyarlı gıdaların depolanması için pektin bazlı aerojeller geliştirilmektedir. Dolayısıyla pektinin antimikrobiyal, termal ve mekanik özellikleri vurgulanmaktadır (Nešić vd., 2018).

Pektin süt ürünlerine eklenmekte ve sinerezisi önlemek adına asitlendirilmiş sütte kazeinin stabilitesini korumaktadır (Nasseri vd., 2008). YMP'lerin asidik süt içeceklerine eklenmesi çökelti oluşumunu engelleyebilmektedir. Yetersiz pektin ilavesi süt içeceklerini kararsız hale getirirken; fazla miktardaki pektin ilavesi ise viskozitede keskin bir düşüşe sebep olmaktadır (Guo vd., 2021; Jensen vd., 2010). Pektinin anyonik grupları, yoğurt gibi süt ürünlerindeki pozitif yüklü kazein ile etkileşime girmekte ve kararlı bir protein-pektin yapısını oluşturmaktadır. Pektinin karboksil grupları aracılığıyla kazein agregatlarının yüzeyine adsorbe olması sonucu oluşan sterik stabilizasyon, bu

elektrostatik kompleksleşmeye neden olabilmektedir. Oluşan bu yapı ise peynir altı suyu ayrılmasını en aza indirmekte ve faydalı bakterilerin büyümesini teşvik etmektedir. DMP gibi hidrokolloidler, düşük pH'ta peynir altı suyu ve kazein miselleriyle çapraz bağlayıcı madde olarak hareket ederek yapılandırılmış protein ağı oluşturmaktadır (Khubber vd., 2021). Pektinin yüksek su tutma kapasitesi, set yoğurttaki proteinlerin jel gücünü arttırabilmektedir (Xu vd., 2019).

Normalde katı yoğurt, protein ve yağ küreciklerinin çapraz bağlanmasıyla oluşan ipeksi dokusuyla bilinmektedir; süt ürünlerindeki yağ miktarı ise gıdanın dokusunu ve reolojisini belirlemektedir (Khubber vd., 2021; Mary vd., 2022). Günümüzde artan yüksek kolesterol ve kalp damar rahatsızlıkları gibi hastalıklardan dolayı düşük yağlı süt ürünlerine ilgi artmaktadır; ancak yağ, süttten çıkarıldığında düşük protein polimer bağlanmasından dolayı kararsız bir yapı sorunu ortaya çıkmaktadır (Yang vd., 2025). Yapılan bir çalışmada düşük yağlı yoğurda DMP eklendiğinde kazein ile çapraz bağlanmanın arttığı, boşlukların dolduğu ve sinerezisin azaldığı ifade edilmiştir (Khubber vd., 2021). Benzer sonuçlar düşük yağlı peynire pektin jelinin ilave edilmesiyle de elde edilmiştir (Liu vd., 2008). Pektin, süt bazı gibi gıda ürünlerine eklenerek yoğurdun dokusunu, görünümünü, ağızda bıraktığı hissi, kıvamını ve viskozitesini iyileştirebilmektedir (Bankole vd., 2023). Bu bağlamda DMP'lerin hidrokolloidal özellikleri, gıda ürünlerinin dokusal ve viskometrik özelliklerini değiştirebilmekte; gıdanın duyuşsal özelliklerini ve depolamadaki raf ömrünü etkileyebilmektedir (Ngouémazong vd., 2015). Sarı çarkıfelek meyvesi kabuğundan (*Passiflora edulis* f. *flavicarpa*) farklı yöntemler kullanılarak DMP'ler elde edilmiştir. Sonucunda dielektrik bariyer deşarj plazması destekli enzim yöntemiyle hazırlanan DMP, yağsız yoğurdun kalitesini arttırmış ve iyi bir yağ ikamesi rolü üstlenmiştir (Yang vd., 2025).

2.8.2. Diğer alanlarda pektin kullanımı

Literatürdeki çalışmalar pektini, umut vadeden sağlık etkilerine sahip bir polisakkarit olarak belirtmektedir. Gen dağıtımı, doku mühendisliği, yara iyileştirici, yapay kornea ve kontakt lenslerin geliştirilmesinde kullanılan zarların üretimi, kolesterol düşürücü, bağışıklık geliştirici, kemik doku taşıyıcısı, antikanser aktivitesi gibi pek çok alanda pektin kullanılmaktadır (Cuijpers vd., 2011; Kumar vd., 2013; López-Mata vd., 2018; Martău vd., 2019; Munarin vd., 2011; Naqash vd., 2017; O'brien, 2011; Ullah vd., 2019). Pektinin sağlıkla ilgili olumlu etkileri bileşiminden ve yapısal alanlarından kaynaklanmaktadır (Naqash vd., 2017). İmmünomodülatör olarak pektinin kullanımının

amacı bağıışıklık tepkisini düzenlemek ve verimliliğini arttırmaktır; bu bağlamda yapılan çalışmalar pektinin antiinflamatuvar sitokinleri uyardığını ve inflamatuvar tepkimeyi azaltabileceğini göstermektedir (Salman vd., 2008). Pektin jeli mideye ulaştığında sindirim öncesi şişerek tokluk hissini arttırmakta ve dolaylı olarak obezite tedavisine fayda sağlamaktadır (Martău vd., 2019). Pektinin dahil olduğu çözünür lif grubu, safra asitlerinin atılımını arttırmakta ve kolesterolün düşmesini sağlayarak kardiyovasküler hastalıkların riskini azaltabilmektedir (Naqash vd., 2017; Wicker vd., 2014).

Doku mühendisliğı, biyomalzemeler aracılığıyla hasarlı dokunun yenilenmesi olarak ifade edilmektedir (Cuijpers vd., 2011). Pektin biyopolimer iskeleler oluşturabilmekte ve bir matris malzemesi olarak işlev görmektedir (Kedir vd., 2022; Kumar vd., 2013). Bu bağlamda pektin; düşük toksisite seviyesi, biyoyumluluk, biyolojik olarak parçalanabilirlik, polimerin kontrollü ilaç salınımını destekleme yeteneğı ve antibakteriyel özelliğı ile dikkat çekmektedir (Rambhia vd., 2015). Literatürdeki çalışmalarda kitosanla oluşturulan pektin, deri ve kemik gibi hasarlı dokuları yenilemek için bir iskelet olarak doku mühendisliğinde araştırılmaktadır (de Souza vd., 2019). Yapılan bir çalışmada biyomalzeme olarak kullanılmak üzere pektin ve aloe jelinden membran üretimi yapılmıştır ve üretilen membranların insan sağlığıyla ilişkili pratik uygulamalarda kullanılabilecek biyomalzeme olarak yüksek bir potansiyele sahip olduğu belirtilmiştir (López-Mata vd., 2018). Bir başka çalışmada yaraları tedavi etmek amacıyla aloe vera ve kurkumin eklenen, pektin ve jelatinden oluşan yara pansumanları geliştirilmiştir; aloe vera eklenen pektin ve jelatin matrisleriyle tedavi edilen yaraların çok hızlı iyileştiğı ifade edilmiştir (Tummalapalli vd., 2016).

Polisakkaritler, enzimatik ve kimyasal pek çok reaksiyona girebilmektedir; bu yönleriyle de ilaç sistemlerinde yaygın olarak kullanılmaktadır (Tian vd., 2020). Bu doğrultuda pektin; fonksiyonel gruplarını kolayca değıştirme olanağıyla, jelleşme mekanizmasıyla, bazik ortamlarda kolay çözünmesiyle, mukusa yapışmasıyla, asidik ortamlarda jel oluşturma yeteneğıyle ve toksik olmamasıyla öne çıkmaktadır (Martău vd., 2019; Munarin vd., 2012; Zhang vd., 2015). Mukozaya yapışma özelliğı ile mide ve burun ortamlarında ilaç hedeflemeye yardımcı olmakta, çözünme yeteneğıyle kolondaki ilaçların salınmasını sağlamakta ve jel oluşturmalarıyla da mide şartlarında ilacın temas süresini uzatmaktadır. Literatür incelendiğinde hızlı ilaç salınımı gerektiren ağrı kesici fentanilin formülasyonuna pektin eklenmesi, kanser ağrısının hızlı bir şekilde giderilmesine yardımcı olabilmektedir. Ayrıca nikotin içeren burun pektini, sigarayı bıraktırmak için bir seçenek olabilmektedir (Klemetsrud vd., 2013). Biyokonjugatlar

sayesinde; çözünürlük, kararlılık, uyarılmış salınım, mekanik direnç, daha fazla biyoparçalanabilirlik ve biyoyumluluk elde edilmektedir. Pektin ve kitosan konjugatı kullanılarak ilaç taşıma sistemleriyle ilgili yapılan bir çalışmada doğal öncüle kıyasla hazırlanan konjugat daha fazla termal kararlılık sergilemiştir (Tian vd., 2020).

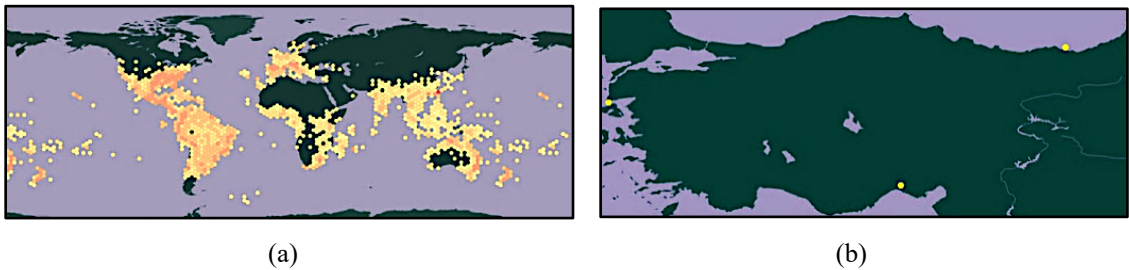
Pektinin amilazlara ve proteazlara karşı olan direnci bilinmektedir; dolayısıyla nano veya mikrokapsüllerde kapsüllenen ilaçların biyoyumlu taşıyıcıları olarak kullanılmaktadır (Martău vd., 2019). Proteinlerin çoğunun sindirim enzimleri tarafından hızla parçalandığı bilinmektedir ve bu nedenle pektin gibi biyopolimerler ağızdan alınan ilaçların gastrointestinal sistemde parçalanmasını önlemek adına tercih edilmektedir (Klemetsrud vd., 2013; Wicker vd., 2014). Literatürde bu uygulama için DMP'nin daha sık kullanıldığı ifade edilmektedir (Wicker vd., 2014). Pektin diğer ürünlerle birleştirildiğinde antioksidan aktivite, kararlılık ve çözünürlük gibi pek çok özellik açısından iyileşmektedir (Bai vd., 2017; Qi vd., 2017). İlaç dağıtımında suda çözünürlüğü azaltmak, erken salınımı önlemek, jel direncini arttırmak ve aşınma kapasitesini düşürmek amacıyla yapılan son çalışmalarda pektinin kitosan, kurkumin, sistein gibi diğer doğal polimerler ile kombinasyonu gündeme gelmektedir (Bai vd., 2017; Hwang ve Shin, 2018; Majzoob vd., 2006; Tian vd., 2020; Wicker vd., 2014). Antikanser özelliği ile bilinen kurkumin, bağırsak ve karaciğerde metabolik değişikliklere uğrayabilmekte bu sebeple de kansere yönelik sistemik faydasını tam olarak gösterememektedir (Sabra vd., 2018). Kurkumin gibi polimerlerin biyoyararlanımını arttırmak için nanoemülsiyonlar, konjugatlar ve nanopartiküller gibi ilaç iletim sistemleri denenmektedir (Cheewatanakornkool vd., 2017; Yan vd., 2017). Bu bağlamda pektin nanotaşıyıcılar arasında yer almaktadır; kurkuminin gastrointestinal epitelden etkili bir biçimde geçmesini sağlamasıyla pektin umut vadetmektedir (Sabra vd., 2018). Pektin nanopartikülleri oluşturulabilmektedir; pektine üç farklı amin grubu eklenerek modifiye edilebildiği ve plazmit DNA'sına bağlanabildiği ifade edilmektedir. Dolayısıyla modifiye edilmiş pektin bir gen taşıyıcısı olabilmektedir (Rakitkul vd., 2016).

Pektinlerin maliyet fayda çıktıları, biyoyumlulukları göz önüne alındığında bazı çalışmalarda adsorban olarak kullanılmaktadır. Tekstil endüstrisinde kullanımıyla ilgili yapılan bir çalışmada, su geri dönüşümüne dayalı metilen mavisi boyası için emici olarak kullanılmak amacıyla hibrit pektin ve nişasta nanopartikülleri geliştirilmiştir. Çalışmada pektinin maliyet, fayda ve çevre uyumluluğunun olduğu; nanopartiküllerin geri kazanım kolaylığı ve ikincil kirleticilerin olmaması gibi faydaları olduğu belirtilmiştir (Nsom vd., 2019). Ayrıca pektin korozyon inhibitörü olarak toksik kalıntıları gidermek için

kullanılmaktadır. Kimyasal inhibitörlerin kullanımına kıyasla, pektin kullanımı dairesel ekonomiye katkı sağlayabilmektedir. Bir çalışmada domates kabuğundan üretilen pektin, kalay korozyon inhibitörü olarak kullanılmış ve pektinin %53-73 arasında değişen düşük konsantrasyonlarında bile etkili bir inhibitör olduğu belirtilmiştir (Grassino vd., 2016b).

2.9. Çarkıfelek Meyvesinin Özellikleri

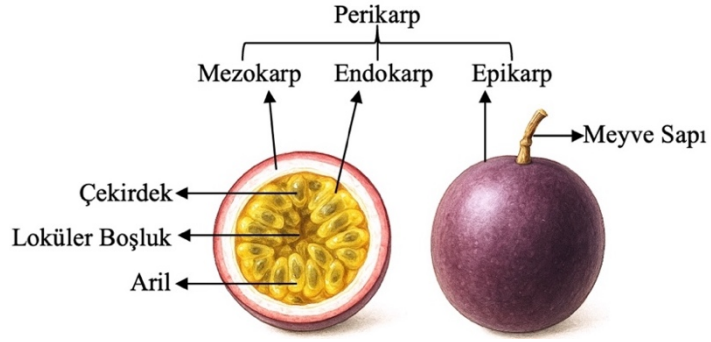
Çarkıfelek meyvesi, tropikal ve subtropikal bir sarmaşık olup yenilebilir meyveler üretmektedir ve *Passifloraceae* familyasına ait olarak belirtilmektedir (Anderson vd., 2022; Deshmukh vd., 2017). Çarkıfelek meyvesi cinsinde (*Passiflora*) 600'den fazla tür bulunmaktadır. Başlıca bu türler; sarı çarkıfelek meyvesi (*Passiflora edulis* f. *flavicarpa*), mor çarkıfelek meyvesi (*Passiflora edulis* f. *edulis*), granadilla (*Passiflora quadrangularis* L.) ve tatlı granadilla (*Passiflora ligularis*) olarak ifade edilmektedir (Duarte vd., 2021). Çarkıfelek meyvesi, meyve ve çiçek üretimi, kozmetik ve farmakolojik uygulama gibi pek çok kullanım için yetiştirilmektedir. Brezilya'nın toplam üretimin yaklaşık %70'ini oluşturan çarkıfelek meyvesinin baskın küresel üreticisi olduğu belirtilmektedir. 2023 yılında Brezilya'da 711,278 ton çarkıfelek meyvesinin üretildiği ifade edilirken; Kolombiya'da aynı yıl 212,846 ton çarkıfelek meyvesinin üretildiği ifade edilmektedir (Polo-Murcia vd., 2025). Ancak tüketim artışından dolayı Brezilya'nın iç tedarik talebini karşılamakta zorlandığı belirtilmektedir. Uluslararası tedarikçiler incelediğinde en büyük ihracatçının Ekvator olduğu; sonrasında Avustralya ve Yeni Zelanda'nın geldiği ifade edilmektedir. Küresel açıdan çarkıfelek meyvesi üretiminin 2017 yılında ortalama 1,5 milyon tona kadar ulaştığı belirtilmektedir (Altendorf, 2018). Şekil 2.10'da görüldüğü gibi Küresel Biyoçeşitlilik Bilgi Tesisi (GBIF-Global Biodiversity Information Facility) verileri incelendiğinde *Passiflora* L. başlığı altında dünya üzerinde 188,535; Türkiye'de ise 2 ilde coğrafi referanslı kayıt görülmektedir (*Passiflora* L. in GBIF Secretariat, 2023). Öte yandan Antalya'da (Alanya, Gazipaşa, Manavgat) ve Antakya'da yetiştirildiği bilinmektedir (Mavi ve Uzunoğlu, 2020).



Şekil 2.10 1599-2025 yılları arasında Küresel Biyoçeşitlilik Bilgi Tesisi verilerine göre *Passiflora* L. yetiştirilen bölgeler a) Dünya b) Türkiye (*Passiflora* L. in GBIF Secretariat, 2023).

Çarkıfelek meyvesi serin, don olmayan bir iklimi tercih etmektedir; dikimi 3-4 metre araylıdır ve ilk hasat ertesi yıl elde edilmektedir. 5-6 yıl boyunca büyümeye ve meyve vermeye devam eden bitkinin verimi sonra azalmaya başlamaktadır. Ortadan ikiye kesilen meyve, kaşıkla posası kabuğundan çıkartılarak doğrudan yenmektedir. Tatlı, dondurma, meyve suyu, yoğurt, jöle, reçel ve likör gibi gıda ürünlerine eklenebilmektedir (Fonseca vd., 2022). Çarkıfelek meyvesinin kabukları hayvan yeminde, şarap ve çay üretiminde; pektin ve tıbbi içerik kaynağı olarak kullanılabilir (He vd., 2020). Soğuk preslenmiş tohumlar yemek pişirmede ya da boya, vernik endüstrisinde hammadde olarak değerlendirilmektedir. Bu bağlamda çarkıfelek meyvesinin posası, yaprakları, tohumları, kabukları ve atıkları kozmetik, gıda, ilaç gibi farklı endüstrilerde kullanılmaktadır (Weyya vd., 2024). Meyve, içeriğindeki bileşikler sayesinde pek çok sağlık yararı sağlamaktadır (Chakraborty vd., 2017; Ripa vd., 2009; Sudasinghe ve Peiris, 2018). Dolayısıyla günümüzde zengin besin profili ve kullanım yelpazesinin genişliğiyle çarkıfelek meyvesi küresel bir popülerlik kazanmaktadır (Duarte vd., 2021; Viera vd., 2022). Literatürde çarkıfelek meyvesiyle ilişkili en sık aratılan anahtar kelimelerin antioksidan aktivite, flavonoid veya antosiyanin gibi fenolik bileşikler, biyolojik aktivite, ekstraksiyon, pektin, kabuk unu olduğu görülmektedir.

Mor çarkıfelek meyvesinin (*Passiflora edulis* f. *edulis*) morfolojik açıdan genellikle oval, yaklaşık 4-10 cm çapında ve ortalama 35 g ağırlıkta olduğu belirtilmektedir (Fonseca vd., 2022). Mor çarkıfelek meyvesinin, sarı olana göre daha küçük boyuta, kabuk kalınlığına ve kütleye sahip olduğu ifade edilmektedir (Viera vd., 2022). Olgun meyvenin kabuğunun yoğun mor rengi, ana pigment gruplarından biri olan antosiyaninlerden ve doğal antioksidanların varlığından kaynaklanmaktadır (Cao vd., 2021). Şekil 2.11’de de görüldüğü üzere çarkıfelek meyvesi tam olarak olgunlaştığında kırışan pürüzsüz bir kabukla çevrilidir ve perikarp olarak ifade edilen bu kabuk üç farklı dokudan oluşmaktadır. Epikarp (en dıştaki koyu mor tabaka), kalınlığı olgunluğa göre değişen mezokarp (beyaz süngerimsi parankima tabaka) ve çok sayıda funikulusun loküler boşluğa yöneldiği endokarptan (en içteki tabaka) oluşan çarkıfelek meyvesi, jelatinimsi arillerle çevrili çok sayıda tohum içermektedir (Florez vd., 2003).



Şekil 2.11 Mor çarkıfelek meyvesi (*Passiflora edulis* f. *edulis*) morfolojisi (Foncesca vd., 2022).

Meyvenin tüketilen kısmı olan içi kokuludur, sarı veya turuncu bir posa ile doludur ve meyvenin toplam ağırlığının yaklaşık olarak %35'ini oluşturmaktadır. Mor çarkıfelek meyvesinin taze tüketimiyle ya da meyve suyu olarak gıda endüstrisinde işlenmesiyle meyvenin neredeyse %60'ını oluşturan kabuk kısmı çoğunlukla atılmakta ve sürdürülebilirlik açısından büyük bir atık yükü oluşturmaktadır (Weyya vd., 2024). Atık maddelerin biyoaktif bileşikler yönünden zengin olduğu ve kabuk kısmının yaklaşık olarak %15-20 oranında pektin içerdiği bilindiğinden atık kısımların yeni sağlıklı ürünlerin geliştirilmesinde potansiyel olarak kullanımı gündeme gelmektedir (Dos Reis vd., 2018; Lin vd., 2021). Çarkıfelek meyvesinin alternatif pektin kaynağı olması sürdürülebilirlik açısından önem arz etmektedir (López-Vargas vd., 2013).

Mor çarkıfelek meyvesi organik asitler, mineraller, fenolik bileşikler ve şekerlerin dengeli bir sistem içerisinde doğal olarak bir araya gelmesiyle oluşan kendine özgü aroması ve lezzetli oluşu ile dünya çapında yaygın olarak tüketilen bir meyvedir. Meyvenin fitokimyasal bileşimini tarımsal uygulamalar, iklim, meyvenin türü, hasat farklılıkları, meyvenin olgunlaşma düzeyi ve analiz yöntemleri gibi pek çok parametre etkilemektedir (Devi Ramaiya vd., 2013; Fonseca vd., 2025; Polo-Murcia vd., 2025). Mor çarkıfelek meyvesinin suyu ve posası mikrobeyinler açısından zengindir; özellikle C vitamini yönünden oldukça iyi bir değere sahip olduğu belirtilmektedir. Kabuğunun ve çekirdeğinin ise demir, çinko, niyasin, bakır, kalsiyum, magnezyum ve potasyum içerdiği ifade edilmektedir (Fonseca vd., 2022; Ribeiro vd., 2018). Dolayısıyla çarkıfelek meyvesinin suyuna olan artan talep, yalnızca duyuusal özelliklerinden dolayı değil, içerdiği temel besin öğelerinden de kaynaklanmaktadır (Devi Ramaiya vd., 2013). Meyvenin yaklaşık %4'ünün tohumdan oluştuğu; tohumlarında %25-30 arasında yağ içerdiği ifade edilmektedir. Çekirdeğindeki lipid profili ile çarkıfelek meyvesi göze çarpmakta ve bu konudaki araştırmaların artmasını sağlamaktadır (Antoniassi vd., 2022).

Mor çarkıfelek meyvesinin suyunda sitrik, malik ve süksinik asit gibi organik asitler bulunabilmektedir (Chan Jr vd., 1972; Ramaiya vd., 2019). Organik asit profili meyvenin renk ve tat gibi organoleptik özellikleri açısından önem taşımaktadır (Fonseca vd., 2022). Mor çarkıfelek meyvesi daha tatlı ve daha az asidik olduğu için sarı çarkıfelek meyvesine kıyasla tadının daha hoş bulunduğu ifade edilmektedir (Pontes vd., 2009). Mor çarkıfelek meyvesinin içeriğinde yüksek miktarda karbonhidrat bulunmaktadır. Tohumlar en yüksek oranda protein ve lipid miktarını içerirken; kabuklar ise en yüksek lif miktarını içermektedir (Fonseca vd., 2022). Kabukta selüloz ve hemiselüloz içeriğine ek kalan içeriğin pektin olduğu belirtilmekte ve kabuktaki pektin içerikleri ekstraksiyon koşulları gibi parametrelere göre değişmektedir (Dao vd., 2021; Delvar vd., 2019; Dos Reis vd., 2018). Mor çarkıfelek meyvesinde çözünmez diyet lifi olarak selüloz, hemiselüloz ve lignin bulunmaktadır; dolayısıyla bağırsak problemlerine ve kilo yönetimine fayda sağlamaktadır (Ramaiya vd., 2018). Ayrıca glutensiz ürünler, gluten içeren ürünlere kıyasla genellikle daha düşük besin değerine sahiptir; bu sebeple gıda endüstrisi glutensiz ürünlerin kalitesini arttırmak adına psödotahıllar, baklagiller ve çarkıfelek meyvesi gibi besin değeri yüksek ürünlerden faydalanmaktadır (Bayrakci ve Aktar, 2023; Ciudad-Mulero vd., 2025). Tarımsal yan ürünlerin kullanımını iyileştirmeyi amaçlayan yeni teknolojiler araştırılmaktadır; çarkıfelek meyvesi kabuk ve kabuk unu, lif ve besin değeri yönünden zengin olduğu için sağlıklı yeni gıda ürünlerinin üretilmesinde kullanılabilir. Bir çalışmada glutensiz makarnanın besin değerini arttırmak için çarkıfelek meyvesi kabuğu ununun alternatif bir bileşen olabileceği ifade edilmiştir (Ribeiro vd., 2018).

Genellikle bitkilerde olduğu gibi mor çarkıfelek meyvesinde de protein içeriği düşüktür ve literatürdeki çalışmalar incelendiğinde mor çarkıfelek türünde aminoasit profillerinin çok fazla araştırılmadığı göze çarpmaktadır. Meyvenin kabuk ve posasında benzer miktarda protein içeriğinin olduğu belirtilirken; çekirdeğinin daha yüksek miktarda protein içerdiği belirtilmektedir (Ramaiya vd., 2018). Meyvenin kabuğu, suyu ve çekirdeğinde; arginin, lösin, lizin, valin, prolin, glisin, treonin gibi amino asitlerin bulunduğu belirtilmektedir (Fonseca vd., 2022; He vd., 2020). Özellikle esansiyel aminoasitleri vücudun üretemediği ve sadece dışarıdan besinler yoluyla alabildiği düşünüldüğünde çarkıfelek meyvesinin aminoasit profili dikkat çekmektedir. Çarkıfelek meyvesinin lipid içeriği ise genellikle çekirdeğinde araştırılmaktadır (Delvar vd., 2019; Dos Reis vd., 2018; Ramaiya vd., 2018). Çekirdek yağı yoğun olarak linoleik ve oleik asit gibi doymamış yağ asitlerinden oluşmaktadır. Çekirdek yağları, esansiyel yağ asidi

profilleri ve lipofilik bileşimleri ile kozmetik, ilaç ve beslenme gibi endüstrilerde önemli bir hammadde olarak belirtilmektedir (Antoniassi vd., 2022; Dos Reis vd., 2018; Fonseca vd., 2022). Çekirdekte antioksidan, antikanser, antiaterojenik ve antiinflamatuvar özellikler gibi pek çok olumlu biyolojik etkilere sahip olan piceatannol içeriği yüksek miktarda bulunmaktadır (Dos Santos vd., 2022; Krambeck vd., 2020). Ancak literatürde özellikle çekirdeğiyle ilgili yapılan çalışmaların çok olmadığı belirtilmektedir (Weyya vd., 2024). Çarkıfelek meyvesinde melatonin, serotonin ve triptofan bulunmaktadır; dolayısıyla ruh sağlığını dolaylı yoldan pozitif olarak etkileyebilmektedir (Pranil vd., 2021).

Mor çarkıfelek meyvesinin içeriğindeki gallik asit gibi fenolik asitler, flavonoidler ve karotenoidler gibi güçlü antioksidan özelliklere sahip bileşikler sağlık açısından önem arz etmektedir (Ignat vd., 2011; Santos vd., 2016; Zucolotto vd., 2012). Meyvenin atıklarında bulunan klorojenik asit ve neoklorojenik asit gibi fenolik bileşikler ve flavonoidler antiinflamatuvar etki göstermekte; böylece kronik hastalıkların riskini azaltabilmektedir (da Costa vd., 2023; Silva vd., 2014). Betakaroten ve likopen gibi karotenoidler kalp hastalıklarının riskinin azaltılmasında rol oynayabilmektedir (Wang vd., 2023). Ancak bu sağlık faydalarının anlaşılmasına yönelik yapılan literatürdeki çalışmalarda, farklı antioksidan analiz yöntemleri arasındaki uyumsuzluk ve analizlerin düşük özgüllüğü sebebiyle sağlık faydası ve meyve arasında doğrudan bir ilişkinin kurulması zorlaşmaktadır (Aguillón-Osma vd., 2019; Santos vd., 2017). Dolayısıyla biyoaktif bileşiklerin etki mekanizmalarının ve ekstraksiyon koşullarının etkisinin daha derinlemesine araştırılması gerekmektedir.

2.10. Çarkıfelek Meyvesinin Sağlığa Olan Etkileri

Çarkıfelek meyvesi flavonoidler, karotenoidler, polifenoller ve fenolik bileşikler gibi biyoaktif bileşiklerin kaynağıdır; bu sayede antidiyabetik, antiinflamatuvar, antioksidan, antimikrobiyal, antihipertansif, antiastım, hepatoprotektif, nefroprotektif özellikler göstermekte ve sağlığa olan potansiyel yararları ile dikkat çekmektedir (Duarte vd., 2021; Fonseca vd., 2022; Ma vd., 2021; Santos vd., 2016). Ancak çarkıfelek meyvesinin türüne göre biyoaktif bileşiklerin içerikleri ve faydaları değişebilmektedir (Pereira vd., 2023). *Passiflora* türlerinin yaprakları, meyveleri değişik coğrafyalarda çok sayıda semptom ve hastalığı tedavi etmek amacıyla geleneksel ve modern tıpta kullanılmaktadır (Dhawan vd., 2004). Yapılan çalışmalarda *P. cincinnata*'nın probiyotik potansiyeli ve sinerjik etkisi belirtilirken; *P. pinnatistipula*, *P. leschenaultii*, *P. mollissima* ve *P. ligularis* türlerinin karbonhidrat metabolizmasıyla ilişkili enzimlerin

inhibisyonunu etkilediği belirtilmektedir. *P. caerulea*'nın antikonvülsan aktivitesi ve bilişsel etkisi vurgulanmaktadır (Pereira vd., 2023). *Passiflora*'nın (*Passiflora incarnata*) en popüler farmakolojik uygulamasının depresyon, uykusuzluk ve anksiyete tedavisine yardımcı olmak olduğu bilinmektedir (Janda vd., 2020).

Çarkıfelek meyvesine olan ilginin de artmasıyla beraber çarkıfelek meyvesinden; meyve suları, fermente meyve suları, su kefirleri, şaraplar, süt ürünleri, jöleler, şekerler, reçeller, mikrokapsüller, dondurma ve fırıncılık ürünleri gibi yenilikçi ürünler elde edilmektedir. Geliştirilen bu ürünler ve sağlık etkileri dikkat çekmektedir. Ancak çarkıfelek meyvesinin sağlığa olan pozitif etki mekanizmasını tam olarak anlamak ve bu biyoaktif bileşiklerin hastalıkları önlemesi için gerekli olan optimum dozu belirlemek adına daha fazla araştırmaya ihtiyaç duyulduğu belirtilmektedir (Pereira vd., 2023).

Tablo 2.9 Çarkıfelek meyvesinin sağlığa olan etkileri

Sağlık Yönü	Sağlık Etkisi	Kaynaklar
Antidiyabetik, Hipolipidemik ve Hepatoprotektif Aktivite	Alloksan kaynaklı diyabetik farelerde meyvenin gövdesi/yaprakları oksidatif stresi, karaciğer fonksiyonunu iyileştirmiştir.	Holidah vd., 2021
	Yapılan çalışmalara göre çarkıfelek meyvesi, hiperlipidemiye karşı önleyici etki gösterebilmektedir.	He vd., 2020
	30 yetişkin diyabetik sıçanda streptozotosin ile oksidatif stres oluşturulmuş; ardından çarkıfelek meyvesinin kabuğu ve tohumunun özütü kullanılarak antidiyabetik etkisi araştırılmıştır. Sonucunda özütün ardından, farelerde süperoksit dismutaz düzeyi artmış ve çarkıfelek meyvesinin özütü antioksidan ve antidiyabetik etki göstermiştir.	Kandandapani vd., 2015
	30 gün süresince günde bir kez 0,58 g/kg çarkıfelek meyvesi suyu oral yoldan verilen diyabetik sıçan yavrularının kolesterol, TG, LDL değerleri ve kan glikozu azalmıştır.	Barbalho vd., 2011
	Sarı çarkıfelek meyvesinden (<i>Passiflora edulis</i> f. <i>flavicarpa</i>) elde edilen meyve suyu gallik asit içeriğiyle antioksidan aktivite göstermiştir ve farelere verilen meyve suyu izoproterenol kaynaklı miyokard enfarktüsünü önleyebilmiştir.	Soumya vd., 2021
	Çarkıfelek meyvesi tohumundan elde edilen çözünmeyen lifin tüketimiyle hiperkolesterolemik bir diyetle beslenen hamsterların toplam kolesterolü ve TG'si düşmüştür.	Chau ve Huang, 2005
	36 kişiyle (yaşları 20-60) yapılan çalışmada, sarı çarkıfelek meyvesinin kabuklarıyla hazırlanan un diyabetli bireylerde, kan glikoz düzeyini düşürmüştür; %19 oranında LDL'yi, %18,2 toplam kolesterolü, %15 oranında TG'yi azaltmıştır.	Medeiros vd., 2009
	Yüksek yağlı diyetle oluşturulmuş obeziteli sıçanlara çarkıfelek meyvesi kabukunun uygulanmasıyla kümülatif vücut ağırlığı artışı önlenmiş, leptin seviyesi/yağlılık azalmıştır. İnsülin duyarlılığı iyileşmiştir.	Lima vd., 2016
	Kloroform kaynaklı karaciğer hasarı olan sıçanlara mor çarkıfelek meyvesi kabuğu ekstraktı oral yoldan uygulanmış ve hepatoproteksiyon etki görülmüştür. 24 sıçanla 8 haftalık yapılan çalışmada sistolik kan basıncı belirgin oranda düşmüştür. Sonrasında çarkıfelek meyvesi özütü 4 haftalık bir çalışmada 400 mg/gün dozunda hipertansif insanlara uygulanmış ve ekstrakt ile tedavi edilen grupta herhangi bir olumsuz etki görülmemiş; plasebo grubuna kıyasla diastolik ve sistolik kan basınçları azalmıştır. Çalışmada, antihipertansif etkinin nitrik oksit modülasyonu aracılığıyla olabileceği ifade edilmiştir.	Zibadi vd., 2007
	Alkol kaynaklı karaciğer hasarında farelere 15 gün süresince günlük olarak çarkıfelek (<i>Passiflora edulis</i>) ve mum elması (<i>Syzygium samarangense</i>) meyve suyunun verilmesi karaciğer hasarını azaltmıştır.	Zhang vd., 2016

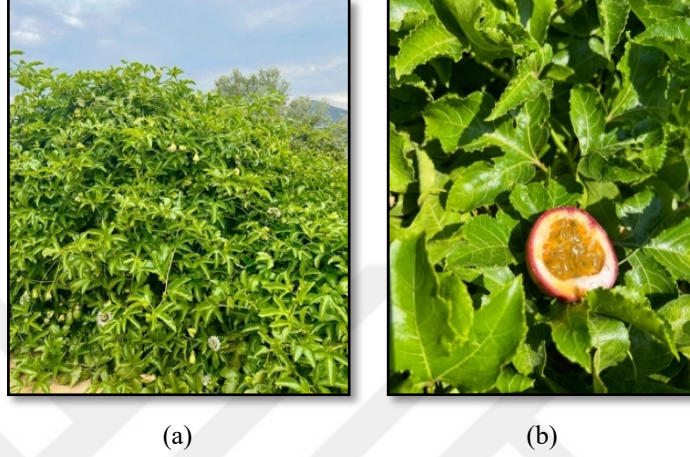
Tablo 2.9 Çarkıfelek meyvesinin sağlığa olan etkileri (Devamı)

Antikanser Aktivite	Transgenik farelerde prostat kanseri ilerlemesini ele alarak, sarı çarkıfelek meyvesinin bagas özütü uygulaması sonucunda prostat kanserinin ilerlemesi esnasında sistematik parametrelerde olumlu değişiklikler gözlenmiştir.	Baseggio vd., 2022
	Çarkıfelek meyvesinin (<i>Passiflora coccinea</i>) fotokoruyuculuk ve antioksidan aktiviteleri açısından, yaprak özütlerinin yaşlanma karşıtı formülasyonlarda kullanım potansiyelinin olduğu belirtilmiştir.	Silva vd., 2020
	<i>Passiflora edulis</i> f. <i>flavicarpa</i> yapraklarının ekstraktıyla yapılan çalışmada, çarkıfelek meyvesinin antikanser özelliklere sahip fitokimyasalları içerdiği ve kolorektal kanser hastalarının tedavisinde potansiyel bir kaynak olabileceği belirtilmiştir.	Ramirez vd., 2019
Antiinflamatuvar Aktivite	Histamin, serotonin ve prostaglandin E2 tarafından uyarılan farelere kurumuş çarkıfelek meyvesinden elde edilen polisakkarit 3 mg/kg dozunda enjekte edilmiş ve farelerde ödem azalmış, IL-1 β ve TNF- α düzeyleri düşmüştür.	Silva vd., 2015
	Yüksek yağlı diyetle indüklenen obeziteye karşı, çarkıfelek meyvesi kabukunun tüketiminin etkisi araştırılmıştır. Yüksek oranda betakaroten, ferulik asit gibi biyoaktif bileşikler ve lif içeren çarkıfelek meyvesi kabukunun tüketimiyle sıçanların toplam vücut yağ oranları, lipit peroksidasyonu ve serumlarındaki inflamatuvar sitokinlerin düzeyleri azalmıştır.	Vuolo vd., 2020
Probiyotik Aktivite	Çarkıfelek meyvesi suyu, faydalı bakterilerin büyümesi için probiyotik bir ortamdır. Yapılan bir çalışmada <i>Lactiplantibacillus plantarum</i> ile fermente edilen çarkıfelek meyvesi (<i>P. edulis</i>) suyu, 28 gün boyunca depolanmış ve rengini korumuştur. Çarkıfelek meyvesi suyu probiyotik bakterileri tedarik etmek için etkili bir ortam sunmuştur.	Fonseca vd., 2022
	<i>Lactocaseibacillus casei</i> ile fermente edilmiş içeceğin üretimi için çarkıfelek meyvesinin (<i>Passiflora edulis</i> Sims) suyuna yam unu eklenmiş; içecek duyuşsal olarak kabul görmüş, in vitro olarak probiyotikler hayatta kalmıştır.	Guedes vd., 2021
	Çarkıfelek meyvesi (<i>Passiflora Caatinga</i>) kabuğu pektini ve posası gastrointestinal koşulların simülasyonunda <i>L. rhamnosus</i> ATCC 7469'un büyümesini uyarak çok iyi probiyotik gıda taşıyıcılığı özelliği göstermiştir.	Santos vd., 2017
Antioksidan Aktivite	Mango, ananas, muz, çarkıfelek ve liçi meyveleri karşılaştırılmıştır; çarkıfelek meyvesi dışındaki meyveler %45-58 arasında antioksidan aktivite gösterirken; çarkıfelek meyvesinin değerinin %64 olduğu ifade edilmiştir.	Septembre-Malaterre vd., 2016
	Çarkıfelek meyvesi atıklarının çözünür lifiyle tedavi, gastrointestinal yaralanmada intestinal/gastrik mukozayı korumuştur.	da Silva vd., 2023
Antianksiyete Aktivite	Farelere 7 gün, oral, çarkıfelek meyvesinin toprak üstü kısımlarının etanolla ekstraktı verilmiş ve zorla yüzme testlerinde antidepresan benzeri etki görülmüş. Etki meyvedeki sikloartan yapısındaki triterpenik bileşiklerle ilişkilendirilmiş.	Wang vd., 2013
	Çarkıfelek meyvesi (<i>P. incarnata</i>) ekstraktı 125 mg/kg dozunda farelere verildiğinde anksiyolitik aktivite görülmüştür.	Dhawan vd., 2001

3. YÖNTEM

3.1. Materyal

Pektin elde etme amacıyla bu çalışmada mor çarkıfelek meyvesi (*Passiflora edulis* f. *edulis*) seçilmiş olup, meyveler Antalya Gazipaşa'daki yerel bir üreticiden tedarik edilmiştir. Şekil 3.1'de mor çarkıfelek meyvesinin üretim alanı görülmektedir.



Şekil 3.1 Mor çarkıfelek meyvesinin üretim alanı a) mor çarkıfelek bitkisi b) mor çarkıfelek meyvesinin içi

Şekil 3.2'de de görüldüğü üzere pektin eldesi için meyvenin iç kısmı çıkarılarak meyvenin kabukları doğranmıştır. Doğranan kabuklara 100 °C'de 3 dakika süresince ön haşlama yapılmış ve daha sonra soğuk suda şoklama işlemi uygulanmıştır (de Oliveira vd., 2016a). Ardından çarkıfelek meyvesi kabukları etüvde sabit ağırlığa ulaşınca kadar 60 °C'de kurutulmuştur (Memmert, IPP55, Almanya) ve endüstriyel öğütücüde (Waring, 8011S, Amerika) öğütülerek analizleri yapıncaya kadar -40 °C'de (CoolErmed M400PLZ, Türkiye) depolanmıştır (Kulkarni ve Vijayanand, 2010; Liang vd., 2022).

Ticari pektin örneği ise Alfasol (Elma Pektini, Fransa) firmasından alınmıştır. Çalışmamızda kullanılan kimyasallar Sigma Aldrich (ABD) ve Isolab (Türkiye) firmalarından temin edilmiştir.

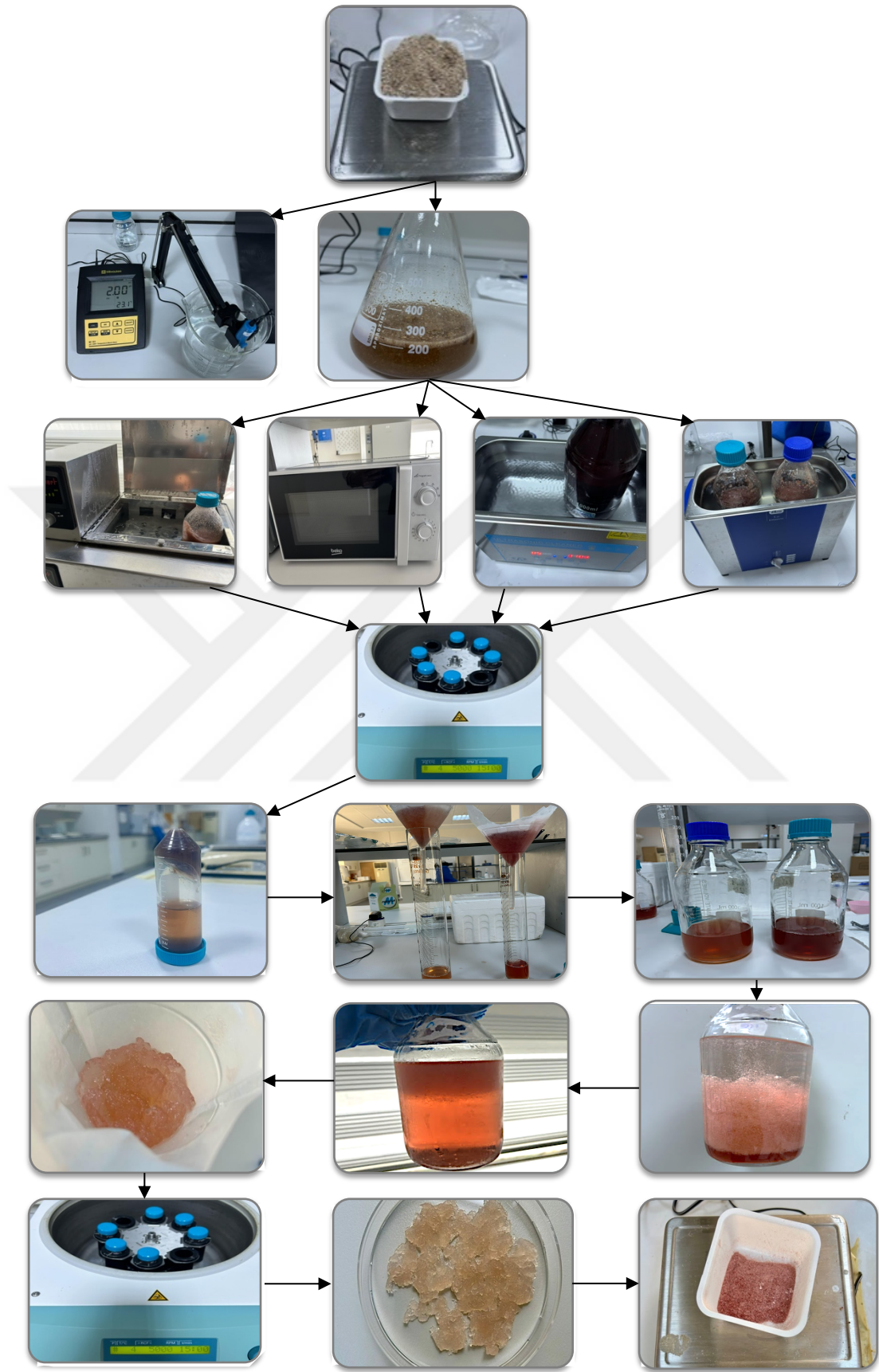


Şekil 3.2 Mor çarkıfelek meyvesi kabuğundan kuru kabuk tozu elde etme akış şeması (de Souza vd., 2018; Kulkarni ve Vijayanand, 2010; Liang vd., 2022; Seixas vd., 2014; Zhao vd., 2023).

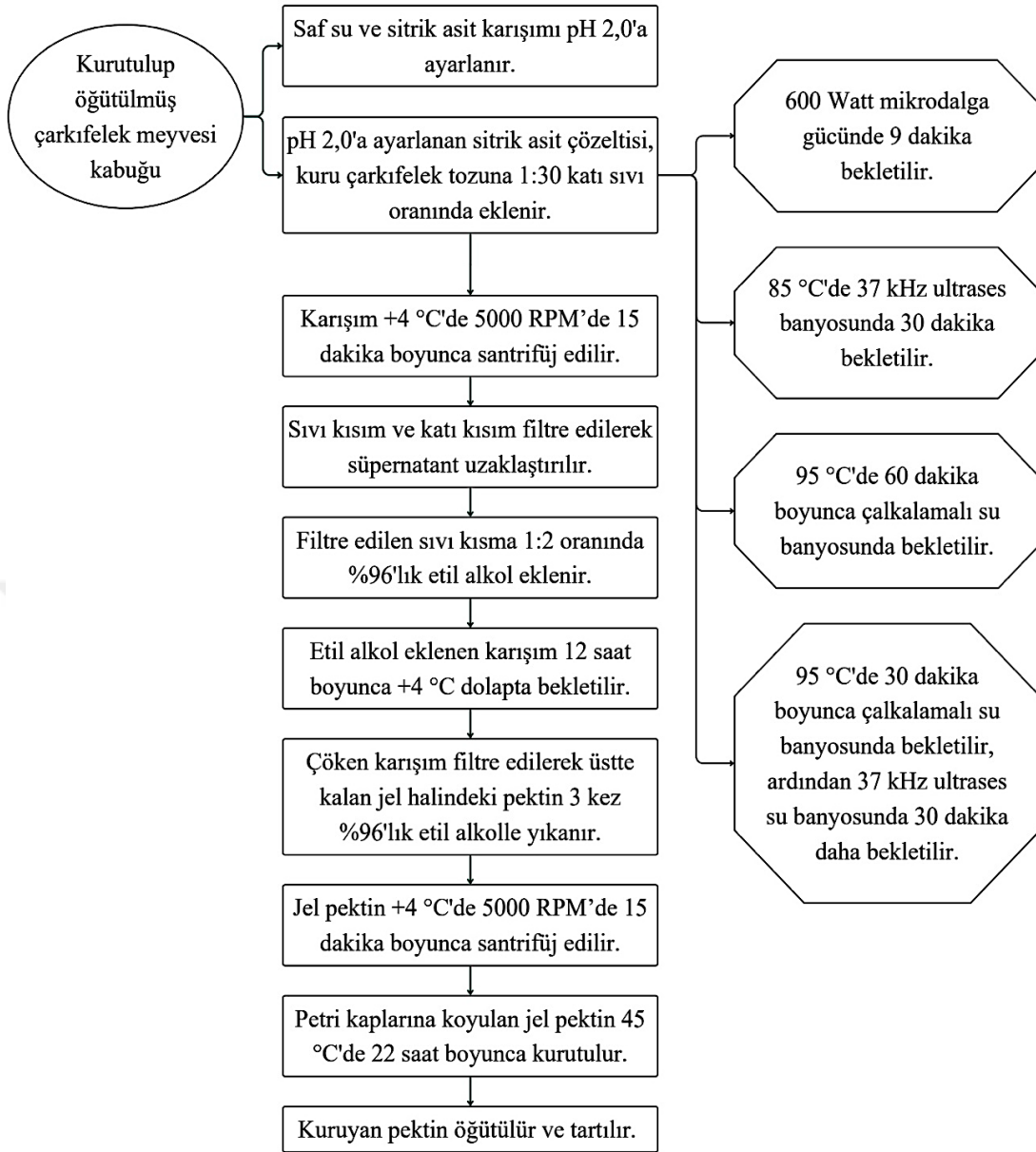
3.2. Metot

3.2.1. Pektin ekstraksiyonu

Pektin eldesinde en yüksek verimi elde etmek adına literatürdeki elde edilen verimler incelenerek dört farklı yöntem seçilmiştir. Bu yöntemler uygulanırken her yöntemde katı sıvı oranı 1:30 (g/mL), pH 2,0 ve ekstraksiyon asidi olarak da sitrik asit kullanılmıştır (de Oliveira vd., 2015; Kulkarni ve Vijayanand, 2010; Liang vd., 2022; Liew vd., 2014; Spinei ve Oroian, 2022; Yu vd., 2024). Mor çarkıfelek meyvesinin kabuğundan pektin eldesi; Kulkarni ve Vijayanand (2010) çalışmasına göre geleneksel asitle ekstraksiyon yöntemi revize edilerek, Seixas vd. (2014) çalışmasına göre mikrodalga destekli ekstraksiyon yöntemi revize edilerek, de Oliveira vd. (2016a) ve Nguyen ve Pirak (2019) çalışmalarına göre ultrases destekli ekstraksiyon yöntemi revize edilerek gerçekleştirilmiştir. Ayrıca geleneksel ve ultrases yönteminin kombini yapılarak ultrases destekli geleneksel asitle pektin ekstraksiyonu yapılmıştır. Dolayısıyla dört farklı yöntem kullanılmıştır; elde edilen pektin örneklerinin ve ticari pektinin karakterizasyonu yapılmıştır. Ekstraksiyon süreçlerine ilişkin akış şeması Şekil 3.3 ve Şekil 3.4'te gösterildiği gibidir.



Şekil 3.3 Mor çarkıfelek meyvesi (*Passiflora edulis* f. *edulis*) kabuklarından pektin eldesi yöntemlerine ilişkin görsellendirilmiş akış şeması



Şekil 3.4 Mor çarkıfelek meyvesi (*Passiflora edulis f. edulis*) kabuklarından pektin eldesi yöntemlerine ilişkin akış şeması (de Oliveira vd., 2016a; Kulkarni ve Vijayanand, 2010; Nguyen ve Pirak, 2019; Nguyen ve Quyen, 2022; Seixas vd., 2014).

3.2.1.1. Geleneksel asit ile pektin ekstraksiyonu

Mor çarkıfelek meyvesinin kabuğundan pektin elde etmek için geleneksel asitle ekstraksiyon (GE) yöntemi Kulkarni ve Vijayanand (2010) çalışmasına göre revize edilerek gerçekleştirilmiştir. Kurutulmuş ve öğütülmüş olan çarkıfelek meyvesi kabuklarına 1:30 katı sıvı oranında pH 2,0 asitlik değerinde sitrik asit çözeltisi eklenerek 60 dakika çalkalamalı su banyosunda (Membert, SV1422, WNB 14, Almanya) 95 °C'de bekletilmiştir. Karışım rotor çapı 8 cm olan soğutmalı santrifüjde (Hettich, Universal 320R, Almanya) 4 °C'de 5000 rpm'de 15 dakika boyunca santrifüj edildikten sonra sıvı kısım ve katı kısım filtre edilerek sıvı kısım kalacak şekilde süpernatant uzaklaştırılmıştır.

Daha sonra sıvı kısmın üzerine 1:2 oranında %96'lık etil alkol eklenerek 4 °C'de 12 saat bekletilmiştir. Bu sürenin sonunda floklaşmış karışım kaba filtreden süzülerek 3 kez %96'lık etil alkolle yıkanmış, ardından soğutmalı santrifüjde 4 °C'de 5000 rpm'de 15 dakika boyunca işlem görmüştür. Santrifüj tüplerinden permeat kısım alınarak petri kaplarına yerleştirilmiş ve etüvde 45 °C'de 22 saat boyunca kurutulmuştur. Elde edilen kuru pektin öğütücüde toz haline getirilerek analizler için +4 °C'de depolanmıştır.

3.2.1.2. Mikrodalga destekli pektin ekstraksiyonu

Çalışmamızda seçilen ikinci pektin ekstraksiyonu yöntemi mikrodalga destekli ekstraksiyon (ME) yöntemidir. Seixas vd. (2014) çalışmasına göre mikrodalga destekli ekstraksiyon yöntemi revize edilerek gerçekleştirilmiştir. Bu yöntemde kurutulmuş ve öğütülmüş olan çarkıfelek meyvesi kabuklarına 1:30 katı sıvı oranında pH 2,0 asitlik değerinde sitrik asit çözeltisi eklenerek 9 dakika, 600 watt gücündeki mikrodalgada (BMD-200G, Beko, İstanbul, Türkiye) bekletilmiştir. Bu sürenin sonunda karışım soğutmalı santrifüjde 4 °C'de 5000 rpm'de 15 dakika boyunca santrifüj edilmiştir, ardından sıvı kısım ve katı kısım filtre edilerek sıvı kısım kalacak şekilde süpernatant uzaklaştırılmıştır. Daha sonra sıvı kısmın üzerine 1:2 oranında %96'lık etil alkol eklenerek 4 °C'de 12 saat bekletilmiştir. Bu sürenin sonunda floklaşmış karışım kaba filtreden süzülerek 3 kez %96'lık etil alkolle yıkanmış, ardından soğutmalı santrifüjde 4 °C'de 5000 rpm'de 15 dakika boyunca işlem görmüştür. Santrifüj tüplerinden permeat kısım alınarak petri kaplarına yerleştirilmiş ve etüvde 45 °C'de 22 saat boyunca kurutulmuştur. Elde edilen kuru pektin öğütücüde toz haline getirilerek analizler için +4 °C'de depolanmıştır.

3.2.1.3. Ultrases destekli pektin ekstraksiyonu

Üçüncü pektin ekstraksiyonu yöntemi ultrases destekli ekstraksiyon (UE) yöntemidir. de Oliveira vd. (2016a) ve Nguyen ve Pirak (2019) çalışmalarına göre ultrases destekli ekstraksiyon yöntemi revize edilerek gerçekleştirilmiştir. Bu yöntemde öğütülmüş olan çarkıfelek meyvesi kabuklarına 1:30 katı sıvı oranında pH 2,0 asitlik değerinde sitrik asit çözeltisi eklenerek 85 °C'de 37 kHz değerindeki (WF-UD4, Weightlab Instruments, İstanbul, Türkiye) ultrases banyosunda 30 dakika bekletildikten sonra karışım soğutmalı santrifüjde 4 °C'de 5000 rpm'de 15 dakika boyunca santrifüj edilmiştir, ardından sıvı kısım ve katı kısım filtre edilerek sıvı kısım kalacak şekilde süpernatant uzaklaştırılmıştır. Daha sonra sıvı kısmın üzerine 1:2 oranında %96'lık etil

alkol eklenerek 4 °C’de 12 saat bekletilmiştir. Bu sürenin sonunda floklaşmış karışım kaba filtreden süzülerek 3 kez %96’lık etil alkolle yıkanmış, ardından soğutmalı santrifüjde 4 °C’de 5000 rpm’de 15 dakika boyunca işlem görmüştür. Santrifüj tüplerinden permeat kısım alınarak petri kaplarına yerleştirilmiş ve etüvde 45 °C’de 22 saat boyunca kurutulmuştur. Elde edilen kuru pektin öğütücüde toz haline getirilerek analizler için +4 °C’de depolanmıştır.

3.2.1.4. Ultrases destekli geleneksel asit ile pektin ekstraksiyonu

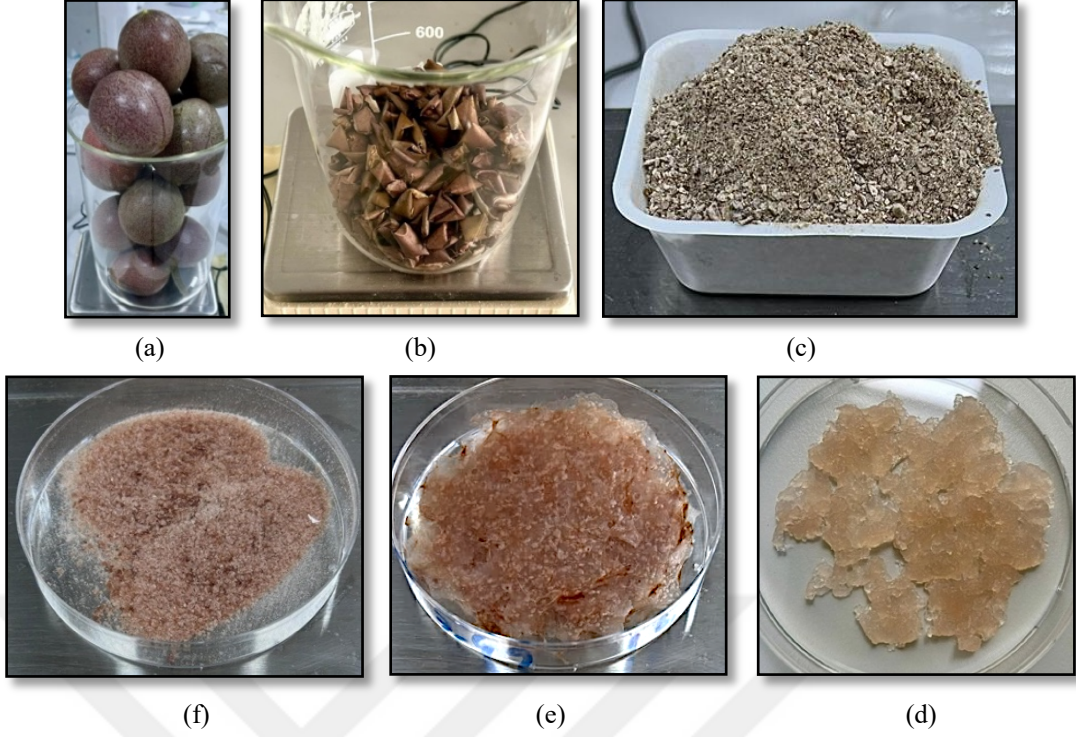
Dördüncü pektin ekstraksiyonu yöntemi ultrases destekli geleneksel asitle ekstraksiyon (UGE) yöntemidir. de Oliveira vd. (2016a) ve Nguyen ve Pirak (2019) çalışmalarına göre ultrases destekli ekstraksiyon yöntemi; Kulkarni ve Vijayanand (2010) çalışmasına göre geleneksel ekstraksiyon yöntemi revize edilerek gerçekleştirilmiştir. Bu yöntemde göre öğütülmüş olan çarkıfelek meyvesi kabuklarına 1:30 katı sıvı oranında pH 2,0 asitlik değerinde sitrik asit çözeltisi eklenerek 30 dakika çalkalamalı su banyosunda 95 °C’de bekletilmiştir. 37 kHz değerindeki (Elma, Elmasonic S 60, Almanya) ultrases banyosunda 30 dakika daha bekletildikten sonra karışım soğutmalı santrifüjde 4 °C’de 5000 rpm’de 15 dakika boyunca santrifüj edilmiştir, ardından sıvı kısım ve katı kısım filtre edilerek sıvı kısım kalacak şekilde süpernatant uzaklaştırılmıştır. Daha sonra sıvı kısmın üzerine 1:2 oranında %96’lık etil alkol eklenerek 4 °C’de 12 saat bekletilmiştir. Bu sürenin sonunda floklaşmış karışım kaba filtreden süzülerek 3 kez %96’lık etil alkolle yıkanmış, ardından soğutmalı santrifüjde 4 °C’de 5000 rpm’de 15 dakika boyunca işlem görmüştür. Santrifüj tüplerinden permeat kısım alınarak petri kaplarına yerleştirilmiş ve etüvde 45 °C’de 22 saat boyunca kurutulmuştur. Elde edilen kuru pektin öğütücüde toz haline getirilerek analizler için +4 °C’de depolanmıştır.

3.2.2. Fizikokimyasal pektin analizleri

3.2.2.1. Verim analizi

Pektin verim hesabı için kurutulup öğütülen çarkıfelek meyvesi kabukları tartılmıştır. Kabuk tozları kullanılarak elde edilen jel pektinler etüvde kurutulmuştur. Ardından tartılan kuru pektinler öğütülmüş ve tekrar tartılmıştır. Pektinlerin verimleri aşağıdaki formüle göre hesaplanmıştır (Muñoz-Almagro vd., 2019). Pektin örneklerinde verim analizinin görseli Şekil 3.5’te verilmiştir.

$$\% \text{ Verim} = \frac{\text{Kurutulmuş pektin ağırlığı (g)}}{\text{Ekstraksiyonu öncesi çarkıfelek meyvesi kuru kabuk ağırlığı (g)}} \times 100 \quad (3.1)$$

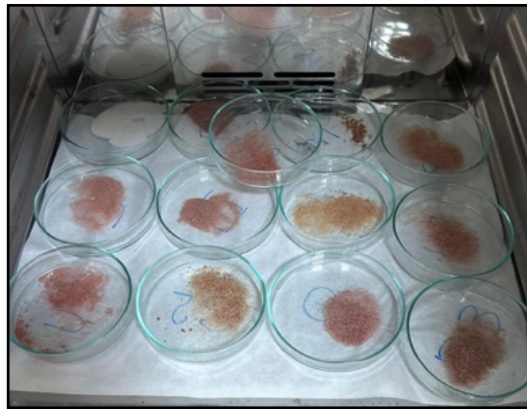


Şekil 3.5 Pektin veriminin hesaplanması akış görseli a) mor çarkıfelek meyvesi b) etüvden çıkarılmış çarkıfelek meyvesi kabukları c) öğütülmüş çarkıfelek meyvesi kabukları d) ekstraksiyon işleminden elde edilen jel pektin e) etüvde kurumuş pektin f) öğütülmüş kuru pektin

3.2.2.2. Nem analizi

Önce petri kapları 70 °C’de sabit ağırlığa ulaşınca kadar etüvde bekletilmiştir. Ardından pektin örneklerindeki nem oranı, gravimetrik yöntemlerle etüvde 70 °C’de sabit ağırlığa ulaşınca kadar ölçülmüştür. Elde edilen son ağırlık ve ilk ağırlık ölçümleri ile aşağıdaki formül kullanılarak % nem miktarı belirlenmiştir (Rai vd., 2019). Pektin örneklerinde nem analizinin görseli Şekil 3.6’da verilmiştir.

$$\% \text{ Nem miktarı} = \frac{\text{Nem analizi için tartılan pektin miktar ağırlığı (g)} - \text{Sabit tartım ağırlığı (g)}}{\text{Nem analizi için tartılan ilk pektin miktar ağırlığı (g)}} \times 100 \quad (3.2)$$



Şekil 3.6 Pektinde nem analizi

3.2.2.3. Esterleşme derecesi analizi

Pektin örneklerinin ED değerleri FTIR spektroskopisiyle ölçülmüştür. Toz pektin örneklerinin 650-4000 cm⁻¹ dalga sayısı aralığında, çözünürlük değeri 4 cm⁻¹ ve 20 tarama sayısı ile spektrumları alınmış ve arka plan görüntüsünü önlemek için havaya karşı okuma yapılmıştır. ED, metille esterleşmiş karboksil gruplarının absorbans bant alanlarının, toplam karboksil gruplarının absorbans bant alanlarına oranı ile hesaplanmaktadır (Coelho vd., 2018; Djerri vd., 2025; Jiang vd., 2023; Liew vd., 2016; Muhammad vd., 2020; Wang vd., 2021; Zaidel vd., 2017). Esterleşmiş ve esterleşmemiş karboksil grupları sırasıyla 1700–1750 cm⁻¹ ve 1600–1640 cm⁻¹ bantlarıyla ilişkili olabilmektedir (Naqash vd., 2021; Serrafi vd., 2025; Shafie vd., 2019). Pektin örneklerinin ED değerleri, aşağıdaki formül ile hesaplanmıştır.

$$\text{Esterleşme Derecesi (\%)} = \frac{A_1}{A_1 + A_2} \times 100 \quad (3.3)$$

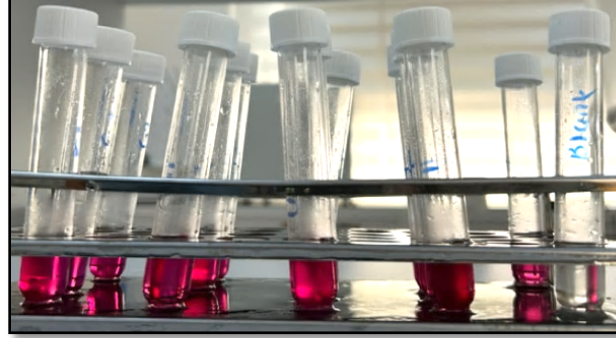
A₁: 1700-1750 cm⁻¹ arasındaki metille esterleşmiş karboksil gruplarının absorbans bant alanı

A₂: 1600-1640 cm⁻¹ arasındaki metille esterleşmemiş karboksil gruplarının absorbans bant alanı

3.2.2.4. Galakturonik asit miktarı analizi

Pektin örneklerinde GalA miktarı analizi için m-hidroksifenil yöntemi tercih edilmiştir (Blumenkrantz ve Asboe-Hansen, 1973). GalA miktarı analizi için de Oliveira vd. (2016a) çalışması revize edilerek kullanılmıştır. Bu yöntemde göre 12,5 mg pektin ve 10 mL saf su ile pektin çözeltisi hazırlanmıştır. Pektin çözeltisi 2 dakika boyunca vortekslenmiş ardından 40 °C'deki çalkalamalı su banyosunda 20 dakika süreyle karıştırılarak çözülmüştür. Hazırlanan pektin çözeltisinden 400 µL alınarak buz banyosunda konsantre sülfürik asit içinde hazırlanmış 2,4 mL 0,125 mol/L sodyum tetraborat çözeltisi ile vortekslenerek karıştırılmıştır. Daha sonra karışım 5 dakika boyunca kaynar su banyosunda bekletilmiş ve hemen peşinden buz banyosunda soğutulmuştur. Ardından karışıma, %0,15 m-hidroksidifenil çözeltisinden (0,5 g/100 mL NaOH içinde hazırlanmış) 40 µL eklenmiş ve vortekslenerek karıştırılmıştır. Bu sırada karışımda pembe renk oluşumu gözlenmiştir ve karışım 5 dakika inkübasyona bırakılmıştır. Daha sonra elde edilen karışımların absorbans değerleri 520 nm dalga boyundaki UV-spektrofotometre (Shimadzu, UV-1280, Japonya) ile ölçülmüştür. Ölçülen absorbansların GalA miktarı, daha önce farklı derişimlerde hazırlanan GalA (25, 50, 75, 100, 150, 200 µg/ml) çözeltilerinin absorbans konsantrasyon eğrisi kullanılarak

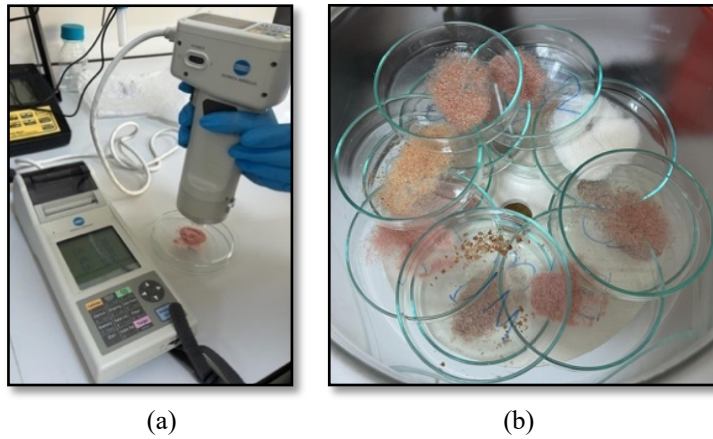
hesaplanmıştır. Pektin örneklerinde GalA miktarı analizinin görseli Şekil 3.7’de verilmiştir.



Şekil 3.7 Pektinde galakturonik asit analizi

3.2.2.5. Renk analizi

Toz pektin örneklerinin renk özellikleri L^* , a^* ve b^* değerleri olarak Hunter kolorimetre (Konica Minolta CR-400, NJ, ABD) ile belirlenmiştir. Ölçüm öncesi, standart beyaz seramik kalibrasyon plakasıyla cihazın kalibrasyonu yapılmıştır. Ardından +4 °C dolaptan çıkarılan pektin örneklerinin renk ölçümü petri kabında gerçekleştirilmiş ve her pektin örneğinden üç kez ölçüm alınmıştır. Bu ölçümlerden elde edilen L^* (0 koyuluk / 100 açıklık), a^* (- yeşillik / + kırmızılık) ve b^* (- mavilik / + sarılık) değerleri kaydedilmiştir (Gennadios vd., 1996; Misra ve Yadav, 2020). Pektin örneklerinde renk değerleri analizinin görseli Şekil 3.8’de verilmiştir.



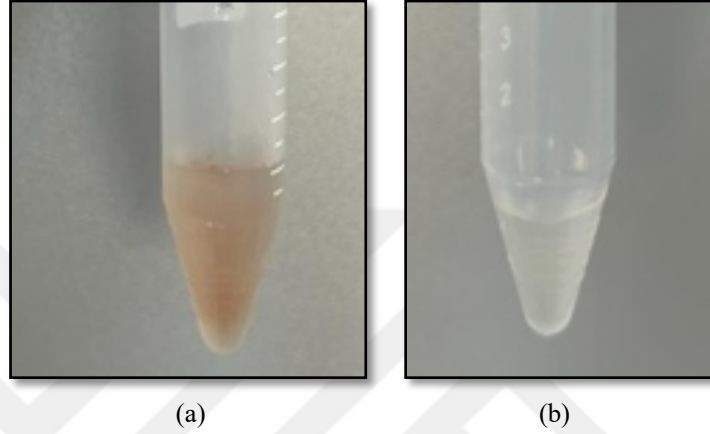
Şekil 3.8 Pektinde renk analizi a) renk ölçüm cihazı b) pektin örnekleri

3.2.2.6. Su tutma kapasitesi analizi

Pektin örneklerinin su tutma kapasitesi gravimetrik yöntemlerle hesaplanmıştır (Misra ve Yadav, 2020). Bu yöntemde göre 0,10 g toz pektin örneği, 10 mL ultra saf su ile santrifüj tüpüne konmuş ve çalkalamalı su banyosunda 37 °C’de 60 dakika boyunca karıştırılarak çözülmüştür. Elde edilen karışım daha sonra 4000 rpm’de 10 dakika

santrifüjden geçirilmiş ve ardından tüpteki su dökülmüştür. Santrifüj tüpleri 45 °'lik açıyla ters çevrilerek 30 dakika bekletildikten sonra fazla su uzaklaştırılmıştır ve kalan kısmı tartılmıştır. Su tutma kapasitesi aşağıdaki eşitliğe göre hesaplanmıştır. Bulunan miktar 1 gram kuru pektinin tuttuğu gram su miktarı olarak ifade edilmiştir. Pektin örneklerinde su tutma kapasitesi analizinin görseli Şekil 3.9'da verilmiştir.

$$\text{Su tutma kapasitesi (g/g)} = \frac{\text{Tüpteki su tutan pektin miktarı (g)} - \text{İlk pektin miktarı (g)}}{\text{İlk pektin miktarı (g)}} \quad (3.4)$$

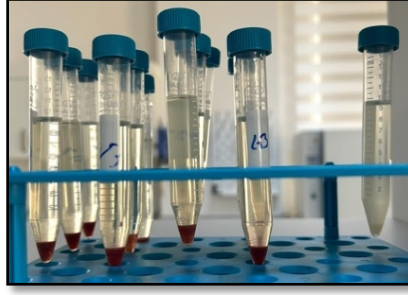


Şekil 3.9 Pektinde su tutma kapasitesi analizi a) mikrodalga destekli ekstraksiyon pektini b) ticari pektin

3.2.2.7. Yağ tutma kapasitesi analizi

Pektin örneklerinin yağ tutma kapasitesi gravimetrik yöntemlerle hesaplanmıştır (Xu vd., 2020). Bu yöntemle göre 0,10 g toz pektin örneği, 10 mL rafine ayçiçek yağı ile santrifüj tüpüne konmuş ve oda sıcaklığında 30 dakika boyunca çalkalamalı su banyosunda karıştırılmıştır. Elde edilen karışım daha sonra 10 dakika boyunca 4730 rpm'de santrifüjlenmiştir ve ardından tüpteki yağ dökülmüştür. Santrifüjlenen tüpler ters çevrilerek 30 dakika bekletildikten sonra fazla yağ uzaklaştırılmıştır ve kalan kısım tartılmıştır. Yağ tutma kapasitesi, numunenin başlangıç ağırlığı ile yağ eklendikten sonraki numune ağırlığı arasındaki fark olarak aşağıdaki formüle göre hesaplanmıştır. Bulunan miktar 1 gram kuru pektinin tuttuğu gram yağ miktarı olarak ifade edilmiştir. Pektin örneklerinde yağ tutma kapasitesi analizinin görseli Şekil 3.10'da verilmiştir.

$$\text{Yağ tutma kapasitesi (g/g)} = \frac{\text{Tüpteki yağ tutan pektin miktarı (g)} - \text{İlk pektin miktarı (g)}}{\text{İlk pektin miktarı (g)}} \quad (3.5)$$

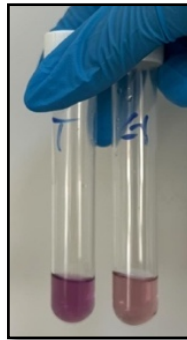


Şekil 3.10 Pektinde yağ tutma kapasitesi analizi

3.2.2.8. Toplam antioksidan kapasitesi analizi

Pektin örneklerindeki toplam antioksidan kapasitesi analizinde, DPPH (1,1-difenil-2-pikrilhidrazil) yöntemi kullanılarak Kumaran ve Karunakaran (2006)'daki çalışması revize edilmiş ve toplam antioksidan kapasitesi değerleri belirlenmiştir. DPPH reaktifi en zayıf antioksidanlarla hem hidrofilik hem de lipofilik antioksidanlarla etkileşime girebilmektedir (Kedare ve Singh, 2011). Analizde kullanılacak olan çözelti, %75 metanol ve %0,1 formik asit karıştırılarak hazırlanmıştır. Daha sonra santrifüj tüpüne 0,25 g toz pektin ve 2,5 mL hazırlanan çözülden eklenerek vortekslenmiş ve karıştırılmıştır. Hazırlanan karışım 15 dakika ultrases su banyosunda (WF-UD4, Weightlab Instruments, İstanbul, Türkiye) bekletilmiştir; böylece antioksidan bileşiklerin serbest kalması arttırılmıştır. Ardından 4 °C'de 4000 rpm'de 20 dakika boyunca santrifüjlenmiştir. Santrifüj işleminin ardından santrifüj tüpünden 100 µL süpernatant alınarak, 2 mL %0,1 mM DPPH (metanol çözeltisi içinde hazırlanmış) ile iyice vortekslenerek karıştırılmıştır. Daha sonra bu karışım 30 dakika boyunca oda sıcaklığında ve karanlıkta inkübe edilmiştir. Örneklerin absorbans değerleri, metanol karşısında 517 nm dalga boyunda UV-Vis spektrofotometreyle ölçülmüştür. Örneklerin % inhibisyon oranları absorbans değerleri kullanılarak aşağıdaki formüle göre hesaplanmıştır. Pektin örneklerinde toplam antioksidan kapasitesi analizinin görseli Şekil 3.11'de verilmiştir.

$$\% \text{ İnhibisyon} = \frac{A_{\text{blank}} - A_{\text{örnek}}}{A_{\text{blank}}} \times 100 \quad (3.6)$$



Şekil 3.11 Pektinde toplam antioksidan kapasitesi analizi

3.2.2.9. FTIR analizi

Pektin örneklerinin yapısal özellikleri ve pektin karakterizasyonu FTIR (PerkinElmer Spectrum 400, ABD) ile ölçülmüştür. FTIR analizi Akdeniz Üniversitesi, Gıda Güvenliği ve Tarımsal Araştırmalar Merkezinde yapılmıştır. Örneklerin 650-4000 cm^{-1} dalga sayısı aralığında, çözünürlük değeri 4 cm^{-1} ve 20 tarama sayısı ile spektrumları alınmış ve arka plan görüntüsünü önlemek için havaya karşı okuma yapılmıştır.

3.2.2.10. İstatistiksel yöntemler

Dört farklı pektin üretim yöntemi kullanılarak aynı sezonda hasat edilmiş çarkıfelek meyvelerinden her yöntem için üç ayrı numune serisinden pektin üretilmiştir ve toplam 12 adet pektin örneği elde edilmiştir. Üç tekerrürlü üretilen pektinlere yapılan analizler üç tekrar olacak şekilde ölçülmüştür. Ayrıca ticari pektin örneğine de belirtilen analizler yapılmıştır. Her analizde, dört farklı ekstraksiyon yöntemine ait üçer örneğin kendi içindeki ortalaması alınarak ekstraksiyon yöntemleri ve ticari pektin kıyaslanmıştır. Ölçümlerin sonuçları, IBM SPSS 20.0 istatistik programı ile analiz edilmiş ve sonuçlar, ortalama değer $\pm$ standart sapma olarak verilmiştir. Güven aralığı olarak %95 seçilmiş ve verilerin uygunluk durumlarına göre varyans analizi (ANOVA) yapılmıştır. Elde edilen ortalamalar arasındaki anlamlı farklılıklar ise ($p < 0,05$) Tukey testi ile analiz edilmiştir.

4. BULGULAR

4.1. Pektinde Verim Bulguları

Çalışmamızın sonucunda elde edilen verim analizi bulguları Tablo 4.1’de verilmiştir. Buna göre; örnekler arasında yapılan varyans analizi sonucunda istatistiksel olarak anlamlı bir fark bulunmamıştır ($p>0,05$). Mor çarkıfelek meyvesi kabuğundan farklı ekstraksiyon yöntemleri ile elde edilen pektinlerin verim değerleri %10,98-15,97 aralığında tespit edilmiştir. İstatiksel açıdan fark olmasa da sayısal olarak en yüksek pektin verimi, GE ile elde edilen pektinde görülürken; en düşük pektin verimi ise UE ile elde edilen pektinde görülmüştür. ME ve UGE ile elde edilen pektinlerin verim sonuçlarının yakın çıktığı saptanmıştır.

Tablo 4.1 Pektinde verim analizi bulguları

Pektin Türü	UGE	UE	ME	GE
Verim (% $\pm$ SS)	14,63 $\pm$ 1,74 ^a	10,98 $\pm$ 1,62 ^a	14,77 $\pm$ 5,12 ^a	15,97 $\pm$ 3,52 ^a

*Her bir değer, 3 paralelin ortalamasıdır. Aynı satırdaki küçük harfle (^a) işaretlenmiş ortalamalar arasında istatistiksel olarak anlamlı bir fark bulunmamıştır ($p>0,05$).

*SS: Standart sapma, UGE: Ultrases destekli geleneksel asitle ekstraksiyon, UE: Ultrases destekli ekstraksiyon, ME: Mikrodalga destekli ekstraksiyon, GE: Geleneksel asit ile ekstraksiyon

4.2. Pektinde Nem Bulguları

Nem kalite göstergesi olarak değerlendirilmekte ve ürünlerde nem içeriği düştükçe kalitenin arttığı kabul edilmektedir. Öte yandan yüksek nem içeriği mikrobiyal üremeye sebep olabilmektedir (Panwar vd., 2023). IPPA kuru pektindeki nem içeriğinin %12’yi geçmemesi gerektiğini belirtmektedir (Akhter vd., 2024; Mbaku vd., 2023).

Çalışmamızın sonucunda elde edilen nem analizi bulguları Tablo 4.2’de sunulmuştur. Buna göre; örnekler arasında yapılan varyans analizi sonucunda istatistiksel olarak anlamlı bir fark bulunmamıştır ($p>0,05$). Mor çarkıfelek meyvesi kabuğundan farklı ekstraksiyon yöntemleri ile elde edilen pektinlerin ve ticari pektinin nem içeriklerinin %3,80-5,85 aralığında olduğu saptanmıştır. Sayısal anlamda ticari pektinin %4,77 oranında nem içerdiği görülürken; %3,80 oranında nem içeren UGE ile elde edilen pektinin, ticari pektine ve tüm pektinlere kıyasla daha düşük oranda nem içerdiği görülmüştür. Yöntem olarak fark tespit edilmeyen nem değerleri, saklama ve üretim koşullarının standardizasyonu ile açıklanabilmektedir. Ayrıca tüm sonuçların, literatürde belirtilen %12 maksimum nem oranından düşük olduğu tespit edilmiştir.

Tablo 4.2 Pektinde nem analizi bulguları

Pektin Türü	UGE	UE	ME	GE	Ticari
Nem (% $\pm$ SS)	3,80 $\pm$ 1,14 ^a	5,32 $\pm$ 2,78 ^a	5,64 $\pm$ 4,72 ^a	5,85 $\pm$ 2,86 ^a	4,77 $\pm$ 0,00 ^a

*Her bir değer, üç paralelin ortalamasıdır. Aynı satırdaki küçük harfle (^a) işaretlenmiş ortalamalar arasında istatistiksel olarak anlamlı bir fark bulunmamıştır ($p>0,05$).

*SS: Standart sapma, UGE: Ultrases destekli geleneksel asitle ekstraksiyon, UE: Ultrases destekli ekstraksiyon, ME: Mikrodalga destekli ekstraksiyon, GE: Geleneksel asit ile ekstraksiyon

4.3. Pektinde Esterleşme Derecesi Bulguları

ED, elde edilen pektinin fizikokimyasal özellikleriyle ilişkilidir ve pektinin jel oluşturma özelliğini etkilemektedir. ED, yüzdelik olarak ifade edilmektedir; ED'si %50'nin üzerinde olan pektinler YMP, %50'nin altında olan pektinlerse DMP olarak adlandırılmaktadır (Hosseini vd., 2016; Liang vd., 2022).

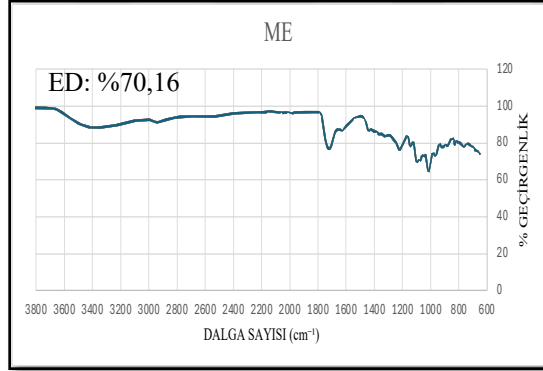
Çalışmamızın sonucunda elde edilen ED analizi bulguları Tablo 4.3 ve Şekil 4.1'de verilmiştir. Buna göre; pektin ekstraksiyonunda farklı yöntemlerin ED'yi etkilediği görülmüştür ve örnekler arasında yapılan varyans analizi sonucunda istatistiksel olarak anlamlı bir fark bulunmuştur ($p<0,05$). Mor çarkıfelek meyvesi kabuğundan farklı ekstraksiyon yöntemleri ile elde edilen pektinlerin ve ticari pektinin ED değerleri %59,93-81,41 aralığındadır; ticari pektinin en düşük, UE ile elde edilen pektinin ise en yüksek ED değerine sahip olduğu saptanmıştır. Tukey çoklu karşılaştırma testine göre ise UE pektini ve ticari pektin diğer tüm pektinlerle kıyaslandığında farklı iken ($p<0,05$); ME ve GE ile elde pektinlerin, UGE ve ME ile elde pektinlerin, UGE ve GE ile elde pektinlerin benzer oldukları görülmüştür ($p>0,05$). Bu doğrultuda pektin örneklerinin ve ticari pektinin ED değerleri %50'nin üzerinde bulunmuş ve YMP oldukları tespit edilmiştir.

Tablo 4.3 Pektinde esterleşme derecesi analizi bulguları

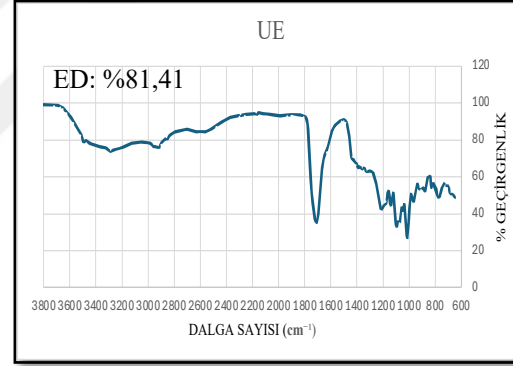
Pektin Türü	UGE	UE	ME	GE	Ticari
ED (% $\pm$ SS)	68,99 $\pm$ 0,02 ^a	81,41 $\pm$ 0,01 ^b	70,16 $\pm$ 0,002 ^a	70,82 $\pm$ 0,03 ^a	59,93 $\pm$ 0,00 ^c

*Her bir değer, 3 paralelin ortalamasıdır. Aynı satırdaki farklı küçük harflerle (^a, ^b, ^c) işaretlenmiş ortalamalar arasında, Tukey testi ile yapılan çoklu karşılaştırmalara göre istatistiksel olarak anlamlı farklılıklar saptanmıştır ($p<0,05$). Aynı harfler arasında ise fark bulunmamıştır ($p>0,05$).

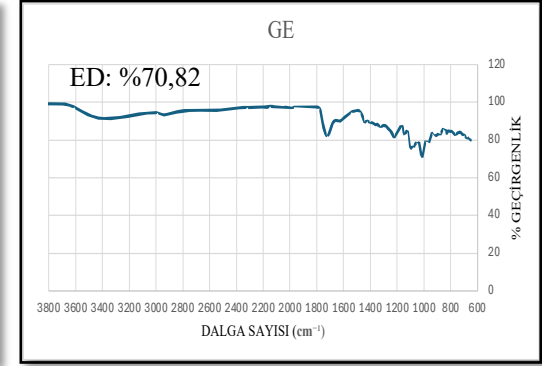
*SS: Standart sapma, UGE: Ultrases destekli geleneksel asitle ekstraksiyon, UE: Ultrases destekli ekstraksiyon, ME: Mikrodalga destekli ekstraksiyon, GE: Geleneksel asit ile ekstraksiyon



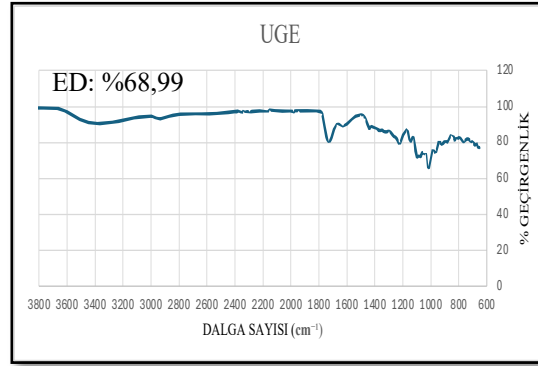
(a)



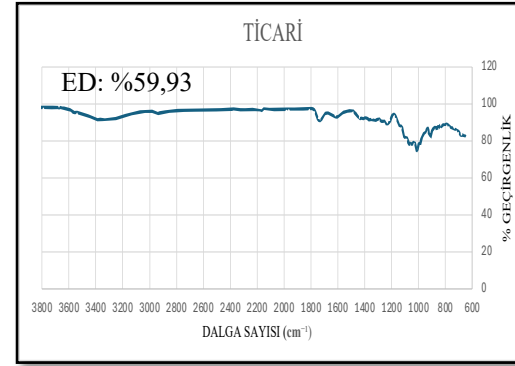
(b)



(c)



(d)



(e)

Şekil 4.1 Pektin örneklerinin esterleşme dereceleri (ED) ve FTIR gösterimleri a) ME: Mikrodalga destekli ekstraksiyon, pektini b) UE: Ultrasound destekli ekstraksiyon, pektini c) GE: Geleneksel asit ile ekstraksiyon, pektini d) UGE: Ultrasound destekli geleneksel asitle ekstraksiyon, pektini e) ticari pektin

4.4. Pektinde Galakturonik Asit Bulguları

Ticari olarak elde edilen pektinin en az %65 GalA içeriğine sahip olması ve ED değerine bağlı olarak jel oluşturabilmesi gerektiği ifade edilmektedir (Freitas vd., 2021). IPPA ise pektinin en az %35 oranında GalA içermesi gerektiğini belirtmektedir (Filianty vd., 2024; Mada vd., 2022).

Çalışmamızın sonucunda elde edilen GalA analizi bulguları Tablo 4.4'te verilmiştir. Buna göre; pektin ekstraksiyonunda farklı yöntemler GalA içeriğini etkilemiştir ve örnekler arasında yapılan varyans analizi sonucunda istatistiksel olarak anlamlı bir fark bulunmuştur ($p < 0,05$). Mor çarkıfelek meyvesi kabuğundan farklı ekstraksiyon yöntemleri ile elde edilen pektinlerin ve ticari pektinin GalA içeriklerinin %54,71-84,27 aralığında olduğu saptanmıştır. UE ile elde edilen pektinin ticari pektine kıyasla daha yüksek oranda GalA içerdiği görülmüştür. Tukey çoklu karşılaştırma testine göre UGE ve ME, ticari ve UGE, ticari ve ME, Ticari ve UE, UGE ve UE pektinlerinin arasında anlamlı bir fark olmadığı saptanmıştır ($p > 0,05$). Elde edilen tüm pektinlerin en az %35 GalA içeriğine sahip olma koşulunu sağladığı tespit edilirken; GE ile elde edilen pektin hariç diğer tüm pektinlerin %65'ten fazla GalA içerdiği tespit edilmiştir.

Tablo 4.4 Pektinde galakturonik asit analizi bulguları

Pektin Türü	UGE	UE	ME	GE	Ticari
GalA (% $\pm$ SS)	79,53 $\pm$ 1,88 ^{ab}	84,27 $\pm$ 2,30 ^a	74,56 $\pm$ 0,96 ^b	54,71 $\pm$ 1,92 ^c	84,11 $\pm$ 0,00 ^{ab}

*Her bir değer, 3 paralelin ortalamasıdır. Aynı satırdaki farklı küçük harflerle (^a, ^b, ^c) işaretlenmiş ortalamalar arasında, Tukey testi ile yapılan çoklu karşılaştırmalara göre istatistiksel olarak anlamlı farklılıklar saptanmıştır ($p < 0,05$). Aynı satırda aynı harfi paylaşan ortalamalar arasında istatistiksel olarak anlamlı fark yoktur ($p > 0,05$). Ara grup harfleri (^{ab}) ise o değer hem a hem b grubu ile fark göstermediğini belirtmektedir.

*SS: Standart sapma, UGE: Ultrases destekli geleneksel asitle ekstraksiyon, UE: Ultrases destekli ekstraksiyon, ME: Mikrodalga destekli ekstraksiyon, GE: Geleneksel asit ile ekstraksiyon

4.5. Pektinde Renk Bulguları

Pektinin renk özellikleri, içine eklendiği gıda ürününün görünümünü etkilediği için önemli bir parametre olarak belirtilmektedir (Grassino vd., 2016a). JECFA, ticari olarak elde edilen pektini beyaz, açık sarı, açık gri veya açık kahverengi toz olarak ifade etmektedir (EFSA, 2017). L^* değerinin aydınlığı (0: siyah ve 100: beyaz), a^* değerinin yeşil ve kırmızıyı (pozitif: kırmızı, negatif: yeşil) ve b^* değerinin mavi ve sarıyı (pozitif: sarı, negatif: mavi) gösterdiği bilinmektedir (Gennadios vd., 1996).

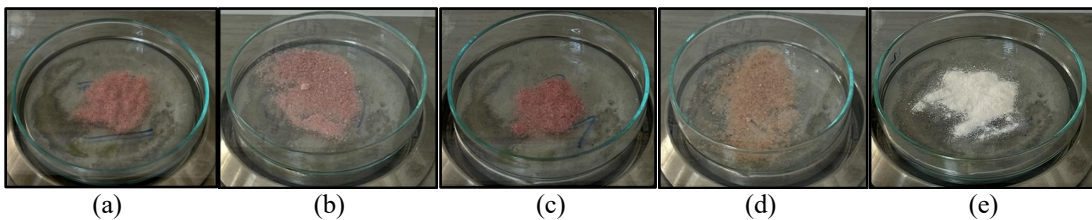
Çalışmamızın sonucunda elde edilen renk analizi bulguları Tablo 4.5'te verilmiştir. Buna göre; pektin ekstraksiyonunda farklı yöntemlerin renk değerlerini

etkilediği görülmüştür ve örnekler arasında yapılan varyans analizi sonucunda istatistiksel olarak anlamlı bir fark bulunmuştur ($p<0,05$). Mor çarkıfelek meyvesi kabuğundan farklı ekstraksiyon yöntemleri ile elde edilen pektinlerin ve ticari pektinin renk değerleri incelendiğinde; L^* değerlerinin 54,82-90,93 aralığında, a^* değerlerinin 1,11-17,99 aralığında ve b^* değerlerinin 8,94-14,34 aralığında olduğu tespit edilmiştir. Şekil 4.2'ye göre görsel olarak; ME pektini soluk kırmızımsı, UE pektini açık pembemsi, UGE pektini açık pembemsi, GE pektini açık sarımsı turuncu ve ticari pektin beyazımsı olarak ifade edilebilmektedir.

L^* değeri yönünden ticari pektinin en yüksek değerde olduğu ve diğer tüm pektinlerle arasında önemli bir fark bulunduğu saptanmıştır ($p<0,05$). Ticari pektinin diğer tüm pektinlere kıyasla daha aydınlık ve açık olduğu tespit edilmiştir. ME ile elde edilen pektinin ise en düşük L^* değerine ve diğer tüm pektinlere kıyasla daha koyu bir renge sahip olduğu görülmüştür. Tukey çoklu karşılaştırma testine göre; UE ve GE pektinlerinin, UE ve UGE pektinlerinin, ME ve UGE pektinlerinin, GE ve UGE pektinlerinin L^* renk değerleri istatistiksel olarak benzer bulunmuştur ($p>0,05$).

a^* değeri bakımından ticari pektinin en düşük değerde olduğu ve diğer tüm pektinlerle arasında önemli bir fark bulunduğu saptanmıştır ($p<0,05$). Sayısal olarak ticari pektine en yakın değerde olan pektinin GE ile elde edilen pektin olduğu tespit edilmiştir. Kırmızılık değeri en yüksek olan pektinin UE ile elde edilen pektin olduğu görülmüştür. Tukey çoklu karşılaştırma testine göre; UGE ve ME pektinlerinin, UGE ve GE pektinlerinin, ME ve UE pektinlerinin kırmızılık değerlerinin istatistiksel olarak benzer olduğu tespit edilmiştir ($p>0,05$).

b^* değeri yönünden ticari pektinin en düşük değerde olduğu ve diğer tüm pektinlerle arasında önemli bir fark bulunduğu saptanmıştır ($p<0,05$). GE ile elde edilen pektinin ise en yüksek sarılık değerine sahip olduğu tespit edilmiştir. Tukey çoklu karşılaştırma testine göre; ticari ve UE pektinlerinin, ticari ve UGE pektinlerinin, UGE ve UE pektinlerinin, UGE ve ME pektinlerinin, UE ve ME pektinlerinin, ME ve GE pektinlerinin sarılık değerlerinin istatistiksel olarak benzer olduğu saptanmıştır ($p>0,05$).



Şekil 4.2 Pektin örneklerinin renkleri a) UGE: Ultrases destekli geleneksel asitle ekstraksiyon, pektini b) UE: Ultrases destekli ekstraksiyon, pektini c) ME: Mikrodalga destekli ekstraksiyon, pektini d) GE: Geleneksel asit ile ekstraksiyon, pektini e) ticari pektin

Tablo 4.5 Pektinde renk analizi bulguları

Pektin Türü	<i>L</i> *	<i>a</i> *	<i>b</i> *
UGE	58,41 ± 3,17 ^{ab}	15,10 ± 1,99 ^{ab}	10,98 ± 0,49 ^{ab}
UE	61,27 ± 3,21 ^a	17,99 ± 2,12 ^c	10,93 ± 0,74 ^{ab}
ME	54,82 ± 6,64 ^b	15,96 ± 2,48 ^{bc}	13,22 ± 3,58 ^{bc}
GE	60,11 ± 2,95 ^a	13,60 ± 1,64 ^a	14,34 ± 4,69 ^c
Ticari	90,93 ± 0,03 ^c	1,11 ± 0,03 ^d	8,94 ± 0,06 ^a

*Her bir değer, 3 paralelin ortalamasıdır. Aynı sütundaki farklı küçük harflerle (^a, ^b, ^c, ^d) işaretlenmiş ortalamalar arasında, Tukey testi ile yapılan çoklu karşılaştırmalara göre istatistiksel olarak anlamlı farklılıklar saptanmıştır ($p < 0,05$). Aynı sütunda aynı harfi paylaşan ortalamalar arasında istatistiksel olarak anlamlı fark yoktur ($p > 0,05$). Ara grup harfleri (^{ab}, ^{bc}) ise o değer hem a hem b (veya c) grubu ile fark göstermediğini belirtmektedir.

*SS: Standart sapma, UGE: Ultrases destekli geleneksel asitle ekstraksiyon, UE: Ultrases destekli ekstraksiyon, ME: Mikrodalga destekli ekstraksiyon, GE: Geleneksel asit ile ekstraksiyon

4.6. Pektinde Su Tutma Kapasitesi Bulguları

Su tutma kapasitesi pektinin önemli bir fizikokimyasal özelliğidir. Yüksek olması, gıdada tekstürel ve duyuşsal yönlerin iyileştirilmesini sağlarken; bazı gıdalarda sinerezis oluşumunu önlemeye katkı sağlayabilmektedir (Khedmat vd., 2020; Yuan vd., 2018).

Çalışmamızın sonucunda elde edilen su tutma kapasitesi bulguları Tablo 4.6'da verilmiştir. Buna göre; pektin ekstraksiyonundaki farklı yöntemler su tutma kapasitesini etkilemiştir ve yapılan varyans analizi sonucunda örnekler arasında istatistiksel olarak anlamlı bir fark bulunmuştur ($p < 0,05$). Mor çarkıfelek meyvesi kabuğundan farklı ekstraksiyon yöntemleri ile elde edilen pektinlerin ve ticari pektinin su tutma kapasiteleri 5,09-16,06 g su/g pektin aralığındadır. Ticari pektin en düşük; ME pektini ise en yüksek değeri sergilemiştir. Tukey çoklu karşılaştırma testine göre; UGE ve ME pektinlerinin, ME ve UE pektinlerinin, UGE ve UE pektinlerinin, GE ve UE pektinlerinin, GE ve ticari pektinlerinin su tutma kapasiteleri istatistiksel olarak benzer bulunmuştur ($p > 0,05$).

Tablo 4.6 Pektinde su tutma kapasitesi analizi bulguları

Pektin Türü	UGE	UE	ME	GE	Ticari
Su Tutma Kapasitesi (g/g ± SS)	14,69 ± 1,34 ^a	12,38 ± 2,31 ^{ab}	16,06 ± 4,50 ^a	7,79 ± 0,33 ^{bc}	5,09 ± 0,00 ^c

*Her bir değer, 3 paralelin ortalamasıdır. Aynı satırdaki farklı küçük harflerle (^a, ^b, ^c) işaretlenmiş ortalamalar arasında, Tukey testi ile yapılan çoklu karşılaştırmalara göre istatistiksel olarak anlamlı farklılıklar saptanmıştır ($p < 0,05$). Aynı satırda aynı harfi paylaşan ortalamalar arasında istatistiksel olarak anlamlı fark yoktur ($p > 0,05$). Ara grup harfleri (^{ab}, ^{bc}) ise o değer hem a hem b (veya c) grubu ile fark göstermediğini belirtmektedir.

*SS: Standart sapma, UGE: Ultrases destekli geleneksel asitle ekstraksiyon, UE: Ultrases destekli ekstraksiyon, ME: Mikrodalga destekli ekstraksiyon, GE: Geleneksel asit ile ekstraksiyon

4.7. Pektinde Yağ Tutma Kapasitesi Bulguları

Yağ tutma kapasitesi pektinin önemli bir fizikokimyasal özelliği olup; tıpkı su tutma kapasitesinde olduğu gibi gıdaların tekstürü, duyu özellikleri ve kalori içeriği ile ilişkilidir. Pektinin yağ tutma kapasitesinin yüksek olması, yağ oranı yüksek olan emülsiyonlarda, et ürünlerinde ve gıdalarda stabilizatör olarak; aynı zamanda yağ ikamesi olarak kullanılmasını sağlamaktadır (Izalin vd., 2016; Yuan vd., 2018). Ek olarak pektinin yağ tutma kapasitesi sayesinde bağırsaktaki lipid emiliminin azalabildiği ve kilo kontrolünün sağlanabildiği belirtilmektedir (Jurevičiūtė vd., 2022; Yin vd., 2021).

Çalışmamızın sonucunda elde edilen yağ tutma kapasitesi bulguları Tablo 4.7’de verilmiştir. Buna göre; pektin ekstraksiyonunda farklı yöntemlerin yağ tutma kapasitesini etkilediği görülmüştür ve örnekler arasında yapılan varyans analizi sonucunda istatistiksel olarak anlamlı bir fark bulunmuştur ($p < 0,05$). Mor çarkıfelek meyvesi kabuğundan farklı ekstraksiyon yöntemleri ile elde edilen pektinlerin ve ticari pektinin yağ tutma kapasiteleri 2,73-3,27 g yağ/g pektin aralığındadır. Ticari pektinin en düşük; UE ile elde edilen pektinin ise en yüksek yağ tutma kapasitesi değerine sahip olduğu görülmüştür. Tukey çoklu karşılaştırma testine göre; UE ve ME pektinlerinin, UE ve ticari pektinin arasında anlamlı bir fark olduğu tespit edilmiştir ($p < 0,05$). Diğer sonuçlar arasında anlamlı bir fark saptanmamıştır ($p > 0,05$).

Tablo 4.7 Pektinde yağ tutma kapasitesi analizi bulguları

Pektin Türü	UGE	UE	ME	GE	Ticari
Yağ Tutma Kapasitesi (g/g $\pm$ SS)	3,08 $\pm$ 0,05 ^{ab}	3,27 $\pm$ 0,18 ^a	2,81 $\pm$ 0,27 ^b	2,87 $\pm$ 0,18 ^{ab}	2,73 $\pm$ 0,00 ^b

*Her bir değer, 3 paralelin ortalamasıdır. Aynı satırdaki farklı küçük harflerle (^a, ^b) işaretlenmiş ortalamalar arasında, Tukey testi ile yapılan çoklu karşılaştırmalara göre istatistiksel olarak anlamlı farklılıklar saptanmıştır ($p < 0,05$). Aynı satırda aynı harfi paylaşan ortalamalar arasında istatistiksel olarak anlamlı fark yoktur ($p > 0,05$). Ara grup harfleri (^{ab}) ise o değer hem a hem b grubu ile fark göstermediğini belirtmektedir.

*SS: Standart sapma, UGE: Ultrases destekli geleneksel asitle ekstraksiyon, UE: Ultrases destekli ekstraksiyon, ME: Mikrodalga destekli ekstraksiyon, GE: Geleneksel asit ile ekstraksiyon

4.8. Pektinde Toplam Antioksidan Kapasitesi Bulguları

Pektinlerin antioksidan aktivitesinin değerlendirilmesi gıda mühendisliği ve beslenme pratikleri bakımından önem taşımaktadır. Antioksidanların vücuttaki serbest radikalleri ortadan kaldırmaya ve hücrelere verilen oksidatif stres hasarını azaltmaya yardımcı oldukları; böylece kanser, kardiyovasküler hastalıklar ve diyabet gibi kronik hastalıkları önleme potansiyeline sahip oldukları bilinmektedir (Kasote vd., 2015). Kararlı azot merkezli serbest radikal olan DPPH, antioksidan materyallerin radikal

temizleme aktivitesini değerlendirmek için kullanılmaktadır (Chen vd., 2020). DPPH ve bileşiğin etkileşiminden sonra kalan DPPH ölçülerek örneklerdeki antioksidan içeriği ve aktivitesi dolaylı olarak yansıtılmaktadır (Huang vd., 2023).

Çalışmamızın sonucunda elde edilen toplam antioksidan kapasitesi bulguları Tablo 4.8’de verilmiştir. Buna göre; pektin ekstraksiyonunda farklı yöntemlerin toplam antioksidan kapasitesini etkilediği görülmüştür ve yapılan varyans analizi sonucunda örneklerin arasında istatistiksel olarak anlamlı bir fark bulunmuştur ($p<0,05$). Mor çarkıfelek meyvesi kabuğundan farklı ekstraksiyon yöntemleri ile elde edilen pektinlerin ve ticari pektinin toplam antioksidan kapasitelerinin % inhibisyon sonuçları %39,11-61,02 aralığında tespit edilmiştir. Ticari pektinde ise antioksidana rastlanmamıştır. Bu durumun ticari pektinin üretim aşamasındaki ekstraksiyon koşullarından kaynaklanabileceği düşünülmektedir. Sayısal olarak UE pektininin en düşük; ME pektininin ise en yüksek % inhibisyona sahip olduğu tespit edilmiştir. Tukey çoklu karşılaştırma testine göre; UGE ve GE pektinlerinin, UGE ve UE pektinlerinin, UGE ve ME pektinlerinin, UE ve GE pektinlerinin, ME ve GE pektinlerinin benzer olduğu görülmüştür ($p>0,05$). Toplam antioksidan kapasitesi yönünden UE, UGE, ME ve GE ile elde edilen pektinlerin, ticari pektine kıyasla daha yüksek sonuç verdiği tespit edilmiştir.

Tablo 4.8 Pektinde toplam antioksidan kapasitesi (% inhibisyon) analizi bulguları

Pektin Türü	UGE	UE	ME	GE
İnhibisyon (% $\pm$ SS)	52,13 $\pm$ 11,93 ^{ab}	39,11 $\pm$ 25,63 ^a	61,02 $\pm$ 10,12 ^b	50,28 $\pm$ 3,41 ^{ab}

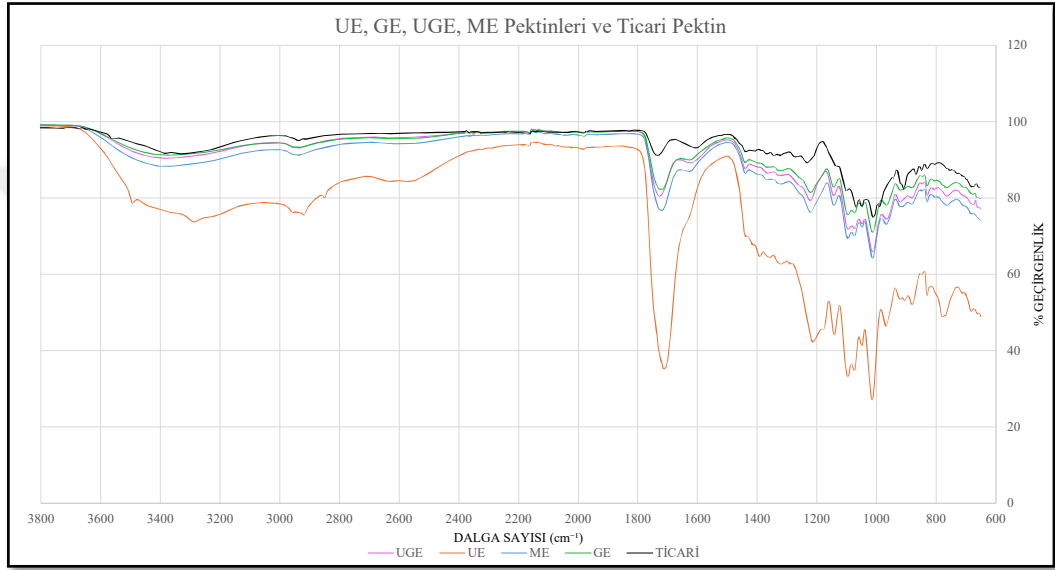
*Her bir değer, 3 paralelin ortalamasıdır. Aynı satırdaki farklı küçük harflerle (^a, ^b) işaretlenmiş ortalamalar arasında, Tukey testi ile yapılan çoklu karşılaştırmalara göre istatistiksel olarak anlamlı farklılıklar saptanmıştır ($p<0,05$). Aynı satırda aynı harfi paylaşan ortalamalar arasında istatistiksel olarak anlamlı fark yoktur ($p>0,05$). Ara grup harfleri (^{ab}) ise o değer hem a hem b grubu ile fark göstermediğini belirtmektedir.

*SS: Standart sapma, UGE: Ultrases destekli geleneksel asitle ekstraksiyon, UE: Ultrases destekli ekstraksiyon, ME: Mikrodalga destekli ekstraksiyon, GE: Geleneksel asit ile ekstraksiyon

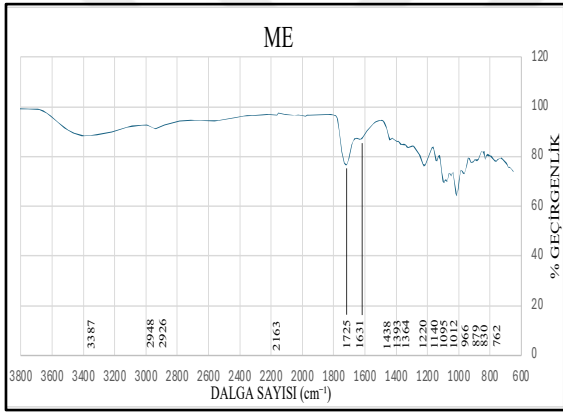
4.9. Pektinde FTIR Bulguları

Pektinin yapısal özelliklerini belirlemek adına FTIR kullanılmaktadır. FTIR kullanılarak fonksiyonel gruplar belirlenebilmektedir (Güzel ve Akpınar, 2017). FTIR spektrumunda 650-4000 cm^{-1} arasında pektinin karakteristik bantları bulunmakta ve her bandın fonksiyonel grupları, sahip oldukları kimyasal bağları ifade ettiği belirtilmektedir. Pektinin karmaşık polisakkarit yapısı içinde 800-1200 cm^{-1} arasındaki bölge ana polisakkaritler hakkında bilgi verirken, parmak izi bölgesi olarak adlandırılmakta ve zor yorumlanmaktadır (Chen vd., 2014; Kacurakova vd., 2000). 1600-1800 cm^{-1} arasındaki bölgenin ise pektine özgü yapısal bilgiler sağladığı ve farklı pektin tiplerini karşılaştırmak

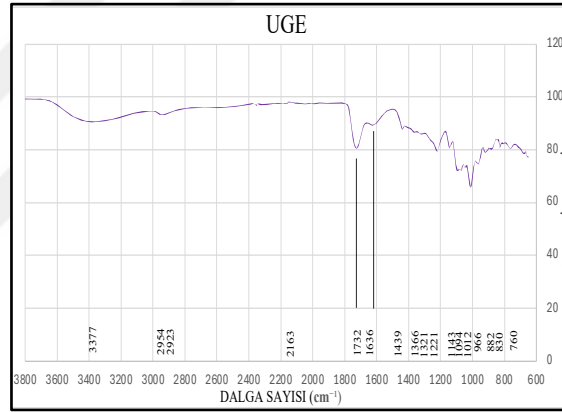
için kullanılabileceği belirtilmektedir (Monsoor, 2005). Mor çarkıfelek meyvesi kabuğundan farklı ekstraksiyon yöntemleri kullanılarak elde edilen pektinlerin ve ticari pektinin FTIR analiz bulguları Şekil 4.3 ve Şekil 4.4'te verilmiştir. Buna göre; farklı ekstraksiyon yöntemleri ile elde edilen pektinlerin ve ticari pektinin FTIR spektrumları birbirine oldukça benzer bulunmuştur. 1600-1800 cm^{-1} arasındaki bölgede 1604-1742 cm^{-1} arasında piklerin bulunduğu ve 800-1200 cm^{-1} arasındaki bölgede ise bantların varlığı görülmektedir. Bu bağlamda örneklerin pektin olduğu anlaşılmakta olup detayları tartışma kısmında incelenecektir.



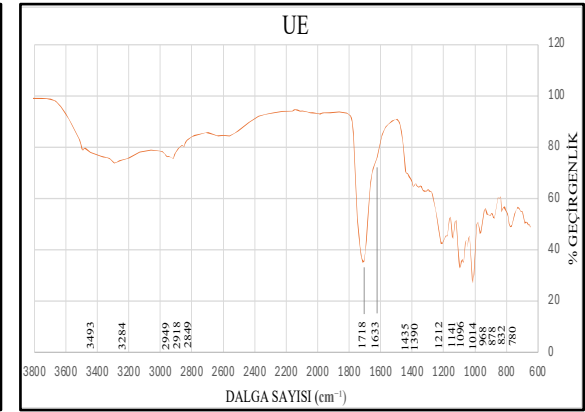
Şekil 4.3 Pektin örneklerinin FTIR sonuçlarının karşılaştırması (UGE: Ultrases destekli geleneksel asitle ekstraksiyon, UE: Ultrases destekli ekstraksiyon, ME: Mikrodalga destekli ekstraksiyon, GE: Geleneksel asit ile ekstraksiyon)



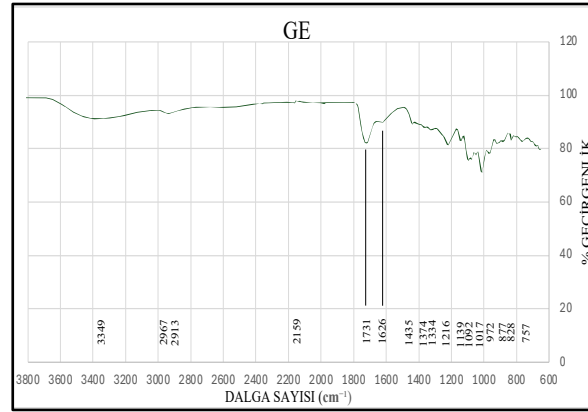
(a)



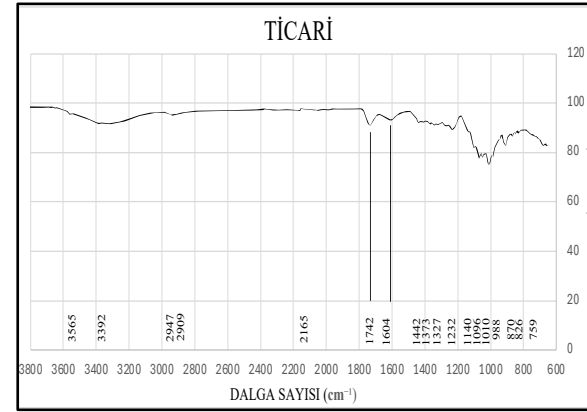
(b)



(c)



(d)



(e)

Şekil 4.4 Pektin örneklerinin FTIR analiz sonuçları a) ME: Mikrodalga destekli ekstraksiyon, pektini b) UGE: Ultrases destekli geleneksel asitle ekstraksiyon, pektini c) UE: Ultrases destekli ekstraksiyon, pektini d) GE: Geleneksel asit ile ekstraksiyon, pektini e) ticari pektin

5. TARTIŞMA, SONUÇ VE ÖNERİLER

5.1. Tartışma

5.1.1. Pektin ekstraksiyon koşullarının belirlenmesi ve araştırma deseni performansına etkisi

Bir kimyasalın ekstraksiyon verimini sıcaklık, süre, pH, çözücünün türü, çözücünün oranı gibi faktörler belirlemektedir. Bu ekstraksiyon faktörlerine bağlı olarak sadece verim değil, nihai üründe de bazı fonksiyonel özellikler değişebilmektedir. Bu sebeple pektin ekstraksiyonunda sadece verimin değil, proses faktörlerinin etkileyeceği diğer fizikokimyasal özelliklerin de araştırılması gerekmektedir (Kulkarni ve Vijayanand, 2010; Mada vd., 2022). Dolayısıyla çalışmamızdaki pektin ekstraksiyonunda ideal yöntemin belirlenmesinde sadece verimin en yüksek olduğu ekstraksiyon yöntemi veya koşulları seçilmemiş; pektinin verim dışındaki diğer fizikokimyasal özellikleri de dikkate alınarak ideal ekstraksiyon yöntemi ve koşulları belirlenmiştir.

Ekstraksiyon faktörlerinden ilki olan sıcaklık ile pektin ilişkisi incelendiğinde, sıcaklık artışı ile bitkinin hücre duvarının genişlediği ve yapısındaki bağların zayıfladığı belirtilmektedir. Dolayısıyla pektik bileşikler yüksek sıcaklık uygulamalarında daha kolay çözünebilir hale gelmekte ve verim artmaktadır (Chan ve Choo, 2013; Sayah vd., 2016). Çarkıfelek meyvesi kabuğundan 70 °C, 80 °C, 90 °C ve 98,7 °C farklı sıcaklıklarda pektin ekstrakte edilen bir çalışmada elde edilen verimler sırasıyla %4,39, %6,32, %8,95 ve %14,82 olarak belirtilmiş ve sıcaklık arttıkça verimin arttığı ifade edilmiştir (Kulkarni ve Vijayanand, 2010). Ancak bazı araştırmalarda da artan sıcaklıkla pektin veriminin bir dereceye kadar arttığı; daha sonra sıcaklık arttıkça verimin azalmaya başladığı belirtilmektedir (Mada vd., 2022). Çarkıfelek meyvesi kabuğundan pektin ekstrakte edilen başka bir çalışmada pektin veriminin 120 °C'ye kadar arttığı, ardından sıcaklık arttıkça verimin düştüğü ifade edilmektedir (Pereira vd., 2024). Öte yandan pektinle ilişkili çalışmalarda sıcaklık arttıkça ED'nin düştüğü bildirilmiştir. Bu sebeple literatürdeki çalışmalardan yola çıkılarak geleneksel asit yöntemi için sıcaklık 95 °C olarak belirlenmiştir (Emaga vd., 2008; Kulkarni ve Vijayanand, 2010; Mada vd., 2022; Nguyen vd., 2022; Pereira vd., 2024). Çarkıfelek meyvesi kabuğundan geleneksel yöntemle 30, 45, 60, 90 dakika ekstraksiyon sürelerinde pektin ekstrakte edilmiştir; elde edilen verimler sırasıyla %7,96, %11,52, %14,83, %13,76 olarak ifade edilmiştir. Çalışmada, ekstraksiyon süresinin artmasıyla pektin veriminin arttığı belirtilirken; süre

60 dakikadan 90 dakikaya çıktığında verimde önemli bir fark olmadığı ifade edilmiş ve ideal ekstraksiyon süresi 60 dakika olarak belirtilmiştir (Kulkarni ve Vijayanand, 2010). Dolayısıyla literatürdeki çalışmalardan yola çıkılarak geleneksel asit yöntemi için ekstraksiyon süresi 60 dakika olarak belirlenmiştir. Literatürdeki diğer çalışmalar incelendiğinde ise ultrases destekli ekstraksiyon ile diken kabağından hidroklorik asit kullanılarak farklı süre (20, 30, 40, 50, 60 dakika), farklı sıcaklık (50 °C, 60 °C, 70 °C, 80 °C) ve farklı katı sıvı oranları (20, 30, 40, 50, 60 g/ml) koşullarında pektin ekstrakte edilmiştir. Sonucunda optimal koşulların 40 dakika, 70 °C ve 1:50 katı sıvı oranı olduğu belirtilirken; verimin ise %6,59 oranında olduğu belirtilmiştir. Çalışmada 70 °C’de 60 °C’ye kıyasla daha yüksek verim edilmiştir; ultrases uygulama süresinin ise 40 dakikadan daha fazla sürmesinin verimde bir düşüşe neden olduğu ifade edilmiştir (Ke vd., 2020). Ejder meyvesi kabuğundan ultrases yöntemiyle pektin ekstrakte edilen bir çalışmada ise ideal ultrases uygulama süresi 30 dakika olarak bildirilmiştir (Nguyen ve Pirak, 2019). Literatürdeki çalışmalardan yola çıkarak çalışmamızda ultrases yöntemi için 30 dakika uygulama süresi tercih edilmiştir.

Bir diğer ekstraksiyon faktörü ekstraksiyonun gerçekleştiği ortamın pH değeridir. Literatürdeki çalışmalarda pektinin ED değeri, GalA içeriği, verim ve kalite gibi özelliklerinden dolayı ekstraksiyon ortamının optimum pH değeri 2,0 olarak belirtilmektedir; bu sebeple çalışmamızda ekstraksiyon pH değeri 2,0 olarak seçilmiş ve sabit değişken olarak uygulanmıştır (de Oliveira vd., 2015; Liew vd., 2014; Mada vd., 2022). Öte yandan bazı çalışmalarda pH düştükçe ED ve GalA değerlerinin de düştüğü ifade edilmektedir (Emaga vd., 2008; Kulkarni ve Vijayanand, 2010). Çarkıfelek meyvesinden pH 1,0, 1,5, 2,0 ve 2,5 koşullarında geleneksel yöntemle pektin ekstrakte edilmiş ve elde edilen verimler sırasıyla %7,48, %10,03, %14,80 ve %8,86 olarak ifade edilmiştir (Kulkarni ve Vijayanand, 2010). Farklı meyvelerden 65 °C, 75 °C, 85 °C farklı sıcaklıklarda, 30, 45, 60 dakika farklı ekstraksiyon sürelerinde ve 2,0, 2,5, 3,0 farklı pH’larda ekstraksiyon yapılmıştır ve optimum ekstraksiyon koşullarının 85 °C, pH 2,0 ve 60 dakika olduğu bildirilmiştir (Yadav vd., 2015). Çarkıfelek meyvesi kabuğundan geleneksel yöntemle farklı pH (0,3, 1,0, 2,0, 5,0), farklı süre (10, 30, 60 dakika), 1:30 katı sıvı oranı, nitrik asit ve 85 °C koşullarında pektin ekstrakte edilen bir çalışmada, ideal pH 2,0 olarak ifade edilirken; pH 2,0 iken ekstraksiyon verimi %7,48-10,90 arasında belirtilmiştir. Süre arttıkça verimin arttığı ifade edilmiş; ancak elde edilen pektinlerin ED ve GalA içerikleri de düşünülerek ideal ekstraksiyon süresi 30 dakika olarak bildirilmiştir (de Oliveira vd., 2015).

Bir diğerk ekstraksiyon faktörü ortamın katı sıvı oranıdır. Literatürdeki çalışmalarda bu oran 1:10'nun altında olduğunda verimin düşük olabileceğı ifade edilmektedir; bu durum ise çözücü miktarının pektinin çözünmesi için yetersiz olması ile açıklanabilmektedir (Belkheiri vd., 2021; Kulkarni ve Vijayanand, 2010). Yapılan bir çalışmada çarkıfelek meyvesi kabuğundan geleneksel yöntemle pektin eldesinde 1:10, 1:20, 1:30 ve 1:40 olmak üzere farklı katı sıvı oranları kullanılmıştır. Elde edilen verim 1:10 katı sıvı oranında %1,91, 1:30 katı sıvı oranında ise %14,8 olarak belirtilmiştir ve ideal oran 1:30 olarak ifade edilmiştir (Kulkarni ve Vijayanand, 2010). Çarkıfelek meyvesi kabuğundan 1:30, 1:40 ve 1:50 katı sıvı oranlarında, 121 °C'de, 15, 30, 60 ve 90 dakika boyunca otoklavda pektin ekstraksiyonu yapılan bir başka çalışmada ise verimler %9,40-15,40 arasında değişmiş ve maksimum verim 1:30 katı sıvı oranıyla 60 dakikada elde edilmiştir (Pimisa vd., 2024). Bu sebeple literatüre göre çalışmamızdaki ekstraksiyon ortamının katı sıvı oranı için 1:30 seçilmiş ve sabit değişken olarak uygulanmıştır (Methacanon vd., 2014; Pasandide vd., 2018; Peng vd., 2015; Vo vd., 2024).

Pektin ekstraksiyonunda kullanılan çözücünün türü de önem arz etmektedir (de Oliveira vd., 2015). Gıdalarda kullanımı FDA tarafından genel olarak güvenilir kabul edilen sitrik asit, pektik bileşiklerdeki glikozid bağları kırmada daha etkili olabilmekte, pektinin yapısal özelliklerini koruyabilmekte ve daha düşük molekül ağırlıklı polisakkaritlerin üretimini sağlayabilmektedir. Literatür incelendiğinde patates posasıyla yapılan karşılaştırmalı bir çalışmada geleneksel yöntemle sitrik, asetik, nitrik, hidroklorik asit kullanılmıştır; 90 °C, 60 dakika, pH 2,04 koşulları uygulanmıştır ve en yüksek verim sitrik asit kullanıldığında (%14,34) bulunmuştur (Yang, J. S., vd., 2018). Bu bağlamda uygun bir sürdürülebilir ekstraksiyon yönteminin seçimi hem pektinin verimini en üst seviyeye çıkarmak hem de pektinin biyolojik, reolojik, fizikokimyasal, işlevsel ve yapısal özelliklerini korumak için önem taşımaktadır. Literatür incelendiğinde çilek, ahududu, yaban mersini gibi bitkilere farklı ekstraksiyon yöntemleri uygulanmıştır; ahududu dışındaki meyvelerde geleneksel sitrik asit ekstraksiyonunun, ultrases ve mikrodalga ekstraksiyon yöntemlerine kıyasla daha yüksek verimle sonuçlandığı belirtilmiştir (Muñoz-Almagro, vd., 2021). Bir başka çalışmada ise çarkıfelek meyvesinden üç farklı asit (sitrik, hidroklorik, nitrik) kullanılarak farklı sıcaklıklarda (40-90 °C), farklı pH'larda (1,2-2,6) ve farklı ekstraksiyon sürelerinde (10-90 dakika), kabuklu ve kabuksuz olarak pektin ekstraksiyonu yapılmıştır. Sıcaklık, pH ve ekstraksiyon süresinin pektin verimini etkilediğı, veriminin %10-70 arasında olduğu belirtilmiştir; optimum koşul için sitrik asit kullanımı önerilmiştir (Kliemann vd., 2009). Dondurularak kurutulmuş pomelo

kabuklarından pektin ekstrakte edilen çalışmada pH 3,0, 1:30 katı sıvı oranı ve farklı çözücüler (sitrik asit, asetik asit ve laktik asit) kullanılmıştır; en yüksek pektin verimi (%6,5-9,0) sitrik asit kullanımıyla bulunmuştur (Van Hung vd., 2021). Kakao kabuklarından sitrik ve hidroklorik asit kullanılarak pektin ekstrakte edilmiş ve en yüksek verim (%7,62) sitrik asit kullanıldığında elde edilmiştir (Chan ve Choo, 2013). Pomelo kabuğundan geleneksel yöntemle sitrik asit kullanılarak pektin ekstrakte edilen çalışmada ise verim %14,8 oranında bulunmuştur (Wani ve Uppaluri, 2024). Dolayısıyla literatürdeki çalışmaların ışığında çalışmamızda sitrik asit kullanımı tercih edilmiş ve sabit değişken olarak uygulanmıştır.

5.1.2. Pektinde verim analizi bulguları

Pektin ekstraksiyon sonuçlarımıza göre geleneksel asit ile elde edilen ortalama verim (Tablo 4.1) %15,97 oranındadır. Literatürdeki diğer çalışmalarla kıyaslandığında yüksek bir verim elde edildiği göze çarpmaktadır. Kulkarni ve Vijayanand (2010) çalışmasına göre geleneksel yöntemle sarı çarkıfelek meyvesi kabuğundan 60 dakikada elde edilen verim %14,8 iken çalışmamızdaki verimin daha yüksek olduğu görülmektedir. Ayrıca Tablo 2.6'daki çalışmalar incelendiğinde GE ile elde ettiğimiz pektinin literatürle paralel sonuçlar verdiği göze çarpmaktadır. pH 2,0 ortamında, 75 dakika ekstraksiyon koşullarında aynı renk ve olgunluk düzeyinde bulunan çarkıfelek meyveleri üzerinde yapılan bir çalışmada verimin %14,6 olduğu belirtilmiştir (Liew vd., 2014). Mor çarkıfelek meyvesi kabuğuyla yapılan bir çalışmada geleneksel yöntemle nitrik asit kullanılarak 98 °C'de, pH 2,0, 1:30 katı sıvı oranı ve 60 dakika koşullarında verim %5,28 olarak bulunmuştur (Liang vd., 2022). Mor çarkıfelek meyvesi (*Passiflora edulis* f. *edulis*) kullanılarak yapılan bir başka çalışmada ekstraksiyon çözücüsü olarak sitrik asit kullanılmış, 76 °C, 99 dakika, pH 2,0 ve katı sıvı oranı 1:50 koşullarında elde edilen verim %13,18 olarak hesaplanmıştır (Dao vd., 2021). Yine çarkıfelek meyvesi kabuklarıyla yapılan bir çalışmada çözücü olarak sitrik asit kullanılmış; pH 3,0, 1:30 katı sıvı oranı, 95 °C ve 95 dakika koşullarında pektin verimi %10,9 olarak bildirilmiştir (Pereira vd., 2024). Diğer meyvelerle yapılan pektin ekstraksiyon çalışmalarında ise elma posası kullanılarak pH 2,0, 80 °C, 4 saat, 1:20 katı sıvı oranı koşullarında verim %10,3 olarak bulunmuştur (Li vd., 2014). Karpuz çekirdeği kabuğuyla yapılan bir çalışmada ekstraksiyon pH 1,0, 90 °C, 2 saat, 1:20 katı sıvı oranı koşullarında gerçekleştirilmiş ve verim %17,6 olarak belirtilmiştir (Jiang vd., 2012). Ejder meyvesi kabuğundan geleneksel yöntemle 60 dakika, 75 °C, pH 2,0, 1:30 katı sıvı oranı ve sitrik asit koşullarında pektin ekstrakte edilen

çalışmada verim %12,35 olarak bulunurken; sıcaklık arttıkça verimin arttığı ifade edilmiştir (Nguyen ve Pirak, 2019). Greyfurt kabuğuyla yapılan çalışmada koşullar pH 1,5, 80,01 °C, 90 dakika, 1:50 katı sıvı oranı olarak belirlenmiş ve verim %11 oranında bildirilmiştir (Wang vd., 2015). Greyfurt kabuğu ile yapılan bir başka çalışmada ise pH 2,5, 80 °C, 90 dakika ve 1:30 katı sıvı oranı koşullarında elde edilen verim %10,06 oranında belirtilmiştir (Polanco-Lugo vd., 2019). Literatürde çarkıfelek meyvesi dışında birçok meyveden farklı ekstraksiyon koşulları ile pektin ekstraksiyonu denemesi yapılmıştır. Bu denemeler ve pektin verimlerine ilişkin çalışmalar Tablo 2.3 ve Tablo 2.4'te özetlenmiştir. Çalışmamızda ekstraksiyon yöntemleri katı sıvı oranı, çözücü türü ve ortam pH değeri sabit tutularak değiştirilmiştir ve sonuçta pektin veriminden öte diğer fizikokimyasal özellikler araştırılmıştır.

İkinci ekstraksiyon yöntemi mikrodalga destekli pektin ekstraksiyonudur. Çalışmamızın sonucunda elde ettiğimiz ortalama verimin Tablo 4.1 incelendiğinde %14,77 oranında olduğu görülmektedir. Seixas vd. (2014) çalışmasında sarı çarkıfelek meyvesi kabuklarına (*P. edulis* f. *flavicarpa*) farklı ekstraksiyon süresi ve gücüyle mikrodalga destekli ekstraksiyon uygulanarak pektin eldesi için asetik, nitrik ve tartarik asit kullanılmıştır. Çalışmanın sonucunda 628 W ve 9 dakika uygulama süresinde en yüksek verimin elde edildiği bildirilmiştir. Asetik, nitrik ve tartarik asit kullanımıyla sırasıyla; %12,9, %13 ve %18,2 oranında pektin verimi elde edilmiştir. Bu bağlamda tartarik asit yüksek pektin verimine rağmen düşük oranda ED ve saflık sergilemiştir; dolayısıyla asetik ve nitrik asitle elde edilen pektinin daha iyi özellikler sunduğu belirtilmiştir. Çalışmamızda 9 dakika, 600 watt uygulamayla elde edilen verimin %14,77 olduğu düşünüldüğünde bu çalışmaya kıyasla daha yüksek verimin elde edildiği görülmektedir. Asit türü, çarkıfelek meyvesinin türünün farklı olması gibi koşulların, verimi etkileyebileceği düşünülse de çalışmamızda mikrodalga yöntemi kullanarak elde ettiğimiz pektin veriminin literatürdeki diğer çalışmalarla benzer sonuçlar verdiği Tablo 2.7'de göze çarpmaktadır. Tablo 2.7 incelendiğinde yapılan çalışmalardaki yüksek pektin veriminin (%18,73) pH, katı sıvı oranı gibi faktörlerden kaynaklanabileceği düşünülmektedir (Dao vd., 2021). Diğer bitkilerden pektin ekstraksiyonu çalışmaları incelendiğinde; elma posasından mikrodalga destekli ekstraksiyon ile elde edilen pektinin en yüksek verimi %15,75 olarak belirtilmiştir (Wang vd., 2007). Çalışmamızla kıyaslandığında aradaki verim farkının hem bitkinin türünden hem de ekstraksiyon koşullarından kaynaklanabileceği düşünülmektedir. Karpuz çekirdeği kabuğuyla yapılan çalışmada mikrodalga yöntemi ve geleneksel yöntem kıyaslanmıştır; en yüksek verimin

600 W ve 6 dakika koşullarında elde edildiği ancak ekstraksiyon süresi uzadığında pektinin çok fazla hidroliz olmasından ötürü verimin düşmeye başladığı belirtilmiştir. Mikrodalgayla elde edilen verimlerin (%19,1-19,6) geleneksel yöntemle kıyasla daha yüksek olduğu ifade edilmiştir (Jiang vd., 2012). Çalışmamızdaki mikrodalga yöntemiyle elde edilen pektin verimleri, literatürdeki çalışmalarla kıyaslandığında benzer sonuçların elde edildiği görülmektedir.

Seçilen üçüncü ekstraksiyon yöntemi ultrases destekli pektin ekstraksiyonudur. Çalışmamızdaki ultrases yönteminin ortalama verimi %10,98 olarak hesaplanmıştır (Tablo 4.1). de Oliveira vd. (2016a) çalışmasında sarı çarkıfelek meyvesi (*P. edulis* f. *flavicarpa*) kabuğundan ultrases ile ekstrakte edilen pektinin verimi %7,53-12,67 arasında bildirilmiştir; aynı koşullarda geleneksel yöntem uygulandığında ise pektin veriminin %7,95 olduğu belirtilmiştir. Dolayısıyla ultrases destekli ekstraksiyon yöntemi, geleneksel ekstraksiyona kıyasla pektin verimini 1,6 kat arttıran bir yöntem olarak ifade edilmiştir. Çalışmamızdan elde edilen verim değerlerinin bu çalışmayla paralel olduğu görülmüştür. Tablo 2.8 incelendiğinde yapılan bir çalışmada mor çarkıfelek meyvesinden %6,52 oranında elde edilen verimin çalışmamıza kıyasla daha düşük oranda olduğu görülmektedir (Liang vd., 2022). Sarı (*Passiflora edulis* f. *flavicarpa*) ve mor (*Passiflora edulis* f. *edulis*) olmak üzere iki farklı çarkıfelek meyvesi türünün kabuklarından, haşlama ön işlemlili ve ön işlemsiz koşullar altında ultrases yöntemiyle pektin ekstraksiyonu yapılmıştır. Ekstraksiyon koşulları; pH 2,0, 1:30 katı sıvı oranı, 60 °C sıcaklık, 20 kHz frekans, dört farklı güç yoğunluğu (150, 370, 660 ve 890 W), aralıklı (1,5 saniye açık, 2,5 saniye kapalı) ve 10 dakika ultrases uygulaması olarak belirlenmiştir. İki türden elde edilen pektinlerde haşlama ön işlemi sonucunda daha yüksek verim elde edilmiştir. Haşlama ön işlemi ve ultrases uygulamasıyla elde edilen pektinlerin verimleri sarı çarkıfelek meyvesinde %8,36-13,38 arasında, mor çarkıfelek meyvesinde ise %9,16-13,80 arasında ifade edilmiş ve mor çarkıfelek meyvesinin daha yüksek sonuç verdiği bildirilmiştir. En yüksek verim için ise optimum güç yoğunluğu 660 W olarak belirlenmiştir (Wickramasinghe vd., 2022). Nguyen ve Pirak (2019) çalışmasında ejder meyvesi kabuğundan ultrases yöntemiyle pH 2,0, 1:30 katı sıvı oranı, sitrik asit, 45 °C ve 30 dakika koşullarında elde edilen pektinin verimi %9,38 olarak bildirilmiştir; çalışmada sıcaklık arttıkça verimin arttığı ancak elde edilen pektinin fizikokimyasal özelliklerinin aynı oranda iyileşmediği belirtilmiştir. Bu sonuçlar çalışmamızla da paralel olup çalışmamızdaki ultrases destekli yöntem ile ultrases destekli geleneksel asit yöntemi

karşılaştırıldığında istatistiksel açıdan fark olmasa da verimin ekstraksiyon süresi ve sıcaklığı yükseldikçe arttığını doğrulamaktadır.

Seçilen son ekstraksiyon yöntemi ise geleneksel ve ultrases yönteminin birlikte kullanıldığı yöntemdir. Bu ultrases destekli geleneksel asit yönteminde pektin verimi bakımından sinerji oluşmuş ve tek başına ultrases uygulamasına göre sayısal olarak daha yüksek oranda verim elde edilmiştir. Tablo 4.1’de görüldüğü üzere 30 dakika geleneksel ve 30 dakika ultrases olarak kombine uygulanan yöntemin sonucunda %14,63 oranında verim elde edilmiştir. Pektin ekstraksiyonu çalışmalarında iki ya da daha fazla teknolojinin kullanımı sinerjik bir etki yaratmaktadır. Bu bağlamda literatür incelendiğinde mor çarkıfelek meyvesine; geleneksel, ultrases, buhar patlama yöntemi ön işlem olarak uygulanan geleneksel, ultrases ve buhar patlama yöntemi ön işlem olarak geleneksel ekstraksiyon olmak üzere dört farklı ekstraksiyon yöntemi uygulanmıştır. Elde edilen pektinlerin verimleri sırasıyla %5,28, %6,52, %9,93, %10,72 olarak ifade edilirken; en yüksek verimin üç yöntemin birleşiminden elde edildiği ifade edilmiştir. Çalışmamızdan farklı olarak geleneksel yöntem en düşük verim oranına sahipken; çalışmamıza paralel olarak ise farklı yöntemlerin birleşimi verimi arttırmıştır (Liang vd., 2022). Başka bir çalışmada mor çarkıfelek meyvesi kabuğuna uygulanan kombine yöntemde; önce çarkıfelek meyvesi kabuğuna 1:10 katı sıvı oranı, 80 °C ve 2 saat koşullarında geleneksel ekstraksiyon işlemi uygulanmıştır. Ardından 15 dakika süresince 200 W ultrases gücüyle 60 °C’de ultrases destekli ekstraksiyon gerçekleştirilmiştir. Elde edilen pektin verimi çalışmamızla paralel olarak %12,37 olarak ifade edilmiştir. Ayrıca tek başına uygulanan geleneksel yöntem (%10,21) kıyasla kombine yöntemde daha yüksek verimin elde edildiği bildirilmiştir (Teng vd., 2022). Şeker pancarı posasıyla yapılan bir çalışmada mikrodalga ve ultrases destekli pektin ekstraksiyonu yapılmış ve geleneksel yöntemle kıyaslanmıştır; kombinasyon yapılan yöntemde hem daha yüksek verim hem de daha iyi özellikli pektin elde edilmiştir (Peng vd., 2015). Bir başka çalışmada ise ejder meyvesi kabuğundan üç farklı yöntemle pektin ekstrakte edilmiştir; verim sonuçlarının %3,04-18,94 aralığında olduğu ve sinerjik yöntemle verimin arttığı ifade edilmiştir (Tien vd., 2022). Yapılan bir diğer çalışmada greylift kabuğuna mikrodalga ile ekstraksiyon öncesi ultrases yöntemi ön işlem olarak uygulanmıştır; ardından 1:30 katı sıvı oranı, 30 dakika aralıklı ultrases, 450 W ve 10 dakika olacak şekilde mikrodalga uygulamasıyla ekstraksiyon gerçekleştirilmiştir. Çalışmanın sonucunda elde edilen verimin, iki ayrı yöntemin tek başına uygulanmasına kıyasla daha yüksek olduğu bildirilmiştir. Ancak mikrodalga yöntemiyle elde edilen pektinin verimi

ve kombine yöntemle elde edilen pektinin verimi arasındaki farkın fazla olmaması ve kombine yöntemin uzun sürmesi dikkate alındığında, mikrodalga yöntemi zaman ve güç yönetimi açısından daha kabul edilebilir bulunmuştur. Ayrıca hibrit yöntemlerde ultrases uygulama süresinin önem taşıdığı ve optimum olarak 30-40 dakika arasında olması gerektiği ifade edilmiştir (Bagherian vd., 2011). Bu bulguların ve optimum koşulların çalışmamızın sonuçlarıyla paralel olduğu tespit edilmiştir.

Bu bağlamda literatürde farklı yöntemlerin karşılaştırıldığı çalışmalar incelendiğinde incir kabuğu kullanılarak yapılan ve dört farklı ekstraksiyon yönteminin değerlendirildiği bir çalışmada elde edilen verimler; sıcak su ekstraksiyonunda %6,05, ultraseste %8,7, mikrodalgada %9,3, ultrases ve mikrodalga destekli kombine ekstraksiyonda ise %11,71 oranında ifade edilmiştir (Gharibzahedi vd., 2019). Ultrases yöntemindeki verim artışının sebebinin; ultrasesin hem hücre parçalanmasını sağlayarak kütle transferini arttırdığı hem de meydana gelen kavitasyon kabarcıklarından üretilen enerjinin hücre parçalanmasını sağladığı ve içeriğinin salınmasına yardımcı olduğu düşünülmektedir (Bagherian vd., 2011). Mor çarkıfelek meyvesi kabuğundan enzimatik destekli, ultrases destekli, hidroklorik asit ve alkali destekli geleneksel ekstraksiyon, mikrodalga ve sıcak su destekli ekstraksiyon gibi farklı yöntemlerle elde edilen çözünebilir diyet liflerinin verimleri sırasıyla; %14,35, %8,35, %17,05, %16,32, %11,21 %6,36 olarak bildirilmiştir. Çalışmamızla paralel olarak düşük ve benzer değerde bulunan verimin ultrases yöntemiyle elde edildiği görülmektedir (Song vd., 2024). Yapılan bir diğer çalışmada ise sitrik asit kullanılarak geleneksel, mikrodalga destekli ekstraksiyon ve ultrases destekli ekstraksiyon yöntemleriyle pomelo bitkisinden pektin ekstrakte edilmiştir. 90 °C, 120 dakika, pH 2,0 ve 1:30 katı sıvı koşullarında uygulanan geleneksel yöntemde verim %16,49 olarak bulunurken; 600 W güç, 9 dakika, pH 2,0 ve 1:30 katı sıvı koşullarında uygulanan mikrodalga yönteminde verim %26,63 olarak bulunmuştur. Ultrases yöntemi ise 5,00 mm'lik bir prob, 30 dakika, 70 °C, 100 W, 20 kHz, pH 2,0 ve 1:30 katı sıvı koşullarında uygulanmıştır ve elde edilen verim %21,13 oranında bildirilmiştir. Çalışmada en yüksek verim mikrodalga yöntemiyle elde edilmiştir (Hossain vd., 2024). Elmadan farklı yöntemlerle pektin ekstrakte edilen bir çalışmada verimler; hidroklorik asit kullanılarak geleneksel yöntemde %14, sitrik asit kullanılarak geleneksel yöntemde %22, organik asit (sitrik, askorbik, asetik asit) kullanılarak geleneksel yöntemde %14, mikrodalga yönteminde %17,6 ve ultrases yönteminde %16 olarak ifade edilmiştir. Ayrıca bizim çalışmamızda da istatistiksel açıdan fark olmasa da en yüksek verim, sitrik asidin kullanıldığı geleneksel yöntemle elde edilmiş olup,

ardından mikrodalga yönteminin geldiği görülmektedir ve bu çalışmada da mikrodalga yöntemi vurgulanmaktadır (Mahmoud vd., 2022). Pomelo kabuğundan farklı yöntemlerle pektin ekstrakte edilen bir çalışmada elde edilen verimler; sıcak asit ekstraksiyonunda %15,36, mikrodalga destekli ekstraksiyonda %20,43, ultrases destekli ekstraksiyonda %17,21 ve enzimatik destekli ekstraksiyonda %11,94 olarak ifade edilmiştir. En yüksek verim mikrodalga yöntemi ile en düşük verim ise enzimatik yöntem ile elde edilmiştir (Yu vd., 2024). Mango kabuklarından sitrik asit kullanılarak elde edilen pektinlerin verimleri; geleneksel ekstraksiyonda %21,5, mikrodalga ile ekstraksiyonda %19 ve ultrases ile ekstraksiyonda %8 olarak ifade edilmiştir. Bu sonuçların mikrodalga yönteminde 6 dakika uygulamayla, geleneksel yöntemde ise 60 dakika uygulamayla elde edildiği belirtilerek mikrodalga yöntemine vurgu yapılmıştır (James vd., 2025). Bir çalışmada nitrik asit kullanılarak çarkıfelek meyvesi kabuğundan elde edilen pektinlerin verimleri; geleneksel ekstraksiyonda %10,36, mikrodalga ekstraksiyonunda %9,04, ultrases ekstraksiyonunda ise %6,44 olarak bulunmuştur (Manjula vd., 2024). Çalışmamızla paralel olarak (istatistiksel açıdan fark olmasa da) en yüksek verim geleneksel yöntemle; en düşük verim ise ultrases yöntemiyle elde edilmiştir.

Çalışmamızın sonuçlarına göre aralarında istatistiksel açıdan fark olmasa da ME yöntemiyle UE yöntemine kıyasla daha yüksek oranda verim elde edilmiştir. Mikrodalga yönteminde mikrodalga radyasyonu hücre içi boşluğu genişleterek hücre duvarı matrisini gevşetmekte ve parankimal hücrelerin kopmasına neden olmaktadır, bu sayede de dokular mikrodalgayla daha hızlı bir şekilde açılmaktadır. Dolayısıyla mikrodalga yöntemindeki yüksek verimin sebebi olarak; çözücü ve pektin arasındaki temasın artmasıyla pektin salınımının kolaylaşmış olabileceği düşünülmektedir (Kratchanova vd., 2004; Ling vd., 2023; Misra ve Yadav, 2020; Yu vd., 2024). Literatürde siyah havuç posasından geleneksel, mikrodalga ve ultrases ekstraksiyonu ile elde edilen pektinlerin verimleri sırasıyla 0,22 kg pektin/ kg posa, 0,17 kg pektin/ kg posa ve 0,08 kg pektin/ kg posa olarak ifade edilmiştir; çalışmamızla paralel olarak sayısal anlamda en yüksek verim geleneksel yöntemle en düşük verim ise ultrases yöntemiyle elde edilmiştir. Bununla birlikte yöntemlerin tükettiği güç karşılaştırıldığında sırasıyla 800 W, 550 W, 660 W harcandığı; zaman karşılaştırıldığında sırasıyla 5400 saniye, 300 saniye, 1800 saniye harcandığı; enerji karşılaştırıldığında ise sırasıyla 4320 kJ, 165 kJ, 1188 kJ tüketildiği belirtilmiştir. Pektin birim başına harcanan enerji maliyeti ise sırasıyla 0,41 \$/kg, 0,02 \$/kg, 0,31 \$/kg olarak bildirilmiştir. Çalışmada ultrases ekstraksiyonuna kıyasla pektin elde etmek için hem geleneksel hem de mikrodalga ekstraksiyonu önerilmiştir. Ancak hem düşük işlem

maliyeti hem de kabul edilebilir verimleri ve değerleri düşünüldüğünde mikrodalga ile ekstraksiyon yöntemi en uygun ekstraksiyon yöntemi olarak belirtilmiştir (Misra ve Yadav, 2020). Başka bir çalışmada da greyfurt kabuğundan elde edilen pektinin yüksek verimi geleneksel yöntemle 90 dakikada; mikrodalga yöntemiyle ise aynı orandaki verim 2 dakikada elde edilmiştir. Çalışmamızın literatürle paralel olduğu görülmektedir (Bagherian vd., 2011). Dolayısıyla çalışmamızda dört farklı yöntemle elde edilen pektinlerin arasında verim açısından istatistiksel anlamda fark bulunamamıştır ($p>0,05$). Pektin ekstraksiyonunda ideal yöntemin seçiminde verim bulgularına ek olarak elde edilen pektinlerin fizikokimyasal özellikleri de önem taşımaktadır. Yöntemler arasında istatistiksel açıdan fark saptanmamış olsa da ekstraksiyon sürelerinin GE ve UGE yönteminde 60 dakika, UE yönteminde ise 30 dakika olduğu göze çarpmaktadır. Bu yöntemlere kıyasla ME yönteminin 9 dakika sürmesi ve ME ile elde edilen pektinin fizikokimyasal özellikleri de değerlendirildiğinde mor çarkıfelek meyvesinden pektin ekstraksiyonunda mikrodalga destekli ekstraksiyon yöntemi ön plana çıkmaktadır.

5.1.3. Pektinde nem analizi bulguları

Pektinin higroskopik bir bileşik olduğu bilinmektedir (Haque vd., 2015). Pektinin bu karakteristik özelliği; fizikokimyasal bileşimine, moleküler boyutuna, kristalleşme derecesine, amorf haline ve ortam sıcaklığına göre değişebilmektedir. Pektinin nem içeriği ayrıca çözücünün pH değerinden, pektinin kimyasal bileşiminden ve pektin ile çözücü arasındaki olası etkileşimlerden etkilenebilmektedir (Panchev vd., 2010). Depolanan gıda ürünlerinin nem içeriği, dayanıklılığının önemli bir belirleyicisidir ve düşük nem içeriğine sahip ürünlerin, yüksek nem içeriğine sahip ürünlere kıyasla daha stabil ve daha uzun raf ömrüne sahip oldukları belirtilmektedir (Susanti vd., 2021). Düşük nem ile su aktivitesi içeriği mikroorganizmaların üremesini engellemekte ve pektinin kalitesini bozabilecek pektinaz üretimini önlemeye katkı sağlamaktadır; yüksek nem içeren pektinlerde mikroorganizmalar daha hızlı büyümektedir. Düşük nem içeren pektinler endüstriyel kullanım için daha uygun olmaktadır (Mohamadzadeh vd., 2010).

Tablo 4.2 incelendiğinde çalışmamızdaki pektinlerin nem içeriklerinin %3,80-5,85 aralığında olduğu saptanmıştır. Elde edilen pektinlerin ve ticari pektinin, pektinler için IPPA tarafından belirtilen ve maksimum %12 olan nem sınırını aşmadıkları tespit edilmiştir (Geerkens vd., 2015; Mbaku vd., 2023). Ekstraksiyon yöntemleri dikkate alındığında pektinlerin nem içerikleri arasında istatistiksel olarak bir fark saptanmamış olsa da sayısal olarak nem içerikleri en çoktan en aza GE, ME, UE, ticari pektin, UGE

olarak sıralanmaktadır ($p>0,05$). En yüksek nem içeriğine sahip olan pektin GE ile elde edilmiş olup; en düşük nem içeriğine sahip olan pektin ise UGE ile elde edilmiştir. Dolayısıyla sayısal olarak UGE ile elde edilen pektin, ticari pektine göre daha kaliteli bir özellik sergilemiştir. Elde edilen pektinlerin düşük nem içerikleri, gıda endüstrisi açısından raf ömrü uzun ürünlerin elde edilmesinde umut vadetmektedir. Ayrıca nem içeriklerinin düşük olması ve nem açısından yöntemlerin arasında fark olmaması, doğru bir kurutma işleminin gerçekleştiğini, elde edilen tüm pektinlerin üretim sonrasındaki iyi saklama koşullarını ve standardizasyonunu göstermektedir.

Literatürdeki çalışmalar incelendiğinde; sarı çarkıfelek meyvesi, beyaz ve kırmızı renkli ejder meyvesi kullanılarak geleneksel ve mikrodalga yöntemi ile pektin ekstrakte edilmiştir. Geleneksel yöntemle elde edilen pektinler vakumla kurutulduğunda nem içeriklerinin sırasıyla %5,57, %4,63, %4,96; dondurularak kurutulduğunda ise sırasıyla %2,35, %3,93, %3,76 olduğu bildirilmiştir (Dao, 2021). Mikrodalga yöntemiyle elde edilen pektinler vakumla kurutulduğunda nem içeriklerinin sırasıyla %4,26, %5,66, %5,31; dondurularak kurutulduğunda ise %2,86, %3,39, %4,18 olduğu ifade edilmiştir (Dao, 2021). Dondurarak kurutma yönteminin nem yüzdesini düşürmede etkili olduğu ifade edilirken; ekstraksiyon türlerinin nemi etkilemesi açısından istatistiksel olarak anlamlı bir fark bulunmadığı ifade edilmiştir ($p>0,05$). Ekstraksiyon yöntemi ve nem içeriği ilişkisinin çalışmamızla paralel olduğu bir görülmektedir. Başka bir çalışmada sarı çarkıfelek meyvesinden elde edilen pektinin %6,9 oranında nem içerdiği belirtilirken; ticari turunçgil pektininin %9,9 oranında nem içerdiği belirtilmiştir (Silva ve de Resende, 2023). Bir başka çalışmada ise sarı çarkıfelek meyvesinin kabuğundan (*Passiflora edulis* f. *flavicarpa*) geleneksel ekstraksiyon ile ekstrakte edilen pektinin %8,8 nem içerdiği ifade edilmiştir (Freitas vd., 2020a). Çarkıfelek meyvesi kabuğuyla yapılan bazı çalışmalarda nem içerikleri; %7,2-8,7 (Canteri vd., 2010), %8,3 (Canteri vd., 2012b), %6,61 (de Oliveira vd., 2015) ve %10,2 (de Freitas Pedrosa vd., 2024) olarak belirtilmiştir. Diğer bitkilerden pektin ekstrakte edilen çalışmalar incelendiğinde; yaban mersini kabuklarından geleneksel ve mikrodalga yöntemi ile elde edilen pektinlerin nem içerikleri sırasıyla %6,9 ve %6,5 olarak ifade edilmiştir. Çalışmamızla paralel olarak yöntem açısından nem içerikleri arasında fark olmadığı belirtilmiştir (Mbaku vd., 2023). Farklı mango kabuğu çeşitlerinden elde edilen pektinlerin nem içerikleri %4,9-6,7 arasında ifade edilmiş ve yöntemler arasında bir fark saptanmamıştır (Geerkens vd., 2015). Siyah havuç posasından mikrodalga, ultrases ve geleneksel yöntemle elde edilen pektinlerin nem içerikleri sırasıyla %6,2, %9,4, %5,9 olarak belirtilmiş; yöntemler

arasında anlamlı bir fark bulunmamıştır (Misra ve Yadav, 2020). Farklı ayçiçeği başı atıklarından elde edilen pektinlerin %4,11-4,79 arasında nem içerdiği ifade edilmiş ve örnekler arasında anlamlı bir fark saptanmamıştır (Mohamadzadeh vd., 2010).

Literatür incelendiğinde muz kabuğu, mango kabuğu ve papaya kabuğundan elde edilen pektinlerin nem içeriklerinin sırasıyla %5,67, %3,67, %0,96 olduğu belirtilirken; çalışmamızla paralel olarak benzer sonuçların elde edildiği görülmektedir (Aida ve Zailan, 2019). Mango pektinlerinde %8,1-11,21 (Saravanan ve Jeevitha., 2024; Wathoni vd., 2019), portakal pektinlerinde %10,2-15,3 (Susanti vd., 2021; Yadav vd., 2015), pomelo pektinlerinde %12,14-16,42 (Wani ve Uppaluri, 2024), kivi pektinlerinde %9,3-11,3 (Liu vd., 2024), jak meyvesi pektinlerinde %7,72-14,73 (Begum vd., 2014) ejder meyvesi pektinlerinde %4,37-13,13 (Ismail vd., 2012; Nguyen ve Pirak, 2019; Nurul ve Asmah, 2014; Zaidel vd., 2017), limon pektinlerinde %7,66-9,78 (Filianty vd., 2024; Phayel vd., 2025), yeşil ceviz pektininde %5,11 (Asgari vd., 2020), hardal pektininde %6,52 (Sangpimpa vd., 2025), bamya pektinlerinde %6,1-6,3 (Xiong vd., 2021) arasında nem içeriklerinin olduğu bildirilmiştir. Çalışmamızdaki pektinlerin nem içeriklerinin literatürdeki çalışmalarla uyumlu olduğu görülmektedir.

5.1.4. Pektinde esterleşme derecesi analizi bulguları

ED, pektindeki metille esterleşmiş karboksil gruplarının, metille esterleşmiş ve esterleşmemiş karboksil gruplarının toplamına oranı olarak ifade edilmektedir. Bu parametre pektinin jel oluşturabilme yeteneğini göstermektedir. Pektinin ED'si %50'yi aştığında YMP; %50'den düşük olduğunda ise DMP olarak sınıflandırılmaktadır. YMP, yüksek şeker konsantrasyonlarında ve düşük pH'ta jel oluştururken; DMP kalsiyum veya çok değerlikli katyonlarla çapraz bağlanarak jel oluşturmaktadır (Haque vd., 2025). Pektinin gıda endüstrisindeki uygulamaları, çoğunlukla ED değerine bağlı olarak gerçekleşmektedir (Chandel vd., 2022). Pektinin ED değeri; pektinin kaynağı, bitkinin olgunlaşma aşaması, pektinin kimyasal yapısı, ekstraksiyon yöntemi, süresi, çözücü cinsi, sıcaklığı ve pH'ı gibi pek çok faktörden etkilenmektedir. Literatürdeki çoğu çalışmada ED'nin sıcaklık arttıkça azaldığı ifade edilmektedir (Sayed vd., 2022). Uzun ekstraksiyon süreleri pektinde bulunan metil ester gruplarının karboksil aside parçalanmasına neden olmakta ve ED'yi düşürmektedir (Chandel vd., 2022). Çarkıfelek meyvesi kabuğundan pektin ekstrakte edilen geleneksel yöntemin kullanıldığı bir çalışmada ekstraksiyon sıcaklığı ve süresi arttıkça metoksil değerinin düştüğü; katı sıvı oranının ve pH'ın artmasıyla metoksil değerinin yükseldiği belirtilmektedir (Kulkarni ve Vijayanand,

2010). Çarkıfelek meyvesiyle yapılan başka bir çalışmada nitrik ve sülfürik asit gibi mineral asitlerle genellikle daha yüksek oranda verimin elde edildiği; ancak elde edilen pektinlerin düşük ED değerine sahip oldukları bildirilmiştir. Sitrik asit kullanıldığında ise düşük ayrışma sabiti gibi faktörlerden dolayı üretilen pektin veriminin daha düşük; ancak ED'sinin ve jelleşme özelliklerinin daha iyi olduğu ifade edilmiştir (Yapo, 2009). Meyve olgunlaşırken enzimlerin etkisiyle protopektin pektine dönüşür, ilerledikçe pektinin yapısı bozulabilmektedir. Hücre duvarı polisakkaritlerinin parçalanmasıyla şeker miktarı artmaktadır. Daha yumuşak hale gelen meyvenin metil ester grupları azalırken, serbest karboksil grupları artmakta ve ED değeri düşmektedir (Sakamoto vd., 1993).

Pektinin ED değeri, kromatografi, kütle spektrometrisi, FTIR, FTIR-RAMAN veya diğer spektroskopik yöntemler kullanılarak tespit edilebilmektedir (Willats vd., 2006). Bu bağlamda literatürdeki çalışmalar incelendiğinde ED analizi için FTIR kullanımı kimyasal analizlerle karşılaştırılmıştır. Sonucunda doğruluk ve tekrarlanabilirlik açısından iki yöntem eşdeğer olarak ifade edilmiş; ayrıca FTIR yönteminin çok daha hızlı sonuç verdiği belirtilmiştir (Gnanasambandam ve Proctor, 2000; Kyomugasho vd., 2015; Pappas vd., 2004). Literatürde FTIR yönteminin ED analizinde sıklıkla kullanıldığı ve hesaplamada kullanılan değer aralıklarının çalışmadan çalışmaya değiştiği görülmektedir (Djerri vd., 2025; Jiang vd., 2023; Liew vd., 2016; Mbaku vd., 2023). Bir çalışmada ED için bant aralıklarının $1760-1730\text{ cm}^{-1}$ ve $1630-1600\text{ cm}^{-1}$ arasında belirlendiği ifade edilmektedir (Dao vd., 2021; Kyomugasho vd., 2015). Bizim çalışmamızda da literatürdeki bilgilere göre metille esterleşmiş karboksil grupları için $1700-1750\text{ cm}^{-1}$ aralığı ve metille esterleşmemiş karboksil grupları için ise $1600-1640\text{ cm}^{-1}$ aralığı seçilmiştir (Naqash vd., 2021; Serrafi vd., 2025; Shafie vd., 2019).

Tablo 4.3 ve Şekil 4.1 incelendiğinde pektinlerin ED değerlerinin %59,93-81,41 aralığında olduğu saptanmıştır. Çalışmamızdaki tüm pektinlerin ED değerleri %50'den fazla bulunmuş ve YMP oldukları tespit edilmiştir. Yüksek ED'ye sahip olan pektinler asitliğe duyarlıdır ve yüksek jel oluşturma kapasitesine sahiptir, bu da elde edilen pektinleri gıda endüstrisinde, özellikle yüksek şeker içeriğine sahip ürünler için koyulaştırıcı ve jel oluşturuca özellikleri açısından uygun hale getirmektedir (Coelho vd., 2018; Mellinas vd., 2020). Tablo 4.3'e göre pektinlerin ED değerleri yöntemler dikkate alındığında en yüksekten en düşüğe doğru UE, GE, ME, UGE ve ticari pektin olarak sıralanmaktadır ($p<0,05$). Ticari pektine kıyasla elde edilen pektinlerin daha yüksek oranda ED değerinin olması pektinlerin kaliteleri ve jelleşme özellikleri açısından umut vadetmektedir. de Oliveira vd. (2016a) çalışmasında ultrases ile ekstrakte edilen sarı

çarkıfelek meyvesi kabuğu pektinlerinin ED değerleri %60,36-79,59 arasında bildirilmiştir. Çalışmamızda ise daha yüksek oranda ED değerinin (%81,41) elde edildiği görülmektedir. Seixas vd. (2014) çalışmasında mikrodalga ile elde edilen sarı çarkıfelek meyvesi kabuğu pektinlerinin ED değerleri %50,00-64,56 arasında bildirilmiştir; çalışmamızda ise daha yüksek oranda ED değerinin (%70,16) elde edildiği görülmektedir. Kulkarni ve Vijayanand (2010) yaptığı çalışmada ise geleneksel yöntemle elde edilen sarı çarkıfelek meyvesi kabuğu pektininin ED'si metoksil olarak ifade edilmiş ve 9,6 g/100 g olarak bildirilmiştir; elde edilen pektinin YMP olduğu ifade edilmiştir. Çalışmamızda da paralel olarak GE yöntemiyle YMP elde edilmiştir. Çalışmamızda UGE ile elde edilen pektinde ED %68,99, ticari pektinde ise %59,93 olarak bulunmuştur. Diğer yöntemlere kıyasla daha düşük çıkan bu değerlerin sebebinin ekstraksiyon koşullarındaki sıcaklık ve süre artışıyla pektin yapısındaki bozunmadan kaynaklanabileceği; UE yöntemiyle elde edilen pektinin yüksek ED'sinin sebebinin ise ultrases gücü, daha düşük sıcaklık ve daha kısa ekstraksiyon süresi olabileceği düşünülmektedir (Basak ve Annapure, 2022; de Oliveira vd., 2016a). Ayrıca elde edilen pektinlerin, referans yöntemlere ve ticari pektine kıyasla daha yüksek sonuç vermesi jelleşme yönünden daha kaliteli bir özellik sergilediklerini göstermektedir. Farklı ekstraksiyon yöntemleriyle elde edilen pektinlerin verim analizinde istatistiksel anlamda fark görülmemiş olsa da ED değerindeki farklılıklar daha kısa ekstraksiyon süresine sahip olan ultrases ve mikrodalga yöntemlerini ön plana çıkarmaktadır.

Literatürdeki çalışmalar incelendiğinde çarkıfelek meyvesinden elde edilen pektinlerin ED değerleri %60-80 arasında bulunmuştur (Canteri vd., 2010). Çarkıfelek meyvesi kabuğundan sıcak asit ekstraksiyonuyla elde edilen pektinin ED değeri %52,12 olarak bulunurken; aynı çalışmadaki ticari pektinin ED değeri %51,87 olarak bulunmuştur (Pimisa vd., 2024). Çarkıfelek meyvesi (*Passiflora edulis flavicarpa*) kabuğundan geleneksel yöntemle %0,086 ile %2,91 arasındaki oranlarda sitrik asit kullanılarak 97 °C'de, katı sıvı oranı 1:50 ve 17-102 dakika olacak şekilde farklı ekstraksiyon sürelerinde pektin ekstrakte edilmiştir; pektinlerin ED değerleri %27,52-78,59 arasında değişmiştir (Pinheiro vd., 2008). Çalışmada literatürdeki başka çalışmalarla da paralel olarak sitrik asit konsantrasyonunun ED için önemli bir parametre olduğu ve azaldıkça ED'nin arttığı; ayrıca yüksek ED için ideal ekstraksiyon süresinin 60 dakika olduğu ifade edilmiştir (Hundie ve Abdissa, 2021; Pinheiro vd., 2008). Çarkıfelek meyvesinden (*Passiflora edulis*) farklı sürelerde geleneksel yöntemle elde edilen pektinlerin ED değerleri %71,1-75,6 arasında belirtilmiş; süre arttıkça ED değerinin

düştüğü ifade edilmiştir (Contreras-Esquivel vd., 2010). Sarı çarkıfelek meyvesi (*Passiflora edulis* f. *flavicarpa*) kabuğundan geleneksel yöntemle sitrik asit kullanılarak 60 dakikada elde edilen pektinin ED değeri %88,95 oranında belirtilmiştir (Florentino vd., 2022). Başka bir çalışmada çarkıfelek meyvesi kabuğundan (*Passiflora tripartita* var. *mollissima*) geleneksel yöntemle elde edilen pektinin ED değeri %76,9 olarak ifade edilmiştir (Rentería-Ortega vd., 2023). Bir başka çalışmada çarkıfelek meyvesi kabuğundan nitrik, sülfirik ve sitrik asit kullanılarak ekstrakte edilen pektinlerin ED değerleri %52-70 arasında değişmiştir (Yapo, 2009). Soya, çarkıfelek meyvesi kabuğu ve portakal posasından 90 °C, 45 dakika, hidroklorik asit koşullarında geleneksel yöntemle elde edilen pektinlerin ED değerleri sırasıyla %68,96, %84,17, %60,79 olarak ifade edilmiştir (de Moura vd., 2017). En yüksek ED'ye sahip olan pektinin çarkıfelek meyvesi kabuğundan elde edildiği göze çarpmaktadır. Bir başka çalışmada çarkıfelek meyvesi kabuğundan sitrik asit ile optimize koşullarda elde edilen pektinin ED değeri %45,94 olarak bulunmuştur (Kliemann vd., 2009). Geleneksel yöntemle çarkıfelek meyvesi kabuğundan pektin ekstrakte edilen çalışmalarda ED değerleri nitrik asit kullanıldığında %74 (Canteri vd., 2012b); başka bir çalışmada hidroklorik asit kullanıldığında %71,44 (Simmaky ve Jaanaki., 2014); bir diğer çalışmada ise sitrik asit kullanıldığında %54,78 olarak bildirilmiştir (Liew vd., 2014).

Çarkıfelek meyvesi kabuğuna; geleneksel, ultrases, buhar patlama yöntemi ön işlem olarak uygulanan geleneksel, ultrases ve buhar patlama yöntemi ön işlem olarak geleneksel ekstraksiyon olmak üzere dört farklı ekstraksiyon yöntemi uygulanarak elde edilen pektinlerin ED değerleri sırasıyla; %74,5, %83,4 %59,31, %68,49 olarak ifade edilmiştir (Liang vd., 2022). Çalışmadaki sonuçların ve sıralamasının, çalışmamızla oldukça benzer olduğu göze çarpmaktadır; Tablo 4.3 incelendiğinde çalışmanın sonuçlarının, bizim çalışmamızdaki UE pektininin ED değerine (%81,41), GE pektininin ED değerine (%70,82), UGE pektininin ED değerine (%68,99) oldukça yakın olduğu gözlenmiştir (Liang vd., 2022). Başka bir çalışmada sarı çarkıfelek meyvesi kabuklarından (*Passiflora edulis* f. *flavicarpa* L.) sitrik asit kullanılarak ultrases yöntemiyle elde edilen pektinin ED değeri %30 olarak ifade edilmiştir (dos Santos vd., 2017). Sarı (*Passiflora edulis* f. *flavicarpa*) ve mor (*Passiflora edulis* f. *edulis*) olmak üzere iki farklı çarkıfelek meyvesi türünün kabuklarından nitrik asit kullanılarak farklı güç yoğunluklarının (150, 370, 660 ve 890 W) uygulanmasıyla ultrases yöntemi ile pektin ekstrakte edilmiştir. Sarı çarkıfelek meyvesinden elde edilen pektinlerin ED değerleri sırasıyla %79,17, %78,30, %78,61, %69,08; mor çarkıfelek meyvesinden elde edilen

pektinlerin ED değerleri ise çalışmamızın sonuçlarıyla benzer olarak %85,14, %85,09, %82,99, %78,16 olarak bildirilmiştir. Ayrıca çalışmada ticari turunil pektinin ED değeri %74,53 olarak ifade edilmiştir ve mor çarkıfelek meyvesinden elde edilen pektinlerin ED değerlerinin daha yüksek olduğu göze çarpmaktadır (Wickramasinghe vd., 2022). Literatürdeki çalışmalarda belirttiği gibi bu çalışmada da ultrases yönteminde güç yoğunluğu arttıa ED değerinin azaldığı ifade edilmiştir (de Oliveira vd., 2016a; Wickramasinghe vd., 2022).

Çarkıfelek meyvesi kabuğundan mikrodalga yöntemiyle NaOH kullanılarak pektin ekstrakte edilmiş ve ED değeri %87,4 olarak bildirilmiştir (Quoc ve Pham, 2022). Kırmızı ve beyaz renkli ejder meyvesi, sarı çarkıfelek meyvesi kullanılarak geleneksel ve mikrodalga yöntemi ile elde edilen pektinlerde hem titrasyon hem de FTIR yöntemiyle ED analizi yapılmıştır. Geleneksel yöntemle elde edilen pektinlerin titrasyon sonucundaki ED değerleri sırasıyla %54,61, %57,23, %61,98; FTIR sonucundaki ED değerleri sırasıyla %49,32, %48,70, %54,59 olarak ifade edilmiştir. Mikrodalga yöntemiyle elde edilen pektinlerin titrasyon sonucundaki ED değerleri sırasıyla %45,03, %41,96, %53,27; FTIR sonucundaki ED değerleri ise sırasıyla %36,25, %30,25, %49,13 olarak belirtilmiştir. Titrasyon yönteminin, FTIR analizine kıyasla daha yüksek sonuç verdiği ve çalışmamıza paralel olarak geleneksel ekstraksiyonun, mikrodalga destekli ekstraksiyona kıyasla daha yüksek oranda ED değeri gösterdiği ifade edilmiştir. Ayrıca geleneksel yöntemde çarkıfelek meyvesi için ED'yi etkileyen en etkili parametrenin ekstraksiyon süresi olduğu bildirilmiştir (Dao, 2021). Çarkıfelek meyvesi pektininin, ejder meyvesi pektinine kıyasla daha yüksek ED değerine sahip olduğu göze çarpmaktadır. Bir diğer çalışmada sarı çarkıfelek meyvesi (*Passiflora edulis f. flavicarpa*) kabuğundan ultrases, mikrodalga ve mikrodalga-ultrases ekstraksiyonuyla elde edilen pektinlerin ED değerleri sırasıyla %41,88, %73,09, %64,95 olarak ifade edilmiş ve mikrodalga yönteminin ön plana çıktığı belirtilmiştir (Zhao vd., 2023).

Çarkıfelek meyvesi kabuğundan yüksek hızlı kesme yöntemiyle ekstrakte edilen pektinlerin ED'leri %57,57-79,99 arasında bildirilmiştir (Lin vd., 2021). Başka bir çalışmada çarkıfelek meyvesi kabuğundan derin ötektik clerle elde edilen pektinlerin ED'leri %60,95-65,23 arasında ifade edilmiştir (Huo vd., 2023). Çarkıfelek meyvesi kabuğuna yüksek basınç uygulanarak pektin ekstrakte edilen bir çalışmada, pektinlerin ED'leri %64,66-81,04 arasında (de Oliveira vd., 2016b); bir başka çalışmada ise subkritik su yöntemiyle hidroliz edilmiş çarkıfelek meyvesinden elde edilen pektinlerin ED'leri %55-59 arasında bildirilmiştir (Klinchongkon vd., 2018). Çarkıfelek

meyvesi kabuğundan pH 2,0, 1:30 katı sıvı oranı koşullarında orta düzeyli bir elektrik alan ile elde edilen pektinin ED'si %90,68 olarak belirtilmiştir (de Oliveira vd., 2015).

Diğer bitkilerden pektin ekstrakte edilen çalışmalar incelendiğinde; elmadan pektin ekstrakte edilen bir çalışmada ED değerleri; hidroklorik asit kullanılarak geleneksel yöntemde %63,8, sitrik asit kullanılarak geleneksel yöntemde %63,42, organik asit (sitrik, askorbik, asetik asit) kullanılarak geleneksel yöntemde %64,55, mikrodalga yönteminde %64,8 ve ultrases yönteminde %64,14 olarak bildirilmiştir (Mahmoud vd., 2022). En yüksek ED mikrodalga yöntemiyle elde edilmiştir. Mikrodalga'nın yüksek enerjisiyle hücre duvarını parçaladığı ve ED'yi arttırmış olabileceği düşünülmektedir. Pektinin düşük pH'larda ve mikrodalga işlemiyle çözünmesi esnasında hidrojen veya iyonik bağları kırılmaktadır, pektinin çözünmesi kolaylaşarak ester grupları korunmaktadır ve böylece pektinin ED'si artabilmektedir (Rodsamran ve Sothornvit, 2019). Greyfurt meyvesinden geleneksel, mikrodalga, ultrases, ultrases ve mikrodalga destekli yöntemle pektin ekstrakte edilen bir çalışmada pektinlerin ED değerleri %75,12-82,61 arasında bildirilmiştir. Çalışmada ED'nin mikrodalga gücü ve ısıtma süresindeki artışla birlikte arttığı; ultrases yönteminde ise ED'nin ultrases uygulama süresinin artmasıyla birlikte azaldığı ifade edilmiştir. Ayrıca çalışmada geleneksel yöntemle elde edilen pektinin ED değeri %75,61 olarak belirtilirken; mikrodalga yöntemiyle daha yüksek ED'li pektinin (%79,35) elde edildiği belirtilmiştir (Bagherian vd., 2011). Pomelo kabuğundan pH 2,0 ve sitrik asit kullanılarak geleneksel, mikrodalga, ultrases ve enzim destekli ekstraksiyonla elde edilen pektinlerin ED değerleri sırasıyla; %55,67, %53,34, %51,42, %47,71 olarak ifade edilmiştir. Bu çalışmada çalışmamızla paralel olarak geleneksel yöntemde, mikrodalga yöntemine kıyasla daha yüksek oranda ED değeri elde edildiği görülmüştür (Yu vd., 2024). Pomelo kabuklarından ultrases ile pektin ekstrakte edilen bir çalışmada pektinlerin ED değerlerinin %53,2-69,4 arasında değiştiği; geleneksel yöntemde ise ED'nin %51,5 olduğu ifade edilmiştir (Wani ve Uppaluri, 2024). Sisal atıklarından farklı yöntemlerle ekstrakte edilen pektinlerin ED değerleri, çalışmamızla paralel olarak ultrases yönteminde, geleneksel yöntemle kıyasla daha yüksek bulunmuştur (Yang, Y., vd., 2018). Dolayısıyla literatürdeki bu bilgilere göre; ayrıca Tablo 2.6, Tablo 2.7 ve Tablo 2.8 incelendiğinde çalışmamızda elde edilen pektinlerin ED değerlerinin literatürle uyumlu olduğu görülmektedir.

5.1.5. Pektinde galakturonik asit analizi bulguları

Pektin esas olarak GalA birimleri içermektedir (Haque vd., 2025). Literatürdeki çalışmalarda elde edilen pektinlerin GalA içeriklerindeki farklılar; bitki türü, ekstraksiyon türü ve koşulları (çözücü türü, sıcaklık, süre, pH) gibi faktörlerden kaynaklanabilmektedir (Spinei ve Oroian, 2022). Ayrıca GalA içeriğinin yüksek olması kurutma sıcaklıklarıyla da ilişkilendirilmektedir; 50-100 °C gibi yüksek sıcaklıklardaki ekstraksiyon, bitki kaynağında pektinle bulunan hemiselüloz gibi bazı bileşenlerin hidroliz yoluyla bozunmasına sebep olmaktadır ve bu durumda pektinin daha saf hale gelmesini sağlamaktadır (El-Nawawi ve Shehata, 1987). Pektinin etanol ile saflaştırılması aşamasında pektin molekülündeki nötral şekerler uzaklaştırılabilmekte ve pektinin saflığı artarak daha yüksek GalA içeriğine sahip olabilmektedir (Yanakieva vd., 2012).

Tablo 4.4 incelendiğinde çalışmamızdaki pektinlerin GalA içeriklerinin %54,71-84,27 aralığında olduğu saptanmıştır. IPPA'ya göre pektinlerin en az %35 oranında GalA içermesi gerekmektedir (Filianty vd., 2024; Mada vd., 2022) ve çalışmamızdaki tüm pektinler bu koşulu sağlamaktadır. Öte yandan FAO'ya göre de (Freitas vd., 2021) GE ile elde edilen pektin hariç, diğer tüm pektinler %65'ten fazla GalA içerme koşulunu sağlamaktadır. Tablo 4.4'e göre pektinlerin GalA içerikleri yöntemler dikkate alındığında en çoktan en aza doğru sırasıyla UE, ticari pektin, UGE, ME ve GE olarak sıralanmaktadır ($p < 0,05$). Kulkarni ve Vijayanand (2010) çalışmasında geleneksel yöntemle elde edilen sarı çarkıfelek meyvesi kabuğu pektinlerinin GalA analizi için spektrofotometrik yöntem kullanılmış ve elde edilen GalA miktarı 88,2 g/100 g olarak belirtilmiştir. Çalışmamızdaki GE pektininin GalA miktarının (%54,71) belirtilen çalışmadan daha düşük olduğu görülmektedir. GE ile elde edilen pektinin düşük saflık içeriğinin kullanılan çözücünün ve çarkıfelek meyvesinin türünden kaynaklanabileceği; ayrıca elde edilen pektinin içerisinde nişasta, şeker veya protein kalıntılarının bulunabileceği düşünülmektedir (Wickramasinghe vd., 2022). Seixas vd. (2014) çalışmasında mikrodalga yöntemiyle elde edilen sarı çarkıfelek meyvesi kabuğu pektinlerinin GalA analizi için m-hidroksidifenil yöntemi kullanılmış ve GalA içerikleri %58,50, %62,5 ve %82,3 olarak bildirilmiştir. Çalışmamızdaki ME pektininin GalA içeriğinin (%74,56) bahsedilen çalışmanın ortalamasından daha yüksek olduğu saptanmıştır. Yine kullanılan çözücü türü gibi ekstraksiyon koşullarının, bitki türünün GalA içeriğini etkileyebileceği düşünülmektedir. de Oliveira vd. (2016a) çalışmasında farklı sıcaklıklar ve ultrases enerjileri ile ultrases yöntemiyle elde edilen sarı çarkıfelek meyvesi kabuğu pektinlerinin

GaLA içerikleri m-hidroksidifenil yöntemi ile hesaplanmıştır ve %66,27-76,29 aralığında belirtilmiştir. Çalışmamızdaki UE pektininin GaLA içeriğinin (%84,27) bahsedilen çalışmadan daha yüksek olduğu görülmektedir. UGE yönteminde ise GaLA içeriği %79,53 oranında bulunmuş, literatürde sinerjik yöntemin kullanıldığı çoğu çalışmayla benzer bir sonuç elde edilmiştir. Ancak UE pektininin, UGE pektinine kıyasla daha yüksek oranda GaLA içermesi ekstraksiyonda uzun süre ve yüksek sıcaklığın GaLA içeriğini düşürebileceğini göstermektedir (Bagherian vd., 2011). Ticari pektinin elde edildiği ekstraksiyon koşulları ve safsızlığı düşünüldüğünde yüksek GaLA içeriğine sahip olması literatürle uyumlu sonuçlar vermektedir; ancak UE ile elde edilen pektinin ticari pektinden daha yüksek oranda GaLA içermesi Türkiye koşullarında yetişen mor çarkıfelek meyvesinin kalite özellikleri yönünden umut vadetmektedir.

Literatürdeki çalışmalar incelendiğinde çarkıfelek meyvesinden (*Passiflora edulis*) geleneksel yöntemle 20, 40, 60 dakika olmak üzere farklı ekstraksiyon sürelerinde ve 121 °C’de elde edilen pektinlerin GaLA içerikleri sırasıyla; %70,2, %70,6 %62,2 olarak ifade edilmiştir (Contreras-Esquivel vd., 2010). Başka bir çalışmada sarı çarkıfelek meyvesi kabuğundan (*Passiflora edulis* f. *flavicarpa*) elde edilen pektinlerin GaLA içerikleri %75,2-78,1 arasında belirtilmiştir (Yapo ve Koffi, 2006). Çarkıfelek meyvesi kabuğundan sitrik asit kullanılarak geleneksel yöntemle pektin elde edilen bir çalışmada pektinin GaLA içeriği %68,7; aynı çalışmadaki ticari pektinin GaLA içeriği ise %54,1 olarak bildirilmiştir (Kliemann vd., 2009). Bir başka çalışmada çarkıfelek meyvesi kabuğundan sıcak asit ekstraksiyonu ile elde edilen pektinin ve ticari pektinin GaLA içerikleri sırasıyla %64,72 ve %31,51 olarak ifade edilmiştir (Pimisa vd., 2024). Çalışmamızla paralel olarak ticari pektinin, elde edilen pektinden daha düşük GaLA içeriğine sahip olduğu görülmektedir. Soya, çarkıfelek meyvesi kabuğu ve portakal posasından 90 °C, 45 dakika, hidroklorik asit koşullarında geleneksel yöntemle elde edilen pektinlerin üronik asit içerikleri sırasıyla %18,41, %51,30, %60,45 olarak ifade edilmiştir (de Moura vd., 2017). Bir diğer çalışmada ise nitrik asit kullanılarak çarkıfelek meyvesinden elde edilen pektinlerin üronik asit içerikleri %68-78 arasında değişmiş ve ortalama olarak %75 olarak belirtilmiştir (Canteri vd., 2010). Çarkıfelek meyvesinden geleneksel asit yöntemiyle pektin ekstrakte edilen başka bir çalışmada ise pektinin GaLA içeriği %81,4 olarak ifade edilmiştir (Canteri vd., 2012b).

Yapılan bir çalışmada mor çarkıfelek meyvesi kabuğuna geleneksel ve ultrases yöntemi kombine uygulanmıştır ve elde edilen pektinin GaLA içeriği %60,95; geleneksel yöntemle edilen pektinin GaLA içeriği ise %36,25 olarak belirtilmiştir (Teng vd., 2022).

Çalışmamızla paralel olarak kombine yöntemle elde edilen pektinin GalA içeriği, geleneksel yöntemle kıyasla daha yüksek bulunmuştur. Sarı (*Passiflora edulis* f. *flavicarpa*) ve mor (*Passiflora edulis* f. *edulis*) olmak üzere iki farklı çarkıfelek meyvesi türünden nitrik asit kullanılarak ultrases ile ekstraksiyonda farklı güç yoğunluklarının (150, 370, 660 ve 890 W) uygulanmasıyla pektin ekstrakte edilmiştir. Sarı çarkıfelek meyvesi türünün kabuklarından ekstrakte edilen pektinlerin güç yoğunluklarına göre GalA içerikleri sırasıyla; %70,49, %67,75, %65,38, %65,91; mor çarkıfelek meyvesinden elde edilen pektinlerin GalA içerikleri ise %65,65, %64,95, %61,95, %59,93 olarak belirtilmiştir (Wickramasinghe vd., 2022). Çalışmada ultrases güç yoğunluğu arttıkça GalA içeriğinin düştüğü görülmektedir. Bir başka çalışmada çarkıfelek meyvesi kabuğundan; geleneksel, ultrases, buhar patlama yöntemi ön işlem olarak uygulanan geleneksel, ultrases ve buhar patlama yöntemi ön işlem olarak geleneksel ekstraksiyon olmak üzere dört farklı ekstraksiyon yöntemiyle ekstrakte edilen pektinlerin GalA içerikleri sırasıyla; %78,41, %82,90, %74,66, %81,26 olarak belirtilmiştir (Liang vd., 2022). Çalışmamızdan farklı olarak geleneksel yöntemle elde edilen pektinin GalA içeriği yüksek bulunmuştur; bunun da farklı ekstraksiyon koşulları ve kullanılan cihaz gibi faktörlerden kaynaklanabileceği düşünülmektedir. Ayrıca çalışmadaki GalA içerikleri incelendiğinde çalışmamızdaki UE pektininin (%84,27) ve UGE pektininin (%79,53) GalA içerikleriyle oldukça benzer olduğu ve benzer sıralandığı görülmekte; çalışmamızın literatürle uyumlu sonuçlar verdiği göze çarpmaktadır.

Beyaz ve kırmızı renkli ejder meyvesi, sarı çarkıfelek meyvesi kullanılarak geleneksel ve mikrodalga yöntemi ile pektin ekstrakte edilmiştir. Elde edilen pektinlere yapılan spektrofotometrik GalA analizi sonucunda geleneksel yöntemle elde edilen pektinlerin GalA içerikleri sırasıyla %63,50, %69,46, %78,09 olarak ifade edilirken; mikrodalga destekli yöntemle elde edilen pektinlerin GalA içerikleri sırasıyla %65,20, %60,10, %71,39 olarak ifade edilmiştir. Ticari pektinin ise %66,27 oranında GalA içeriğine sahip olduğu belirtilmiştir. Çalışmada çarkıfelek meyvesinin hem ejder meyvesi pektininden hem de ticari pektinden daha yüksek oranda GalA içeriğinin olduğu görülmektedir. Uzun ekstraksiyon süresinden kaynaklı nötral yan zincirlerin daha fazla parçalanması sebebiyle çalışmamıza zıt olarak geleneksel yöntemle elde edilen pektinin daha yüksek miktarda GalA içerdiği bildirilmiştir (Dao, 2021). Sarı çarkıfelek meyvesi (*Passiflora edulis* f. *flavicarpa*) kabuğundan ultrases, mikrodalga ve mikrodalga-ultrases ekstraksiyonuyla elde edilen pektinlerin GalA içerikleri sırasıyla %34,61, %55,12,

%56,61 oranında bulunmuştur; ultrases yönteminin HG bölgesini bozduğu ve GalA içeriğini azalttığı ifade edilmiştir (Zhao vd., 2023).

Çarkıfelek meyvesi kabuğundan yüksek basınç kullanılarak elde edilen pektinlerin GalA içerikleri %65,49-75,86 arasında ifade edilmiştir (de Oliveira vd., 2016b). Başka bir çalışmada çarkıfelek meyvesi kabuğundan orta düzeyli bir elektrik alan kullanılarak pH 2,0, 1:30 katı sıvı oranı koşullarında elde edilen pektinin GalA içeriği %69,21 olarak belirtilmiştir (de Oliveira vd., 2015). Sarı çarkıfelek meyvesi kabuğundan (*Passiflora edulis* f. *flavicarpa*) yüksek kesmeli karıştırıcı ile pektin ekstrakte edilen bir çalışmada pektinlerin GalA içerikleri %37,73-50,73 arasında ifade edilmiştir (Lin vd., 2021). Bir diğer çalışmada doğal derin ötektik çözücüler ile çarkıfelek meyvesi kabuğundan pektin ekstrakte edilmiştir ve GalA içerikleri %63-74 aralığında bildirilmiştir; aynı çalışmada geleneksel yöntemle elde edilen pektinlerin GalA içerikleri ise %36,2-70 arasında bulunmuştur (Pereira vd., 2024). Çalışma, geleneksel yöntem değerlerinin daha düşük çıkması yönünden çalışmamızla paralellik göstermektedir. Bir başka çalışmada ise çarkıfelek meyvesi kabuğundan derin ötektik çözücüler (prolin-sitrik asit) ve hidroklorik asit kullanılarak ekstrakte edilen pektinlerin GalA içerikleri sırasıyla %59,41 ve %50,24 olarak ifade edilmiştir (Huo vd., 2023). Bu bağlamda tercih edilen pektin ekstrakte etme yöntemleri düşünüldüğünde, çalışmamızda ekstrakte edilen pektinlerin daha yüksek GalA içeriklerine sahip oldukları görülmektedir.

Literatürdeki farklı bitkilerden pektin ekstrakte edilen çalışmalar incelendiğinde, elmadan elde edilen pektinlerin GalA içerikleri hidroklorik asit kullanılarak geleneksel yöntemde %64,10, sitrik asit kullanılarak geleneksel yöntemde %85,82, organik asit (sitrik, askorbik, asetik asit) kullanılarak geleneksel yöntemde %87,58, mikrodalga yönteminde %68,53 ve ultrases yönteminde %64,90 olarak belirtilmiştir (Mahmoud vd., 2022). Pomelo kabuğundan geleneksel, mikrodalga, ultrases ve enzim destekli ekstraksiyon ile elde edilen pektinlerin GalA içerikleri sırasıyla; %67,36, %71,36, %69,62, %56,34 olarak ifade edilmiştir (Yu vd., 2024).

Çalışmamızdaki yüksek GalA değerlerinin; monosakkaritlerle glikozile edilmiş fenoliklerin uzaklaştırılması, ekstraksiyon koşulları, pektinin kaynağı, meyvenin türü gibi parametrelerden kaynaklanabileceği düşünülmektedir. Ayrıca literatürdeki çalışmalara kıyasla GalA içeriğinin yüksek çıkması, kromatografik yöntem yerine spektrofotometrik yöntemin seçilmesinden de kaynaklanabilmektedir (Pereira vd., 2024). Dolayısıyla çalışmamızdaki GalA içeriklerinin literatürle uyumlu olduğu görülmektedir; pektinlerin arasında yüksek GalA içerikleriyle UE ve ME yöntemleri ön plana çıkmaktadır.

5.1.6. Pektinde renk analizi bulguları

Pektin ekstraksiyonunda elde edilen pektinin rengi eklendiği gıdada veya jel üretiminde görünümü etkilediği için önemli bir parametre olarak ifade edilmektedir. Ek olarak pektinin rengi, depolama esnasında pektinde oluşabilecek değişiklikleri saptamak adına bir tarama parametresi olarak da kullanılabilir. Farklı ekstraksiyon yöntemleri, pH, kullanılan asit, süre ve sıcaklık gibi farklı ekstraksiyon koşulları pektinin rengini etkilemektedir (Anoraga vd., 2024; Grassino vd., 2016a; Wongkaew vd., 2020). Literatürde çok renkli pektinlerin çökelme esnasında pektin içinde hapsolmuş polifenol, uçucu yağ, vitamin ya da karotenoid gibi diğer suda çözünür pigmentlerin varlığından etkilenebileceği belirtilmektedir (Anoraga vd., 2024; Baississe vd., 2010; Haque vd., 2025; Kute vd., 2020; Leong vd., 2016). Literatürdeki bazı çalışmalarda L^* değerinin ekstraksiyonun süresi ve sıcaklığı arttığında azaldığı ifade edilmiştir. Araştırmacılar bu durumu ekstraksiyon esnasında meydana gelen Maillard reaksiyonlarına atfetmişlerdir (Constenla vd., 2002; Masmoudi vd., 2012). Öte yandan bazı çalışmalarda da L^* değerinin bu faktörlerle artabileceği belirtilmektedir (Nguyen ve Pirak, 2019).

Tablo 4.5 incelendiğinde pektinlerin L^* , a^* , b^* renk değerlerinin sırasıyla 54,82-90,93, 1,11-17,99, 8,94-14,34 aralıklarında olduğu görülmektedir ($p<0,05$). En beyaz ve parlaklık değeri yüksek olan pektinin ticari pektin, ardından da UE ile elde edilen pektinin geldiği görülürken; kırmızılık değeri en yüksek olan pektinin UE ile edilmiş olduğu, sarılık değeri en yüksek olan pektininse GE ile elde edilen pektin olduğu görülmektedir (Kumari vd., 2023). IPPA'ya göre pektinler genellikle açık renkli olarak belirtilmektedir (Aina vd., 2012). Ancak literatürde ekstraksiyon süresi ve sıcaklığı arttıkça pektin renginin koyulaştığı ifade edilmektedir (Mada vd., 2022). Pektinin düşük saflık değeri, pektinin önemli miktarda nişasta, protein ve şeker içerdiğini gösterebilmekte ve pektinde koyu renge sebep olabilmektedir (Ismail vd., 2012). Çökelme esnasında pektin matrisi içinde sıkışan polifenollerin veya pigmentlerin varlığı sarılık ve kırmızılık değerlerini arttırmakta, açıklık değerini ise azaltmaktadır; çalışmamızda elde edilen pektinleri bu faktörler etkilemiş olabilmektedir (Gharibzahedi vd., 2019). Ek olarak ekstraksiyon sırasında hidroliz sonucu açığa çıkan şekerlerin, asit ve yüksek sıcaklığın etkisiyle karbonize olarak pektin renginin koyulaşmasına neden olabileceği düşünülmektedir (Yang, Y., vd., 2018). Öte yandan UE yöntemi, antosiyanin ve polifenol gibi bazı pigment maddelerin ekstraksiyonunu destekleyebilmekte ve pektin renginin kırmızılık değerini arttırabilmektedir (Grassino vd., 2016a).

Şekil 4.2'ye göre çalışmamızda görsel olarak ME ile elde edilen pektin soluk kırmızımsı, UE ile elde edilen pektin açık pembemsi, UGE ile elde edilen pektin açık pembemsi, GE ile elde edilen pektin açık sarımsı turuncu olarak ifade edilebilmektedir. Bu doğrultuda literatürdeki çalışmalar incelendiğinde; bir çalışmada mor çarkıfelek meyvesi kabuğundan hidroklorik asit ve alkali destekli geleneksel ekstraksiyon, enzimatik, ultrases, mikrodalga, sıcak su destekli ekstraksiyon gibi farklı yöntemlerle elde edilen diyet liflerinin renkleri çalışmamızla paralellik göstermiş olup yönteme göre farklılık göstermiştir ($p<0,05$). Çalışmada diyet liflerinin renkleri sırasıyla; tuğla kırmızısı, pürüzlü suda çözünür bir dokuya sahip açık kahverengi, ince bir yapıya sahip koyu mor, beyazımsı kahverengi, erik kırmızısı, açık kahverengi olarak ifade edilmiştir (Song vd., 2024). Bir çalışmada sitrik asit kullanılarak geleneksel ekstraksiyon ile sarı çarkıfelek meyvesi (*Passiflora edulis* f. *flavicarpa*) kabuklarından elde edilen pektinin rengi kahverengi olarak bildirilirken (Mbaeyi-Nwaoha vd., 2019); başka bir çalışmada sarı çarkıfelek meyvesi kabuğundan elde edilen pektinin rengi karotenoidlerin varlığından kaynaklı olarak sarımsı olarak bildirilmiştir (Freitas vd., 2020a). Literatürde elde edilen pektinlerin renginin beyazdan açık kahverengiye kadar değiştiği, pektin içeriğinin ve bitkinin kaynağının rengi etkilediği belirtilmektedir. Örneğin farklı turunçgil kabuklarından elde edilen pektinlerin farklı renkler verdiği ifade edilirken; portakal kabuğundan kahverengi pektin, limon kabuğundan sarı pektin, kırmızı greyfurt kabuğundan ise altın sarısı pektin üretildiği ifade edilmektedir (Haque vd., 2025). Bir çalışmada sarı (*Passiflora edulis* f. *flavicarpa*) ve mor (*Passiflora edulis* f. *edulis*) olmak üzere iki farklı çarkıfelek meyvesi türünün kabuklarından nitrik asit kullanılarak ekstrakte edilen pektinlerin rengi sırasıyla soluk sarı ve soluk pembe olarak belirtilmiştir (Wickramasinghe vd., 2022).

Sarı, mor ve turuncu çarkıfelek meyvesinin renk değerlerinin incelendiği bir çalışmada sonuçlar birbirinden farklı bulunmuş ve pektin rengini; bitkinin kaynağı, üretildiği toprak ve hasat zamanının etkileyebileceği belirtilmiştir (Dos Reis vd., 2018). Yapılan bir çalışmada dört farklı olgunlaşma aşamasındaki çarkıfelek meyvesinden pektin ekstrakte edilmiştir. Çarkıfelek meyvesinin olgunlaşma seviyesi arttıkça L^* ve b^* değerlerinin daha koyu ve daha az sarı hale geldiği; a^* değerine karşılık gelen kırmızı renk değerinin ise olgunlaşmanın ilerlemesiyle birlikte arttığı ve olgunluğu en iyi ifade eden renk değeri olduğu belirtilmiştir (Nguyen vd., 2022). Literatürdeki bilgilerin ışığında çalışmamızda mor çarkıfelek meyvesi kabuğundan elde edilen pektinlerin ticari pektine kıyasla daha kırmızımsı, sarımsı ve koyu çıkmasının sebepleri arasında

olgunlaşmış mor çarkıfelek meyvelerinin kullanılmış olması bulunmaktadır. Ayrıca mor renkli koyu kabuğa sahip olan çarkıfelek meyvesinden elde edilen pektinin rengi, kabuk renginden etkilenebilmektedir. Dolayısıyla olgunlaşmaya bağlı olarak mor çarkıfelek meyvesinin kabuklarında ana renk verici olarak bulunan antosiyanin gibi renk pigmentlerinin kalmış olabileceği düşünülmektedir. Ek olarak pektinlerin arasındaki bu renk farkı, pektin yüzeylerinin pürüzlülüğünden de kaynaklanabilmektedir. Literatürde ticari pektine kıyasla üretilen pektinlerin genel olarak daha pürüzlü ve parçacıklı yapı sergiledikleri dolayısıyla yapısal olarak proteinler veya polisakkaritler gibi yabancı maddeleri içerebilecekleri belirtilmektedir (Izalin vd., 2016; Muhammad vd., 2014; Pruthi vd., 2006; Tien vd., 2022). Ayrıca bir çalışmada pH ve sıcaklık değiştiğinde özellikle nem transferi boyunca polifenollerin konsantrasyonuna hale geldiği, termal etkiyle birlikte polifenol oksidasyonunun inaktif olmasına rağmen kendi kendine oksidasyon polimerizasyonuna sebep olabileceği ve esmerleşme reaksiyonlarında rol oynayarak renk değerlerini etkileyebileceği belirtilmektedir (Wickramasinghe vd., 2022). Çarkıfelek meyvesi kabuğundan (*Passiflora tripartita* var. *mollissima*) geleneksel yöntemle pektin ekstrakte edilen bir çalışmada pektin filmleri elde edilmiştir ve L^* , a^* , b^* değerleri sırasıyla; 92,12, 11,72, 45,62 olarak ifade edilmiştir (Rentería-Ortega vd., 2023).

Literatürdeki diğer bitkilerden elde edilen pektinler incelendiğinde; ejder meyvesi pektinlerinin L^* , a^* , b^* renk değerleri sırasıyla 63,00-69,8, 9,12-20,06, 4,81-10,06 olarak bildirilmiştir (Du vd., 2024). Çalışmada ejder meyvesi kabuğunun renginin daha kırmızı ve koyu renge sahip olmasından dolayı üretilen pektinin daha kırmızımsı olabileceği ifade edilmiştir (Izalin vd., 2016). Ejder meyvesi kabuğu ile yapılan başka bir çalışmada ultrases yönteminin pektinin L^* değerini arttırdığı belirtilmiştir. Çalışmada L^* değeri geleneksel yöntemle elde edilen pektinde en yüksek bulunmuş ve parlaklığın, ekstraksiyon sıcaklığı arttıkça arttığı ifade edilmiştir. Dolayısıyla ekstraksiyondaki yüksek sıcaklığın ve uzun sürenin suda çözünen bileşenleri yok ettiği ve pektinin saflaşmasıyla daha aydınlık bir pektin renginin oluşmasına yol açtığı belirtilmiştir (Nguyen ve Pirak, 2019). Literatürdeki bu bilgilerin ışığında çalışmamızda en yüksek parlaklık değeri UE yöntemiyle elde edilen pektinin ardından GE ile elde edilen pektinde görülmüştür; bunun sebebi olarak da yukarıdaki faktörlerin etkili olabileceği düşünülmektedir. Bir çalışmada ejder meyvesinden üç farklı ekstraksiyonla elde edilen pektinlerin renkleri kahverengi, açık kahverengi, açık pembe olarak ifade edilmiştir (Ismail vd., 2012). Kividen geleneksel ve ultrases destekli ekstraksiyon ile elde edilen pektinlerin renkleri açık kahverengi olarak bildirilirken (Liu vd., 2024); yaban mersini

kabuklarından geleneksel ve mikrodalga yöntemi ile elde edilen pektinlerin renkleri açık kahverengi olarak bildirilmiştir (Mbaku vd., 2023). Narenciye kabuklarından mineral ve organik asitlerle ekstrakte edilen pektinlerin renklerini, kullanılan asit türünün etkilediği ifade edilmiştir; sitrik ve asetik asitle ekstrakte edilen pektinlerin daha açık renkli ve kehribardan koyu turuncuya kadar değişen bir renkte oldukları belirtilmiştir (Mansor vd., 2025). Çalışmamızdaki sitrik asitle ekstrakte edilen pektinlerin literatürle paralel sonuçlar verdiği görülmüştür. Muz, mango ve papaya kabuğundan sitrik asitle ekstrakte edilen pektinlerin L^* , a^* , b^* renk değerleri sırasıyla muz için 56,47, 5,08, 8,89, mango için 51,13, 1,85, 6,17, papaya için 59,84, 6,25, 17,65 olarak belirtilirken; ticari pektinin renk değerleri sırasıyla 89,17, 1,72, 10,45 olarak belirtilmiştir (Aida ve Zailan, 2019).

Dolayısıyla pektin ekstraksiyonu boyunca meydana gelen amino asit ve indirgen şeker grupları arasındaki Maillard reaksiyonu, yüksek sıcaklıklarında etkisiyle baskın bir esmerleşme reaksiyonunu oluşturabilmektedir. Pektin türleri arasındaki renk farklılıkları; β -eliminasyon oluşumları, fenolik bileşiklerin oksidasyonu, nötr şeker dallarının parçalanması, pektinin iç kısmında bulunan polifenoller, pektin kaynaklarının kabuklarında bulunan farklı renk bileşenleri veya diğer suda çözünür pigmentlerin bulunması gibi faktörlerden kaynaklanabilmektedir (Khamsucharit vd., 2018; Li vd., 2020; Manzocco vd., 2000; Misra ve Yadav, 2020; Shrestha vd., 2020). Ek olarak elde edilen pektinlerin rengini; çevresel faktörlerin, insan hatasının ve deney esnasında çöktürme ve saflaştırma için kullanılan etanol miktarının yeterli olmama olasılığının da etkileyebileceği düşünülmektedir (Aina vd., 2012). Dolayısıyla çalışmamızdaki pektinlerin renk değerlerinin literatürle uyumlu olduğu görülmektedir.

5.1.7. Pektinde su tutma kapasitesi analizi bulguları

Su tutma kapasitesi, nemli bir ürünün santrifüj ile yerçekimi kuvvetine veya sıkıştırmaya maruz kaldığında suyu tutma yeteneği olarak ifade edilmektedir. Bağlı su, hidrodinamik su ve fiziksel olarak hapsedilmiş suyun toplamından oluşmaktadır (Lan vd., 2012). Su tutma kapasitesinin su ve proteinlerin arasındaki ilişki nedeniyle pektin içeriğiyle yakından bağlantılı olduğu belirtilmektedir (İbrahim ve Khalifa, 2015). Ayrıca su, pektini çevreleyerek üç boyutlu ağ yapısı oluşturmakta ve proteinin varlığıyla da jelleşme ve hidrasyon yeteneğini arttırmaktadır (Ishwarya ve Nisha, 2022). Pektinin su tutma kapasitesi; pektinin kaynağı, meyvenin olgunluk aşaması, pektin bileşeninin kimyasal yapısı, serbest hidroksil/karboksil gruplarının sayısı, GalA ve ED değeri, gözenekliliği, parçacık boyutu, iyonik formu, ekstraksiyon koşulları (asit türü, pH,

sıcaklık) ve yöntemi, iyonik gücü, çözeltideki iyon tipi gibi pek çok faktörle ilişkilendirilmektedir. Literatürdeki farklı sonuçlar da bu sebeplerden kaynaklanmaktadır (Bayar vd., 2017; Elleuch vd., 2011; Sangpimpa vd., 2025). Nötr şeker yan zincirlerinin varlığı su tutma kapasitesini arttırabilmektedir (Yang vd., 2022). Ek olarak literatürdeki bilgilerin ışığında pektinin su tutma kapasitesi, bireylerin aldığı kalorileri azaltmada ve yağ sindirimini değiştirmede rol oynamaktadır (de Moura vd., 2017). Su tutma kapasitesi gıdanın hacmini arttırabilmekte, dokusunu ve viskozitesini değiştirebilmektedir. Pektinin su tutma kapasitesi sütlu tatlılar ve yoğurt gibi gıda ürünlerinde sinerezis oranını azaltmaya yardımcı olmaktadır (Haque vd., 2025; Ibrahim ve Khalifa, 2015; Khedmat vd., 2020).

Tablo 4.6 incelendiğinde pektinlerin su tutma kapasitelerinin 5,09-16,06 g su/g pektin aralığında olduğu görülmektedir. Çalışmamızda yüksek değerlerde su tutma kapasitesi sergileyen pektinlerin elde edildiği tespit edilmiştir. Tablo 4.6'ya göre pektinlerin su tutma kapasiteleri yöntemler dikkate alındığında en çoktan en aza doğru ME, UGE, UE, GE ve ticari pektin olarak sıralanmaktadır ($p < 0,05$). Dolayısıyla ticari pektine kıyasla elde edilen pektinler gıda endüstrisi açısından umut vadetmektedir. Yüksek su tutma kapasitesi sayesinde elde edilen pektinlerin pişmiş et veya fırıncılık gibi yüksek viskozite ve doku iyileştirmesi gerektiren ürünlerde potansiyel olarak kullanılacakları düşünülmektedir (Wongkaew vd., 2020). Misra ve Yadav (2020) çalışmasına göre siyah havuç posasından geleneksel, mikrodalga ve ultrases yöntemleriyle elde edilen pektinlerin su tutma kapasiteleri sırasıyla 0,6 g/g, 0,7 g/g ve 0,5 g/g olarak belirtilmiştir. Çalışmamızın sonuçlarının daha yüksek olduğu görülmektedir. Çalışmamızdaki yüksek değerler, uygun pH değeri gibi ekstraksiyon koşullarının sağlanmasıyla iyonik etkileşimin ve hidrojen bağlarının zayıflaması; böylece hidrofilik fonksiyonel grupların ulaşılabilirliğinin artmasıyla açıklanabilmektedir (Wang, S., vd., 2022). Literatürde serbest karboksil gruplarının hidrofilik olmasından dolayı su tutma kapasitesini arttırabileceği belirtilmektedir. Dolayısıyla DMP'ler yüksek serbest karboksil grup içerikleri sayesinde yüksek su tutma kapasitesine katkı sağlayabilmektedir (Han vd., 2025). Çalışmamızdaki ME pektininin en yüksek su tutma kapasitesinin bir nedeninde, diğer yöntemlere kıyasla düşük olan ED değeri olabileceği düşünülmektedir.

Literatürde çarkıfelek meyvesinden elde edilen pektinlerin su tutma kapasiteleriyle ilgili yapılan çalışmalar incelendiğinde; soya, çarkıfelek meyvesi kabuğu ve portakal posasından 90 °C, 45 dakika, hidroklorik asit koşullarında geleneksel yöntemle ekstrakte edilen pektinlerin su tutma kapasiteleri sırasıyla; 6,08 g/g, 11,59 g/g

ve 7,57 g/g olarak ifade edilmiştir (de Moura vd., 2017). Sonuçların çalışmamızdaki sonuçlarla paralel olduğu görülmektedir. Başka bir çalışmada çarkıfelek meyvesi kabuğundan mikrodalga destekli enzimatik ekstraksiyon ve ultra yüksek basınçlı enzimatik ekstraksiyon gibi yöntemlerle elde edilen polisakkaritlerin su tutma kapasiteleri 1,06-3,03 g/g arasında belirtilmiştir (Wu vd., 2024).

Mor çarkıfelek meyvesi kabuğundan enzimatik destekli, ultrases destekli, hidroklorik asit ve alkali destekli geleneksel ekstraksiyon, mikrodalga ve sıcak su destekli ekstraksiyon gibi farklı yöntemlerle elde edilen diyet liflerinin su tutma kapasiteleri sırasıyla; 6,86 g/g, 5,96 g/g, 7,45 g/g, 7,82 g/g, 6,42 g/g, 5,93 g/g olarak ifade edilmiştir (Song vd., 2024). Yapılan çalışmada elde edilen diyet liflerindeki hidrofil gruplarının mükemmel su tutma özelliği sergilediği bu sayede dışkı hacmini arttırarak defekasyon hızını yükselteceği, rektal basıncı azaltacağı ve böylece kabızlığı önleyeceği; ayrıca gıdaların düzenlenmesine fayda sağlayacağı belirtilmiştir (Chen vd., 2023; Song vd., 2024). Ayrıca çalışmada hidroklorik asit ve alkali kullanılarak geleneksel ekstraksiyon yöntemiyle elde edilen diyet liflerinin daha gözenekli ve kabarık yapıda oldukları ve bunun da su tutma kapasitelerinin artmasını sağladığı ifade edilmiştir (Song vd., 2024). Çarkıfelek meyvesi kabuğu posasıyla yapılan bir çalışmada su tutma kapasitesi 13,00 g/g olarak bulunurken (López-Vargas vd., 2013); çarkıfelek meyvesinden farklı yöntemler kullanılarak elde edilen diyet liflerinin su tutma kapasiteleri ise 2,2-3,1 g/g arasında bulunmuştur (Chutia vd., 2024). Başka bir çalışmada sarı çarkıfelek meyvesi kabuğundan elde edilen diyet liflerinin su tutma kapasiteleri 3,7-4,1 g/g olarak bildirilmiştir (Yapo ve Koffi, 2008). Çarkıfelek, mango, guava ve ananas meyvesinin yan ürünlerinden elde edilen diyet liflerinin su tutma kapasiteleri sırasıyla; 13,5 g/g, 6,4 g/g, 10,2 g/g ve 14,6 g/g olarak ifade edilmiştir (Martínez vd., 2012).

Literatürdeki farklı bitkilerden elde edilen pektinlerin su tutma kapasiteleri incelendiğinde ise elmadan farklı ekstraksiyon yöntemleri ve farklı çözücüler kullanılarak elde edilen pektinlerde en yüksek su tutma kapasitesi sitrik asit ile elde edilen pektinde görülmüştür. Çalışmada su tutma kapasitesi ile moleküler ağırlık ve GalA içerikleri arasında doğru korelasyonun olduğu; eşdeğer ağırlıkla ise ters korelasyonun olduğu yani düşük eşdeğer ağırlığa sahip olan pektinin yüksek su tutma kapasitesi değerine sahip olabileceği ifade edilmiştir (Mahmoud vd., 2022). Başka bir çalışmada bamya pektininde 0,21-10,71 g/g arasında bulunan su tutma kapasitesinin moleküler ağırlık ve görünür viskoziteyle doğru orantılı olduğu belirtilmiştir (Xu vd., 2020). Pomelo kabuğundan ultrases ve geleneksel yöntemle elde edilen pektinlerin su tutma kapasiteleri sırasıyla 8,5

g/g ve 6,1 g/g olarak ifade edilmiştir (Wani ve Uppaluri, 2024). Portakal ve turunç kabuğu pektinleri 3,10-24,50 g/g arasında (El Fihry vd., 2022; Hosseini vd., 2019), mandalina kabuğu pektini 8,27 g/g (Duggal vd., 2024), limon kabuğu pektini 6,89 g/g (Chien vd., 2022), mango kabuğu pektinleri 2,7-11,1 g/g arasında (Geerkens vd., 2015; James vd., 2025; Wongkaew vd., 2020), patlıcan kabuğu pektini 6,22 g/g (Kazemi vd., 2019a), yeşil ceviz kabuğu pektini 5,84 g/g (Asgari vd., 2020), ejder meyvesi kabuğu pektinleri 4,08-5,50 g/g arasında (Izalin vd., 2016; Muhammad vd., 2020), hint inciri (*Opuntia ficus indica*) pektinleri 4,84-5,64 g/g arasında (Bayar vd., 2016; Bayar vd., 2017; Bayar vd., 2018) su tutma kapasitesi sergilemiştir.

Çalışmamızda literatürde de bahsi geçtiği şekilde ticari pektinin en düşük su tutma kapasitesine sahip olduğu görülmektedir (Izalin vd., 2016); ticari pektinin yüksek sıcaklıklarda ekstraksiyon işlemine maruz kaldığı düşünülürse literatürdeki bu durum açıklanabilmektedir. Geleneksel yöntemle elde edilen pektinin su tutma kapasitesinin de düşük olması literatürdeki verilerle uyumaktadır (Liu vd., 2024; Wani ve Uppaluri, 2024). Çalışmamızda elde edilen pektinlerin su tutma kapasitelerini ekstraksiyon koşulları, pektinlerin kimyasal bileşimleri ve yapısal farklılıkları gibi faktörlerin etkilemiş olabileceği düşünülmektedir (Elleuch vd., 2011). Dolayısıyla elde edilen pektinlerin su tutma kapasitesi sonuçlarının literatürle uyumlu olduğu görülmektedir.

5.1.8. Pektinde yağ tutma kapasitesi analizi bulguları

Yağ tutma kapasitesi pektinin asetilasyon ve ED değeriyle bağlantılı olarak ifade edilmektedir (de Moura vd., 2017). Literatürde genel olarak yüksek ED'ye sahip olan pektinlerin yüksek yağ tutma kapasitesi sergiledikleri belirtilmektedir (de Moura vd., 2017; Naqash vd., 2021; Zhao vd., 2023). Yüksek yağ tutma kapasitesine sahip olan pektin; emülsifiye etmede, gıda ürünlerini zenginleştirmede, yüksek yağlı gıdaların dokusunu korumada, gıdanın duyuşal özellikleri geliştirmede ve gıdalardaki kaloriyi azaltmada kullanılabilmektedir; dolayısıyla daha iyi bir stabilizatör ve emülgatör etkinliği göstermektedir (Bouaziz vd., 2014; Muhammad vd., 2020). Ek olarak pektinin hem su tutma kapasitesi hem de yağ tutma kapasitesi yüksek ise emülsifiye etme kapasitesinin artacağı, birbirine karışmayan iki sıvının çözünmesini veya dağılmasını kolaylaştıracağı ifade edilmektedir (de Moura vd., 2017; Kumar, M., vd., 2021). Polisakkaritlerin yapısında bulunan bileşiklerin toplam yük yoğunluğunun, kompozisyon farklılığının, kimyasal ve fiziksel yapısının, kalınlığının, hidrofobik doğasının ve yağa olan afinitesinin yağ tutma kapasitesi üzerinde etkili olabileceği belirtilmektedir (Chia ve Chong, 2015;

Khubber vd., 2021; Viuda-Martos vd., 2010). Ek olarak farklı asit kullanımı ve ekstraksiyon yöntemleri de yağ tutma kapasitesini etkilemektedir (Sangpimpa vd., 2025). Yüksek yağ tutma kapasitesine sahip olan pektinler içeceklerde emülsiyon ajanı olarak, çorbalarda, fırın ürünlerinde ve et ürünlerinde dolgu maddesi olarak kullanılabilir (Izalin vd., 2016; Maddakandage Dona, 2019). Düşük yağ tutma kapasitesine sahip olan pektinler ise yağlı bir his vermeyeceği için kızarmış ürünlerde tercih edilebilmektedir (Wongkaew vd., 2020). Ayrıca pektin gibi çözünür diyet lifleri, safra asitleri üzerinde bağlayıcı bir etki göstererek bağırsak lümeninde yeniden emilmelerini önlemekte; bu sayede kolesterolün safra asitlerine dönüşümünü arttırmakta ve kolesterol düşürücü bir etki göstermektedir. Yapılan bir çalışmada, diyet lifinin yağ tutma kapasitesi özelliği ile bağırsak yağını absorbe edebileceği ve böylece yağ emilimini azaltabileceği dolayısıyla kilo kontrolüne yardımcı olarak obezitenin önlenmesini destekleyeceği belirtilmektedir (Jurevičiūtė vd., 2022; Mateos-Aparicio vd., 2020).

Tablo 4.7 incelendiğinde pektinlerin yağ tutma kapasitelerinin 2,73-3,27 g yağ/g pektin aralığında olduğu görülmektedir. Yağ tutma kapasitesi yönünden pektinler yöntemlere göre en yüksekten en düşüğe doğru sırasıyla UE, UGE, GE, ME ve ticari pektin olarak sıralanmaktadır ($p < 0,05$). En düşük yağ tutma kapasitesi ticari pektinde görülürken; farklı yöntemler kullanılarak elde edilen pektinlerin ise daha iyi özellikte olduğu görülmüştür. Literatüre paralel olarak ED değeri en yüksek olan UE pektininin en yüksek yağ tutma kapasitesini ve ED değeri en düşük olan ticari pektinin en düşük yağ tutma kapasitesini sergilediği saptanmıştır. Ancak sıralama tamamen ED ile paralel olmamakta; farklı parametrelerden de etkilenmektedir (de Moura vd., 2017). UGE ve GE pektinlerinin yüksek yağ tutma kapasiteleri, ekstraksiyon işlemiyle pektindeki hidrofobik kalıntının açığa çıkması ve bu durumun yağın fiziksel olarak hapsolmasını arttırmış olabileceği ile açıklanabilmektedir (Mirhosseini ve Amid, 2012). Tablo 4.6 ve Tablo 4.7 incelendiğinde UGE pektinin hem yüksek yağ tutma hem de yüksek su tutma kapasitesi sergilediği görülmüştür; dolayısıyla güçlü bir emülsifiye etme özelliğinin olabileceği düşünülmektedir (de Moura vd., 2017). Xu vd. (2020) çalışmasına göre bamya bitkisi pektinlerinin yağ tutma kapasiteleri 2,84-4,05 g/g arasında bildirilmiştir. Dolayısıyla çalışmamızın sonuçlarıyla uyumlu olduğu görülmüştür.

Literatürde çarkıfelek meyvesinden elde edilen pektinlerin yağ tutma kapasiteleriyle ilgili yapılan çalışmalar incelendiğinde; çarkıfelek meyvesi kabuğu, soya kabuğu ve portakal posasından geleneksel yöntemle elde edilen pektinlerin yağ tutma kapasiteleri sırasıyla; 4,05 g/g, 2,73 g/g ve 2,97 g/g olarak bildirilmiş ve çalışmamızla

paralel olarak ED'si en yüksek çıkan çarkıfelek meyvesi kabuğu pektininin, en yüksek yağ tutma kapasitesine sahip olan pektin olduğu belirtilmiştir (de Moura vd., 2017). Sarı çarkıfelek, beyaz ve kırmızı renkli ejder meyvesinden geleneksel ve mikrodalga yöntemi ile pektin ekstrakte edilmiştir. Geleneksel yöntemle elde edilen pektinlerin yağ tutma kapasiteleri sırasıyla 2,29 g/g, 2,61 g/g, 2,80 g/g olarak ifade edilirken; mikrodalga yöntemiyle elde edilen pektinlerin yağ tutma kapasiteleri ise sırasıyla 3,54 g/g, 2,71 g/g, 3,07 g/g olarak ifade edilmiştir. Ayrıca ticari pektinin yağ tutma kapasitesi 2,84 g/g olarak bildirilmiştir (Dao, 2021). Çalışmamızla paralel değerlerin elde edildiği ve ticari pektine kıyasla çarkıfelek meyvesinden elde edilen pektinin daha yüksek yağ tutma kapasitesine sahip olduğu görülmektedir. Ancak bizim çalışmamızda ME ile elde edilen pektin, GE ile elde edilen pektine göre daha düşük yağ tutma kapasitesine sahiptir; bu durumda GE pektininin, ME pektinine kıyasla daha yüksek düzeyde ED değerinin olması gibi farklı parametrelerle açıklanabilmektedir (Mahmoud vd., 2022). Başka bir çalışmada çarkıfelek meyvesi kabuğundan farklı yöntemlerle elde edilen polisakkaritlerin yağ tutma kapasiteleri 2,32-4,15 g/g arasında bildirilmiştir (Wu vd., 2024).

Çarkıfelek meyvesi kabuğu posasıyla yapılan bir çalışmada yağ tutma kapasitesi 2,03 g/g olarak bulunmuştur (López-Vargas vd., 2013). Çarkıfelek meyvesinden farklı yöntemler kullanılarak elde edilen diyet liflerinin yağ tutma kapasiteleri 3,4-4,1 g/g arasında değişmiştir; en yüksek yağ tutma kapasitesi çalışmamıza paralel olarak ultrases yöntemiyle elde edilmiştir (Chutia vd., 2024). Bir başka çalışmada sarı çarkıfelek meyvesi kabuğundan elde edilen diyet liflerinin yağ tutma kapasiteleri 4,3-5,2 g/g olarak bildirilmiştir (Yapo ve Koffi, 2008). Mor çarkıfelek meyvesi kabuğundan enzimatik destekli, ultrases destekli, hidroklorik asit ve alkali destekli geleneksel ekstraksiyon, mikrodalga ve sıcak su destekli ekstraksiyon gibi farklı yöntemlerle elde edilen diyet liflerinin yağ tutma kapasiteleri sırasıyla 5,86 g/g, 3,84 g/g, 5,49 g/g, 5,52 g/g, 4,68 g/g, 4,22 g/g olarak belirtilmiştir. Çalışmada en düşük yağ tutma kapasitesinin ultrases destekli ekstraksiyon ile elde edildiği ve bunun literatürle çeliştiği ifade edilmiştir (Song vd., 2024). Bir diğer çalışmada ise çarkıfelek, mango, guava ve ananas meyvesinin yan ürünlerinden elde edilen diyet liflerinin yağ tutma kapasiteleri sırasıyla 0,9, 1,6 g/g, 0,7 g/g ve 0,7 g/g olarak bildirilmiştir (Martínez vd., 2012).

Diğer bitkilerden pektin ekstrakte edilen çalışmalar incelendiğinde; elmadan farklı yöntemlerle elde edilen pektinlerin yağ tutma kapasiteleri 0,8-4,4 g/g arasında bulunmuştur ve en yüksek değer mikrodalga yöntemiyle elde edilmiştir. Çalışmada ED değeri en yüksek olan pektinin mikrodalga yöntemiyle elde edildiği ifade edilerek;

çalışmamızla paralel olarak pektinlerin yağ tutma kapasitesi değerleri, pektinlerin metilasyon ve ED değerlerine atfedilmiştir. En yüksek ED'ye sahip olan pektinin en yüksek yağ tutma kapasitesine; en düşük ED'ye sahip olan pektinin ise en düşük yağ tutma kapasitesine sahip olduğu bildirilmiştir (Mahmoud vd., 2022). Ayrıca çalışmada yağ tutma kapasitesi sıralamasında arada kalan yöntemlerin ED değerinden bağımsız olduğu görülmüştür. Bu bağlamda çalışmamızdaki gibi yağ tutma kapasitesi sıralaması sadece ED değerine bağlı olmamakta, farklı parametrelerin etkisiyle değişebilmektedir. Pomelo kabuğundan ultrases ve geleneksel yöntemle elde edilen pektinlerin yağ tutma kapasiteleri sırasıyla 5,45 g/g ve 3,20 g/g olarak belirtilmiştir (Wani ve Uppaluri, 2024). Portakal ve turunc kabukları pektinleri 1,32-1,55 g/g arasında (El Fihry vd., 2022; Hosseini vd., 2019), limon kabuğu pektinleri 1,39-5,11 g/g arasında (Chien vd., 2022; El Fihry vd., 2022), mandalina kabuğu pektini 3,1 g/g (Duggal vd., 2024), ejder meyvesi kabuğu pektinleri 1,24-2,18 g/g arasında (Izalin vd., 2016; Muhammad vd., 2020), mango kabuğu pektinleri 0,81-3,0 g/g arasında (Geerkens vd., 2015; James vd., 2025; Wongkaew vd., 2020); balkabağı pektinleri 1,76-2,51 g/g arasında (Frosi vd., 2024; Maddakandage Dona, 2019), hint inciri (*Opuntia ficus indica*) pektinleri 1,01-1,24 g/g arasında (Bayar vd., 2016; Bayar vd., 2017; Bayar vd., 2018) ve zeytin posası pektinleri 2,99-6,17 g/g arasında (Rubio-Senent vd., 2015) yağ tutma kapasitesi sergilemiştir.

Yağ tutma kapasitesi bitki polisakkaritlerinin kimyasal yapısıyla ilgili teknolojik bir özelliktir ve polisakkaritlerin yüzey özellikleri, genel yük yoğunluğu, kalınlığı ve hidrofobik doğası gibi pek çok faktörden etkilenebilmektedir (Fernández-López vd., 2009; Khubber vd., 2021). Literatürdeki bazı çalışmalarda da görüldüğü üzere ticari pektin daha düşük değerlerde yağ tutma kapasitesine sahip olarak bulunmuştur; ticari pektinin yüksek sıcaklıklarda ekstraksiyon işlemine maruz kaldığı düşünülürse bu durum açıklanabilmektedir. Bu da çalışmamızda elde edilen pektinleri yağ tutma kapasitesi açısından tercih edilebilir kılmaktadır (Duggal vd., 2024; Maddakandage Dona, 2019; Muhammad vd., 2020). Dolayısıyla elde edilen pektinlerin yağ tutma kapasitesi sonuçlarının literatürle uyumlu olduğu görülmektedir.

5.1.9. Pektinde toplam antioksidan kapasitesi analizi bulguları

Serbest radikallerin sebep olduğu oksidatif reaksiyonları yavaşlatan ya da durduran bileşikler antioksidan olarak adlandırılmaktadır. Hidroksil radikallerinin zararlı etkisi çok fazladır; lipid radikallerinin oluşumuna ve yayılmasına, biyolojik zarlardaki yağ asitlerinin oksidasyonuna, oksijen alımına, doymamış lipidlerdeki çift bağların yeniden

düzenlenmesine ve sonunda zar lipidlerinin yıkımına yol açabilmektedir. Bu sebeple, bitkilerden elde edilen düşük sitotoksikiteli antioksidanlar üzerine yapılan araştırmalar önem arz etmektedir (Dalonso ve de Oliveira Petkowicz, 2012). Literatürdeki çalışmalar, antioksidan aktivite gösteren bileşiklerin oksidatif stres nedeniyle oluştuğu varsayılan kanser, kalp damar hastalığı, katarakt ve daha pek çok hastalığın önlenmesinde rol oynadığını ifade etmektedir (Huang vd., 2005; Niki, 2010; Sellappan vd., 2002). Dolayısıyla antioksidanlar, pek çok sağlık faydalarıyla nutrasötikler olarak kabul edilmekte ve lipid peroksidasyonunun potansiyel inhibitörleri olarak gıda endüstrisinde sıklıkla kullanılmaktadır (Deng vd., 2011). Bazı çalışmalarda gıdalardan elde edilen polisakkaritlerin gıda endüstrisinde potansiyel olarak doğal antioksidanlar olabileceği; ayrıca gıda maddelerinin farklı bakteri ve mantar türlerine karşı korunmasında fayda sağlayabileceği ifade edilmektedir (Majhenič vd., 2007). Ek olarak pektinler de dahil olmak üzere pek çok polisakkaritin biyolojik yanıt değiştiricileri olarak işlev görebildiği çalışmalarda belirtilmektedir (Schepetkin ve Quinn, 2006; Yang vd., 2006). Literatürdeki çalışmalar, pektinin hidrojen verici maddesi sebebiyle serbest radikalleri temizleme yeteneğine sahip olduğunu ve serbest radikallerle reaksiyona girerek serbest radikal zincir reaksiyonlarını sonlandırabildiğini göstermektedir (Hu vd., 2022). Bu bağlamda pektinde elektron ve hidrojen verici özellikteki fonksiyonel grupların miktarı arttıkça, -OH bağlarından hidrojen atomu salınımı kolaylaşmakta; bu durum serbest radikallerin uzaklaştırılmasını hızlandırarak pektinin antioksidan kapasitesini arttırmaktadır (Mahmoud vd., 2022). Pektinin toplam antioksidan kapasitesini; hidroksil gruplarının içeriğinin ekstraksiyon işlemi sırasında değişmesi, metilasyon derecesi ve ED, fenolik bileşik ve protein gibi pektin dışı safsızlıklar, GalA içeriği, molekül ağırlığı gibi faktörler etkileyebilmektedir (Asgari vd., 2020; Bayar vd., 2018; del Amo-Mateos vd., 2024; Khubber vd., 2021; Mahmoud vd., 2022; Yan vd., 2023). Literatürdeki bazı çalışmalar ise pektinin metilasyon ve ED değeri ile antioksidan aktivitesi arasında negatif bir korelasyon olduğunu ifade etmektedir (Celus vd., 2018; Chandel vd., 2022; Mahmoud vd., 2022; Wikiera vd., 2022; Yan vd., 2023). Yapılan bir çalışmada, en yüksek antioksidan değerinin, GalA içeriği yüksek ve ED değeri düşük olan pektinle elde edildiği ifade edilmiştir (Bayar vd., 2018; You vd., 2019). Ayrıca pomelo kabuklarından pektin ekstrakte edilen bir çalışmada sitrik ve laktik asitle elde edilen pektinin, asetik asitle elde edilen pektine göre çok daha iyi antioksidan kapasitesi sergilediği belirtilmiştir (Van Hung vd., 2021). Ekstraksiyon yönteminin uygulanma biçimi de antioksidan içeriğini etkilemektedir. Limon kabuğuna aralıklı ve sürekli mikrodalga destekli ekstraksiyon

uygulandığında pektinler sırasıyla %72,6 ve %59,1 DPPH radikal süpürme aktiviteleri sergilemiştir; çalışmada aralıklı ekstraksiyon yaklaşımının biyoaktif bileşenleri daha iyi koruduğu ifade edilmiştir (Wani ve Patidar, 2025). Dolayısıyla ekstraksiyon koşulları, kullanılan çözücünün türü gibi faktörlerde antioksidan kapasitesini etkilemektedir.

Çalışmamızda toplam antioksidan kapasitesi analizinde kullanılan DPPH, oldukça kararlı azot merkezli serbest radikal olup ekstraktlar, bileşikler ve izolatlarda antioksidan kapasitesinin değerlendirilmesinde yaygın olarak kullanılmaktadır. Pektin çözeltisinde DPPH serbest radikali varlığında, pektinin yapısındaki hidrojen verici gruplardan DPPH molekülüne hidrojen atomu transferi gerçekleşmekte ve bu transfer sonucunda DPPH, radikal karakterini kaybetmektedir. Böylece pektin, antioksidan kapasitesi tükenene kadar reaksiyon süresi boyunca ortamda bulunan serbest radikal konsantrasyonunu ve buna bağlı olarak DPPH'in absorbans değerini azaltmaktadır (Bayar vd., 2018). Numunelerdeki antioksidan içeriği ve aktivitesi, DPPH'in etkileşim sonrası kalan miktarının ölçülmesiyle dolaylı olarak saptanmaktadır (Huang vd., 2023). Ancak literatür incelendiğinde bazı çalışmalarda, toplam antioksidan kapasitesi analizinde DPPH yönteminin sıklıkla tercih edilmesine rağmen sonuçların standardizasyonunun olmadığını ifade edilmektedir; ayrıca saf bileşiklerin ve çeşitli bitki ekstraktlarının antioksidan kapasitelerinin kıyaslanmasının zorlaştığı belirtilmektedir (Deng vd., 2011; Gulcin ve Alwasel, 2023; Scherer ve Godoy, 2009). Ek olarak bazı çalışmalarda, Beer yasasına atıfla, spektrofotometrik ölçümlerde en yüksek doğruluğun yaklaşık olarak %20–60 geçirgenliğe karşılık gelen absorbans aralığında elde edildiği belirtilmektedir. Dolayısıyla bu absorbans değerleri dışında olan spektrofotometrik ölçümlerin sorgulanması gerektiği ifade edilmektedir (Deng vd., 2011; Seyhan, 2019; Sharma ve Bhat, 2009). Bu doğrultuda çalışmamızdaki toplam antioksidan analizinde absorbans değerlerinin belirtilen aralıkta olduğu düşünüldüğünde literatürle paralel sonuçların elde edildiği görülmektedir.

Tablo 4.8 incelendiğinde pektinlerin DPPH radikal süpürme aktivitelerinin inhibisyon oranı %39,11-61,02 aralığında bulunmuştur. Ekstraksiyon yöntemleri açısından pektinlerin toplam antioksidan kapasiteleri en yüksekten en düşüğe doğru ME, UGE, GE ve UE olarak sıralanmaktadır ($p < 0,05$). Ticari pektinde ise antioksidan aktivite saptanmamıştır. Dolayısıyla elde edilen pektinlerin kaliteleri ve işlevsellikleri değerlendirildiğinde ticari pektine kıyasla daha üstün bir pektin elde edildiği görülmektedir. Literatürde enzimatik, ultrases ve mikrodalga yöntemleriyle ekstrakte edilen pektinlerin yüksek antioksidan kapasitesi sergiledikleri ifade edilmektedir (Gurev vd., 2023; James vd., 2025). Bazı çalışmalarda ultrases yönteminin pektinin antioksidan

aktivitesini arttırabildiği, bu etkinin ise ultrases uygulaması sırasında pektin yapısındaki hidroksil gruplarının içeriğinde meydana gelen değişimlerden kaynaklanmış olabileceği ifade edilmektedir. Ancak artan ekstraksiyon süresi ve sıcaklık ile pektinlerin antioksidan kapasitelerinin düştüğü belirtilmektedir (Nguyen ve Pirak, 2019). Çalışmamızda ise en düşük toplam antioksidan kapasitesine sahip olan pektinin UE yöntemiyle elde edilmiş olması; ekstraksiyon koşulları, pektinin monosakkarit ve polifenol bileşimi gibi faktörlerden kaynaklanabilmektedir (Chen vd., 2020). Ayrıca UE pektininin yüksek ED değeri, metille esterleşmiş karboksil gruplarının artmasıyla hidrojen verici serbest grupların azalmasına ve bunun sonucunda serbest radikal süpürme aktivitesinin zayıflamasına neden olmuş olabileceğini düşündürmektedir (Wikiera vd., 2022; Yan vd., 2023). Öte yandan çalışmamızdaki ED değeri düşük olan pektinler (UGE ve ME pektinleri), daha yüksek antioksidan kapasitesi sergilemiştir; ME pektininin literatürle paralel sonuçlar verdiği görülmektedir. Aynı zamanda GE pektininin diğer pektinlere göre düşük antioksidan içermesinin sebebi olarak, geleneksel ekstraksiyondaki yüksek sıcaklıkların ve uzun ekstraksiyon sürelerinin ısıya duyarlı fenolik bileşiklerin bozunmasına yol açmış olabileceği düşünülmektedir (Ramli vd., 2014). UGE yönteminde ise pektinin yapısında ekstraksiyon koşullarının etkisiyle daha fazla antioksidan bileşiğin ortaya çıkmasını sağlamış olabileceği düşünülmektedir (Teng vd., 2022).

Literatürdeki çarkıfelek meyvesi kabuğundan ekstrakte edilen pektinlerin toplam antioksidan kapasiteleriyle ilgili yapılan çalışmalar incelendiğinde; soya, çarkıfelek meyvesi kabuğu ve portakal posasından geleneksel yöntemle elde edilen pektinlerin toplam antioksidan kapasiteleri sırasıyla; 29,68, 63,24, 45,92 μM Troloks/g olarak ifade edilmiştir. Çalışmada en yüksek değeri çarkıfelek meyvesi kabuğundan elde edilen pektinin verdiği ve insan metabolizması için önemli bir kaynak olabileceği belirtilmiştir (de Moura vd., 2017). Mor çarkıfelek meyvesi kabuğundan geleneksel, geleneksel ve ultrases yöntemi kombine uygulanarak ekstrakte edilen pektinlerin DPPH radikal süpürme aktiviteleri sırasıyla %47,31 ve %56,42 olarak belirtilmiştir. Çalışmamızla paralel olarak geleneksel yönteme kıyasla, kombine yöntemin antioksidan kapasitesi daha yüksek bulunmuştur (Teng vd., 2022). Çarkıfelek meyvesi kabuğundan sıcak asit ekstraksiyonuyla elde edilen pektinin ve ticari pektinin antioksidan kapasitesi sırasıyla 16,12 $\mu\text{mol TE/g}$ ve 2,93 $\mu\text{mol TE/g}$ olarak ifade edilmiştir (Pimisa vd., 2024). Bir başka çalışmada ise ejder meyvesi kabuğundan elde edilen pektinin 1,53-2,41 $\mu\text{mol TE/g}$ DPPH radikal süpürme aktivitesi gösterdiği bildirilmiştir (Tien vd., 2022). Bir önceki çalışmaya kıyasla çarkıfelek meyvesi kabuğu pektininin daha yüksek antioksidan kapasitesi

sergilediği görülmektedir. Literatürdeki bazı çalışmalar çarkıfelek meyvesi kabuğundan elde edilen pektinlerin yüksek DPPH radikal süpürücü aktivitesini, yükseltilmiş fenolik ve GalA içeriğine, düşük molekül ağırlığına bağlayabilmektedir. Çalışmalarda, yüksek üronik asit içeriğine sahip olan bileşiklerin, üronik asit kalıntılarının polisakkaritlerin yapısal özelliklerini modüle edebildiği ve DPPH radikallerine maruz kaldıklarında hidrojen atomu veya elektron vererek indirgeyici ajanlar olarak etki göstererek yüksek antioksidan kapasitesi sergileyebildiği ve oksidatif stresi etkili bir şekilde azaltabildiği ifade edilmektedir (Basak ve Annapure, 2022; Hu vd., 2018; Kazemi vd., 2019b; Lalminghui ve Jagetia, 2018; Xiong vd., 2021). Bizim çalışmamızda elde edilen pektinlerde antioksidan kapasitesinin GalA içeriğiyle doğrudan orantılı olmaması, antioksidan aktivitenin fenolik içerik, hidrojen verme kapasitesi ve monosakkarit bileşimi gibi birçok faktörden etkilendiğini düşündürmektedir (Wang, M. M., vd., 2022; Wu vd., 2020). Çarkıfelek meyvesi kabuğundan mikrodalga destekli enzimatik ekstraksiyon ve ultra yüksek basınçlı enzimatik ekstraksiyon gibi farklı yöntemlerle elde edilen polisakkaritlerin DPPH radikal süpürme aktiviteleri %59,67-85 arasında bulunmuş ve değerlerin pektin konsantrasyonuna bağlı olarak arttığı bildirilmiştir (Wu vd., 2024). Bir çalışmada çarkıfelek meyvesi kabuğundan subkritik su yöntemiyle ekstrakte edilen pektinlerin DPPH radikal süpürme aktiviteleri %34-45 arasında ifade edilmiştir (Klinchongkon, 2017). Bir diğer çalışmada çarkıfelek meyvesi atıklarından ultrases destekli asit ekstraksiyonuyla elde edilen pektinin DPPH radikal süpürme aktivitesi %60,96 olarak belirtilmiştir (Wang, J., vd., 2022). Mor çarkıfelek meyvesi kabuğundan farklı yöntemler kullanılarak diyet lifi elde edilen bir çalışmada, tüm diyet liflerinin DPPH serbest radikal süpürme aktivitesi %30-66,67 arasında ifade edilmiştir. En yüksek DPPH süpürme aktivitesi enzimatik destekli ekstraksiyonda (%66,67) görülürken; bu durum lifin yüksek indirgen ve toplam şeker konsantrasyonu ile ilişkilendirilmiştir. Mikrodalga yöntemiyle de (yaklaşık %60) yüksek antioksidan kapasiteli diyet lifi elde edilirken; mikrodalga yönteminin en yüksek polifenol ve flavonoid içeriğini sağladığı ifade edilmiştir. Bu iki yöntemin yüksek antioksidan kapasitesi göstermesi; çevre dostu yöntemlerin tercih edilmesinin ekstraksiyondaki verimliliğin artması ve böylece antioksidan kapasitesinin artması ile ilişkilendirilmiştir (Song vd., 2024). Tablo 4.8 incelendiğinde bizim çalışmamızda da literatürdeki çalışmayla paralel olarak mikrodalga yöntemiyle elde edilen pektinin, benzer oranda DPPH radikal süpürme aktivitesi sergilediği görülmektedir. Bunun nedeni olarak mikrodalga enerjisinin, bitki materyali ve çözücü sıcaklığını arttırarak polifenol ve flavonoid salınımını teşvik ettiği; bozunma

sürecinde indirgeyici terminal grupların salınmasının sağladığı düşünülmektedir (Azaroual vd., 2021; Gurev vd., 2023; Mansouri vd., 2022; Song vd., 2024). Çarkıfelek, mango, guava ve ananas meyvesinin yan ürünlerinden elde edilen diyet liflerinin DPPH radikal süpürme aktiviteleri sırasıyla 5,1 $\mu\text{M TE/g}$, 47,1 $\mu\text{M TE/g}$, 15,4 $\mu\text{M TE/g}$ ve 4,8 $\mu\text{M TE/g}$ olarak belirtilmiştir (Martínez vd., 2012).

Literatürde farklı bitkilerden elde edilen pektinlerin toplam antioksidan kapasitesi değerleri incelendiğinde; sitrik asit kullanılarak elma posasından ekstrakte edilen pektinlerin düşük ED değerine sahip olanları, daha yüksek oranda radikal süpürücü özellik göstermiştir (Naqash vd., 2021). Çalışmamızdaki Tablo 4.8 ve Tablo 4.3 incelendiğinde, ED değeri ve toplam antioksidan kapasitesi ilişkisinin literatürle uyumlu olduğu görülmektedir. Elma posasından ultrases ile ekstrakte edilen pektinlerin DPPH % inhibisyon değerleri çalışmamızla benzer şekilde %11,17-30,74 arasında, antioksidan kapasitesi değerleri ise 4,32-18,86 $\mu\text{mol TE/g}$ arasında bildirilmiştir. Mikrodalga ile elde edilen pektinlerin DPPH % inhibisyon değerlerinin %18,21-31,07 arasında olduğu, antioksidan değerlerinin ise 7,85-16,39 $\mu\text{mol TE/g}$ arasında olduğu belirtilmiştir (Gurev vd., 2023). Bir başka çalışmada elmadan farklı yöntemlerle pektin ekstrakte edilmiştir; en yüksek antioksidan kapasitesi çalışmamızla paralel olarak mikrodalga yöntemiyle elde edilen pektinde görülmüştür (Mahmoud vd., 2022). Siyah havuç posasından mikrodalga, ultrases ve geleneksel ekstraksiyonla elde edilen pektinlerin antioksidan içerikleri DPPH yöntemi kullanılarak sırasıyla 60 $\mu\text{M/ml}$ Troloks, 37,6 $\mu\text{M/ml}$ Troloks, 180,1 $\mu\text{M/ml}$ Troloks olarak ifade edilmiştir; çalışmamızla paralel olarak en düşük antioksidan içeriği ultrases yöntemiyle elde edilmiştir (Misra ve Yadav, 2020). Farklı bitkilerin % inhibisyon değerleri incelendiğinde limon kabuğu pektini %82,89 (Chien vd., 2022), pomelo kabuğu pektinleri %50,6-69,6 arasında (Wani ve Uppaluri, 2024; You vd., 2019), ejder meyvesi kabuğu pektini %81,91 (Zaidel vd., 2017), şeker pancarı pektini %48,3 (Xiang vd., 2025), pancar pektinleri %11-22 arasında (RamachandraRao Sonale vd., 2022), mango kabuğu pektinleri %31,8-84 arasında (James vd., 2025; Saravanan ve Jeevitha., 2024), yaban mersini posası pektinleri %44,58-50,91 arasında (Qiao vd., 2024), jak meyvesi pektinleri %60-70 arasında (Xu vd., 2018), amarant yaprakları pektini %69,5 (Mzoughi vd., 2018), bamya pektinleri %51,4-62,8 arasında (Xiong vd., 2021) ve guarana pektini %68,4 (Dalonso ve de Oliveira Petkowicz, 2012) DPPH radikal süpürme aktivitesi sergilemiştir.

Çalışmamızda elde edilen pektinlerin toplam antioksidan kapasitesi sonuçlarının literatürle uyumlu olduğu görülmektedir (Corrêa vd., 2016; Dos Reis vd., 2018; López-Vargas vd., 2013). Literatürdeki sonuçların değişkenliğinin ise antioksidan analiz

yöntemi koşulları ve uygulanması, ekstraksiyon koşulları, bitki kaynağı ve pektin yapısı gibi faktörlerden kaynaklandığı düşünülmektedir. Çalışmalarda çarkıfelek meyvesi kabuğunun biyoaktif bileşikler açısından zengin olduğu belirtilmektedir ve bu kaynaktan elde edilen pektinin gıda endüstrisi için çevre dostu ve güvenilir bir doğal antioksidan kaynağı olabileceği göze çarpmaktadır (Janzantti vd., 2012). Literatürdeki çalışmalarda da görüldüğü üzere ticari pektinin, elde edilen pektinlere göre düşük oranda antioksidan içermesi ekstraksiyon koşullarıyla ilişkilendirilebilmektedir (You vd., 2019). Ayrıca bizim çalışmamızda da ticari pektinde antioksidan kapasitesine rastlanmaması, çarkıfelek meyvesi kabuğundan elde edilen pektin açısından umut vadetmektedir. Pektin ekstraksiyonunun ana amacı, antioksidan aktiviteleri sebebiyle gıda ürünlerinde kullanılması olmasa da çarkıfelek meyvesi kabuğunun ve pektininin yüksek antioksidan kapasitesi pozitif anlamda ek bir amaç taşımaktadır (de Moura vd., 2017).

5.1.10. Pektinde FTIR analizi bulguları

Çalışmamızın sonucunda elde edilen FTIR spektrumlarının detaylı analizi için dalga sayılarının konumlarının incelenmesi gerekmektedir; böylece pektinin yapısal özellikleri belirlenebilmektedir (Kamnev vd., 1998). Ayrıca spektrumda pektinlerin pik bölgeleri birbirine yakın yer almaktadır ve bu durum bazen pik örtüşmesi sebebiyle bazı tanımlama sorunlarına neden olabilmektedir (Szymanska-Chargot ve Zdunek, 2013). 1000-2000 cm^{-1} arasındaki FTIR spektrum bölgesi, pektindeki ana kimyasal fonksiyonel grupları temsil etmektedir ve bu bölgeler sıklıkla farklı pektin tiplerini tanımlamak için kullanılmaktadır (Monsoor vd., 2001; Monsoor, 2005). Çarkıfelek ve ejder meyvesine mikrodalga ile farklı enerjiler (50 W, 150 W, 250 W) uygulanarak pektin ekstrakte edilen bir çalışmada, farklı enerjilerin pektinlerin yapısal görüntüsünde anlamlı bir farklılığa sebep olmadığı ifade edilirken; farklı ekstraksiyon sürelerinin ve farklı katı sıvı oranlarının pektinin yapısal görüntüsünü etkilediği ifade edilmiştir (Dao, 2021). Çalışmamızdaki pektinlerin yapısal özellikleri Tablo 2.1'deki verilere göre incelenmiştir.

Şekil 4.4'teki UE, ME, GE, UGE pektinlerinin ve ticari pektinin verileri incelendiğinde; 3349-3565 cm^{-1} arasında görülen pikler, GalA polimerinin moleküller arası ve molekül içi hidrojen bağları ile yani O-H gruplarının gerilim bandıyla ilişkilendirilmektedir (Gnanasambandam ve Proctor, 2000).

Şekil 4.4'te görülen yaklaşık 2900 cm^{-1} civarındaki 2909-2926 cm^{-1} arasında bulunan pikler, C-H (CH, CH₂ ve CH₃) gerilme ve eğilme titreşim bantlarını içermektedir. Pektin örneklerinde, C-H gerilme titreşimleri sıklıkla daha geniş olan O-H bandının

üzerine bindirilmiş bir bant olarak görülmektedir. Esterleşmiş pektinlerde GalA'nın metil esterleri sebebiyle 2950-2750 cm⁻¹ arasında O-CH₃ gerilme bandı beklenmektedir. Teorik olarak, bu bölgedeki O-CH₃ bantları düşük ve yüksek ED değerine sahip olan pektinleri ayırt etmek için kullanılmaktadır. Fakat geniş bir bölgede oluşan O-H gerilmesinden dolayı, O-CH₃ aktivitesinin maskelendiği ve metoksilasyonun güvenilir bir göstergesi olmadığı belirtilmektedir (Ghoshal ve Negi, 2020; Gnanasambandam ve Proctor, 2000).

1600-1800 cm⁻¹ arasındaki bant, pektin türlerinin tanımlanması ve kıyaslanması ile ilişkilendirilmektedir (Huang vd., 2017; Peng vd., 2015). 1200-1800 cm⁻¹ arasındaki bant ise pektinde karboksil gruplarının varlığını göstermektedir; Şekil 4.4 incelendiğinde çalışmamızdaki pektinlerin karboksil gerilmesine sahip oldukları görülmektedir (Kamnev vd., 1998). Şekil 4.4'te de görüldüğü gibi 1718-1742 cm⁻¹ arasındaki pikler, pektinin GalA zincirinde bulunan ester karbonil gruplarına (C=O) karşılık gelen bantlarla ilişkilendirilmektedir. Şekil 4.3'te görüldüğü üzere elde edilen pektinler ve ticari pektin birbirlerine benzeseler de farklı yoğunlukta pikler sergilemiştir. Bu durum, pektinlerin ED değerlerinin, yapısal özelliklerinin (asetilasyon, türü) ve ekstraksiyon koşullarının farklılığından kaynaklanabilmektedir. Esterleşmiş karboksil gruplarında pik yoğunluğu arttıkça ED'nin arttığı belirtilmektedir (Fellah vd., 2009; Gnanasambandam ve Proctor, 2000; Müller-Maatsch vd., 2016; Nkafamiyaa vd., 2019). Tablo 4.3 ve Şekil 4.4'te de görüldüğü üzere UE pektini, en yüksek ED değerine sahiptir ve diğer pektinlere kıyasla daha yoğun pik sergilemektedir; tam tersi ise ticari pektin en düşük ED değerine sahiptir ve diğer pektinlere kıyasla yoğun olmayan bir pik sergilemektedir. Bu doğrultuda çalışmamızın sonuçlarının literatürle uyumlu olduğu görülmektedir. 1604-1636 cm⁻¹ arasındaki pikler, asimetrik serbest karboksil grubu (COO⁻) gerilim bandına atfedilirken; 1435-1442 cm⁻¹ arasında bulunan pikler ise simetrik serbest karboksil grubu gerilmesine atfedilmektedir. ME, UGE, GE pektinlerinin ve ticari pektinin 1604-1636 cm⁻¹ arasındaki pikleri belli iken UE ile elde edilen pektin pikinin daha az belirgin olduğu görülmekte; bu durum ise UE pektinin ED değerinin yüksek olması ile açıklanabilmektedir. Esterleşmemiş karboksil gruplarının FTIR spektrum görüntüsündeki farklılıklar; pektinin ED değeri, ekstraksiyon koşulları, örnek saflığı ve nem içeriği gibi faktörlere bağlı olarak değişebilmektedir. Bu bölgede pik zayıfladıkça ED değerinin arttığı ifade edilmektedir (Chen vd., 2014; Gnanasambandam ve Proctor, 2000; Kamnev, 1998; Monsoor, 2005; Santos vd., 2020). Çalışmamızdaki pektinlerin FTIR görüntüsü literatürdeki verilerle benzer özellikler sergilemektedir ve farklı ekstraksiyon yöntemlerinin, elde edilen pektinlerin yapısal özelliklerini etkilediği görülmektedir. Literatürdeki bir çalışmada

ekstraksiyon ortamının pH değeri arttıkça esterleşmiş karboksil gruplarının absorbans tepe noktasının azaldığı, esterleşmemiş karboksil grubunun ise arttığı ve pektinin ED değerinin azaldığı ifade edilmiştir (Dao, 2021).

1730-1750 cm^{-1} ve 1600-1650 cm^{-1} arasındaki bantlar pektinin ED değeri için önemlidir; pektinin karakteriyle ilişkili olan bu bant aralıkları, çalışmadan çalışmaya değişebilmektedir (Hosseini vd., 2019; Pappas vd., 2004; Polanco-Lugo vd., 2019; Santiago-Gómez vd., 2025). Bu değerler bizim çalışmamızda ortalama olarak 1730 cm^{-1} ve 1626 cm^{-1} olarak bulunmuştur. Yapılan bir çalışmada ise 1732-1626 cm^{-1} olarak belirtilmiştir (Santiago-Gómez vd., 2025). Dolayısıyla çalışmamızdaki verilerin literatürle uyumlu olduğu görülmüştür.

Şekil 4.4'te de görüldüğü üzere 1364-1442 cm^{-1} arasındaki pikler, çalışmamızdaki pektinlerde $-\text{CH}_3$ grubuna ait banda atfedilmiştir. Bu bantlar, pektinde metil esterlerin olduğunu desteklemektedir (Fellah vd., 2009; Santos vd., 2020). 1400 cm^{-1} yakınlarındaki bantların varlığı, polisakkaritte üronik asit bulunduğunu göstermektedir. Şekil 4.4 incelendiğinde 1399-1406 cm^{-1} arasındaki pikler üronik asit içeriğini desteklemektedir (Li vd., 2017). Literatürdeki bilgilerden yola çıkılarak 1000-1150 cm^{-1} arasındaki bantların, pektindeki HG içeriğinden kaynaklandığı düşünülmektedir. 1045-1074 cm^{-1} arasındaki pikler ise arabinoz, ksiloz ve galaktoz gibi şekerlere karşılık gelen bantlarla ilişkilendirilebilmektedir. Ayrıca elde edilen pektinlerin 1010-1140 cm^{-1} arasında bulunan pikleri, C-O-C (glikozid bağı, eter) ve C-OH gerilim titreşimlerini göstermektedir. Şekil 4.3 incelendiğinde tüm pektinlerde görülen ve yaklaşık olarak 1140 cm^{-1} civarındaki pik, glikozid bağı gerilmesi olarak açıklanabilmektedir (Baum vd., 2017; Kamnev vd., 1998; Santos vd., 2020). Elde edilen pektinlerde bulunan 1010-1100 cm^{-1} arasındaki bantlar, furanozların ve piranozların varlığını göstermektedir (Polanco-Lugo vd., 2019; Wang vd., 2016; Zhang vd., 2013). Şekil 4.4'te görülen yaklaşık 1010-1017 cm^{-1} arasındaki piklerin C-O gerilmesiyle ilişkili olduğu söylenebilmektedir. Bu aralıkta UE pektinindeki pikin, diğer pektinlere kıyasla daha yoğun olduğu; ME ve UGE pektinlerinin pik değerlerinin ise benzer olduğu tespit edilmiştir (Kozioł vd., 2022). Tüm pektinlerde görülen 826-830 cm^{-1} arasındaki pikin α -D-mannopiranoz molekülünün gerilmesine ait olabileceği düşünülmektedir (Dranca ve Oroian, 2019; Wang vd., 2016).

800-1200 cm^{-1} arasında bulunan bölgenin pektin örnekleri için parmak izi bölgesi olduğu ifade edilmektedir, bu bölge pektin ile ilgili pek çok bilgi sağlamaktadır ve yorumlanması kolay olmamaktadır (Chen vd., 2014; Surolia ve Singh, 2022). Şekil 4.3 incelendiğinde, tüm pektinlerin bu bölgede pikler sergilediği ve özellikle ME, GE ve

UGE ile elde edilen pektinlerin bu bölgedeki görüntüsünün birbirine oldukça benzediği tespit edilmiştir. 990-1120 cm^{-1} arasındaki bölge, pektindeki GalA'nın spektral tanımlamasında önem arz ederken; 1100-1200 cm^{-1} arasındaki bölge ise anhidroüronik asidin varlığı ile ilişkilendirilebilmektedir (Ferreira vd., 2001; Nkafamiya vd., 2019). Elde edilen tüm pektinlerin ve ticari pektinin bu aralıkta yoğun pikler sergilediği göze çarpmaktadır. Dolayısıyla elde edilen pektinlerin ve ticari pektinin bant aralıklarının benzerliği, bu bant aralıklarının yorumlanması ve literatürle olan uyumu, elde edilen ürünlerin pektin olduğunu doğrulamaktadır.

5.2. Sonuç ve Öneriler

Bu tezin amacı, mor çarkıfelek meyvesinin endüstriyel olarak atık olan kabuk kısımlarından farklı yöntemler kullanılarak pektin ekstraksiyonunun sağlanması, elde edilen pektin örneklerinin karakterizasyon özelliklerinin araştırılması, elde edilen verimin artırılması, birbirleriyle kıyaslanarak teknolojik ve besinsel yönden en ideal ekstraksiyon yönteminin belirlenmesidir. Bu bağlamda literatürdeki çalışmalardan yola çıkılarak ekstraksiyon koşulları belirlenmiştir; geleneksel asit ile ekstraksiyon, mikrodalga destekli ekstraksiyon, ultrases destekli ekstraksiyon ve ultrases destekli geleneksel asitle ekstraksiyon olmak üzere dört farklı yöntemle pektin ekstraksiyonu gerçekleştirilmiştir. Elde edilen pektin örneklerine; verim, nem, esterleşme derecesi, galakturonik asit değeri, renk, su tutma kapasitesi, yağ tutma kapasitesi ve toplam antioksidan kapasitesi analizleri yapılmış ve sonuçları ticari pektin ile karşılaştırılmıştır. Ek olarak pektin örneklerinin ve ticari pektinin yapısal özellikleri FTIR kullanılarak analiz edilmiştir.

Yapılan bu çalışmada sonuç olarak:

1. Elde edilen pektinlerin verimleri arasında istatistiksel olarak anlamlı bir fark bulunmamıştır ($p>0,05$). Pektinlerin verimleri %10,98-15,97 arasındadır. Sayısal olarak en yüksek pektin verimi GE yöntemi ile 60 dakika, 95 °C, 1:30 katı sıvı oranı, pH 2,0, sitrik asit koşullarında elde edilirken; en düşük pektin verimi UE yöntemi ile elde edilmiştir. UE ve ME gibi çevre dostu ekstraksiyon yöntemleri ile GE yöntemi kıyaslandığında bu yöntemlerin daha kısa işlem süreleri, enerji tüketimleri ve benzer verim oranları göze çarpmaktadır. UGE ve GE yöntemi ile 60 dakikada, UE yöntemiyle 30 dakikada elde edilen verimin, ME yöntemi ile 9 dakikada elde edilmesi mikrodalga yöntemini ön plana çıkarmaktadır.
2. Pektinlerin nem içerikleri arasında istatistiksel olarak anlamlı bir fark bulunmamıştır ($p>0,05$). Pektinlerin nem içerikleri %3,80-5,85 arasındadır.

Sayısal olarak en yüksek nem içeriği GE ile elde edilen pektinde görülürken; en düşük nem içeriği UGE ile elde edilen pektinde görülmüştür. Ticari pektinin ise %4,77 oranında nem içerdiği saptanmıştır. Elde edilen pektinlerin düşük nem içerikleri, kurutma aşamalarının ve saklama koşullarının doğru yapıldığını göstermektedir. Elde edilen pektinler, maksimum olarak belirtilen %12 nem içeriğinin altında kalarak raf ömrü açısından iyi bir kalite özelliği sergilemiştir.

3. Pektinlerin esterleşme dereceleri arasında istatistiksel olarak anlamlı bir fark bulunmuştur ($p<0,05$). Pektinlerin esterleşme dereceleri FTIR analizi ile belirli bant aralıkları kullanılarak hesaplanmıştır. Pektinlerin esterleşme dereceleri %59,93-81,41 arasındadır. En yüksek esterleşme derecesi UE ile elde edilen pektinde, en düşük ise ticari pektinde görülmüştür. ME ile elde edilen pektinde %70,16 ve GE ile elde edilen pektinde ise %70,82 olarak bulunmuştur; UE ve ME yöntemleri ön plana çıkmaktadır. Tüm pektinler, yüksek esterleşme derecesine sahip pektin olarak sınıflandırılmıştır. Bu sebeple pektinlerin düşük şekerli ve diyabetik ürünler için uygun olmayacağı; ancak asidik ortam ve yüksek şeker varlığında güçlü bir jel oluşturabilecekleri düşünülmektedir.
4. Pektinlerin galakturonik asit değerleri arasında istatistiksel olarak anlamlı bir fark bulunmuştur ($p<0,05$). Pektinlerin galakturonik asit değerleri %54,71-84,27 arasındadır. En yüksek galakturonik asit değeri UE ile elde edilen pektinde, en düşük ise GE ile elde edilen pektinde görülmüştür; ME ile elde edilen pektinin ise galakturonik asit değeri %74,56 olarak saptanmıştır. Ticari pektinin galakturonik asit değerinin %84,11 olduğu düşünüldüğünde, UE yönteminde saflaştırmanın iyi yapıldığı ve ticari pektine göre daha üstün özellikli pektinin elde edildiği görülmektedir. Tüm pektinlerin en az %35 oranında galakturonik asit içeriğine sahip olduğu; GE ile elde edilen pektin hariç tüm pektinlerin ise %65'in üzerinde galakturonik asit içerdiği görülmektedir. GE pektini için gelecekteki çalışmalarda saflaştırma aşamalarının daha iyi yapılması gerektiği düşünülmektedir.
5. Pektinlerin renk değerleri arasında istatistiksel olarak anlamlı bir fark bulunmuştur ($p<0,05$). Pektinlerin L^* , a^* , b^* renk değerleri sırasıyla 54,82-90,93, 1,11-17,99, 8,94-14,34 arasındadır. Aydınlik değeri en yüksek ticari pektinde, kırmızılık değeri en yüksek UE pektininde ve sarılık değeri en yüksek GE pektininde saptanmıştır. Dolayısıyla ticari pektin en aydınlık ve beyazımsı rengi sergilerken; elde edilen pektinler soluk kırmızımsı, turuncumsu ve açık pembemsi renkler sergilemiştir. Pektin renklerinin nihai ürünün rengini etkileyeceği

bilinmektedir. Elde edilen pektinlerin, renklerinden dolayı renkli ürünlerde tercih edilebileceği öngörülmektedir. Elde edilen pektinlerin renk değerlerini optimize etmek için pektin çözeltisinde istenmeyen renkleri gidermeye yönelik ekstraksiyon koşullarının iyileştirilmesi gerektiği düşünülmektedir.

6. Pektinlerin su tutma kapasiteleri arasında istatistiksel olarak anlamlı bir fark bulunmuştur ($p<0,05$). Pektinlerin su tutma kapasiteleri 5,09-16,06 g su/g pektin arasındadır. En yüksek su tutma kapasitesi ME ile elde edilen pektinde, en düşük ise ticari pektinde görülmüştür; GE pektininin ise 7,79 g su/g pektin su tutma kapasitesine sahip olduğu saptanmıştır. Pektinlerin yağ tutma kapasiteleri arasında da istatistiksel olarak anlamlı bir fark bulunmuştur ($p<0,05$). Pektinlerin yağ tutma kapasiteleri 2,73-3,27 g yağ/g pektin arasındadır. En yüksek yağ tutma kapasitesi UE ile elde edilen pektinde, en düşük ise ticari pektinde görülmüştür; GE pektininin ise 2,87 g yağ/g pektin yağ tutma kapasitesine sahip olduğu saptanmıştır. Su ve yağ tutma kapasitelerinde GE yöntemine ve ticari pektine kıyasla, elde edilen diğer pektinler daha kaliteli ve işlevsel bir özellik sergilemiştir. Dolayısıyla GE yöntemine göre, çevre dostu ekstraksiyon yöntemlerinin ön plana çıktığı; ME ve UE yöntemlerinin uygulanması ile pektinin özelliklerinin iyileştiği görülmektedir. Mor çarkıfelek meyvesinden elde edilen pektinlerin yüksek yağ ve su tutma kapasitelerinin olduğu saptanmıştır; bu da pektinlerin iyi emülsifiye etme özelliğine sahip olduğunu göstermektedir. UGE pektininin iki analizde de yüksek bir değere sahip olması literatürdeki bilgilerin ışığında güçlü bir emülsiyon yeteneğinin olduğunu düşündürmektedir. Elde edilen pektinlerin yüksek yağ ve su tutma kapasiteleri sayesinde sinerezisi önlemede ve fırıncılık ürünlerinde potansiyel olarak kullanılabilecekleri düşünülmektedir.
7. Pektinlerin toplam antioksidan kapasiteleri arasında istatistiksel olarak anlamlı bir fark bulunmuştur ($p<0,05$). Pektinlerin DPPH radikal süpürme aktivitelerinin % inhibisyon değerleri %39,11-61,02 arasındadır. En yüksek toplam antioksidan kapasitesi ME ile elde edilen pektinde, en düşük ise UE ile elde edilen pektinde görülmüştür; GE ile elde edilen pektin ise %50,28 inhibisyon sergilemiştir. Ticari pektinde ise antioksidan özellik saptanmamıştır. Dolayısıyla elde edilen tüm pektinler, ticari pektine kıyasla daha üstün bir özellik göstermiştir. ME ile elde edilen pektinlerin, UE ile elde edilen pektinlere kıyasla yüksek toplam antioksidan kapasitesi, çevre dostu ekstraksiyon yöntemleri arasında ME yöntemini ön plana çıkarmaktadır. Elde edilen pektinlerin gıda endüstrisinde emülsifiye etme,

jelleştirme ve kıvam verme gibi özelliklerine ek olarak, antioksidan değerlerinin de yüksek olması potansiyel sağlık yararları açısından umut vadetmektedir.

8. Farklı ekstraksiyon yöntemleriyle elde edilen tüm pektinlerin ve ticari pektinin FTIR görüntüsü literatürdeki bilgilerin ışığında incelenmiştir. Elde edilen pektinlerin ve ticari pektinin benzer olduğu tespit edilmiştir. Tüm pektinlerin FTIR görüntüsünde spesifik bantların varlığı, bu örneklerin pektin olduğunu doğrulamıştır. Büyük ölçekli çalışmalar ve üretimler için daha fazla alan çalışmasına ihtiyaç duyulduğu düşünülmektedir.

Sonuç olarak tüm bu bulguların ve tezin hipotezleri doğrultusunda, tezin soruları cevaplanmıştır. Hipotez 1 olarak sunulan: “Türkiye iklim koşullarında yetişen mor çarkıfelek meyvesinden elde edilen pektinin kimyasal değerleri ile verimi yüksektir ve ticari pektin kaynağı olarak kullanılır” doğrulanmıştır. Pektin eldesinde farklı kaynaklara yönelimin arttığı günümüz dünyasında mor çarkıfelek meyvesinin gıda endüstrisinde yaygın kullanımıyla atık olan kabuk kısımlarından pektin ekstrakte edilmesi sürdürülebilirlik ve döngüsel ekonomi açısından büyük önem arz etmektedir. Dolayısıyla Türkiye (Gazipaşa) iklim koşullarında yetişen mor çarkıfelek meyvesinden elde edilen pektinlerin verim ve fizikokimyasal özelliklerinin yüksek olduğu; literatürdeki verilerin ışığında üretimin yapıldığı diğer coğrafi koşullara göre farklılaştığı tespit edilmiştir. Çalışmamızda elde edilen pektinlerin potansiyel pektin kaynağı olma özelliği taşıdığı görülmüştür. Ayrıca bu çalışmada Türkiye’de ilk kez çarkıfelek meyvesinden pektin elde edilmesi ve elde edilen pektin verimlerinin literatürle paralel sonuçlar vermesinin gelecekteki çalışmalara yol göstereceği ve literatüre katkı sağlayacağı düşünülmektedir. Ek olarak literatürde mor çarkıfelek meyvesi pektinlerinde renk değerleri, toplam antioksidan kapasitesi, su ve yağ tutma kapasitesi gibi özelliklerin sınırlı sayıda çalışmada incelendiği görülmüştür. Bu çalışmada ise belirtilen özelliklerin incelenmiş olması, elde edilen bulguların gelecekteki araştırmalara ışık tutabilecek ve literatürdeki önemli bir boşluğu doldurabilecek potansiyelde olduğunu göstermektedir. Dört farklı ekstraksiyon yöntemiyle elde edilen pektinler, ticari pektine kıyasla çoğu fizikokimyasal özellikte daha üstün bir yapı sergilemiştir ve ticari pektin olma potansiyeli açısından umut vadetmektedir.

Dört farklı ekstraksiyon yöntemiyle elde edilen pektinlerde verim açısından geleneksel asit ve mikrodalga destekli ekstraksiyon yöntemleri ön plana çıkarken; geleneksel asit yöntemine kıyasla, çok daha kısa sürede sonuç vermesi mikrodalga destekli ekstraksiyon yöntemini zaman açısından daha avantajlı hale getirmektedir.

Fizikokimyasal özellikler bakımından ise ultrases destekli ve mikrodalga destekli ekstraksiyon yöntemlerinin daha iyi performans gösterdiği, fakat ultrases destekli ekstraksiyon yönteminin daha uzun süre işlem gerektirmesi nedeniyle tekrar mikrodalga destekli ekstraksiyon yönteminin ön plana çıktığı görülmektedir. Çalışmamızda çevre dostu pektin ekstraksiyon yöntemlerinin, geleneksel asit ile ekstraksiyona kıyasla daha üstün sonuçlar verdiği tespit edilmiştir. Sonuç olarak bu çalışmada, pektin ekstraksiyonu için mikrodalga destekli ekstraksiyon yöntemi önerilmektedir. Ancak bu çalışma laboratuvar ölçeğinde yapıldığından daha büyük uygulamalar için pilot ölçekli çalışmalara ihtiyaç duyulduğu ve gelecekteki çalışmalarda ekstraksiyon koşullarının iyileştirilmesi için fizibilite çalışmalarının gerektiği düşünülmektedir.



6. KAYNAKLAR

- Abid, M., Cheikhrouhou, S., Renard, C. M., Bureau, S., Cuvelier, G., Attia, H., & Ayadi, M. A. (2017). Characterization of pectins extracted from pomegranate peel and their gelling properties. *Food Chemistry*, 215, 318-325.
- Adetunji, L. R., Adekunle, A., Orsat, V., & Raghavan, V. (2017). Advances in the pectin production process using novel extraction techniques: A review. *Food Hydrocolloids*, 62, 239-250.
- Adimas, M. A., & Abera, B. D. (2023). Valorization of fruit and vegetable by-products for extraction of pectin and its hydrocolloidal role in low-fat yoghurt processing. *Lwt*, 189, 115534.
- Afshin, A., Sur, P. J., Fay, K. A., Cornaby, L., Ferrara, G., Salama, J. S., ... & Murray, C. J. (2019). Health effects of dietary risks in 195 countries, 1990–2017: a systematic analysis for the Global Burden of Disease Study 2017. *The lancet*, 393(10184), 1958-1972.
- Aguillón-Osma, J., Luzardo-Ocampo, I., Cuellar-Núñez, M. L., Maldonado-Celis, M. E., Loango-Chamorro, N., & Campos-Vega, R. (2019). Impact of in vitro gastrointestinal digestion on the bioaccessibility and antioxidant capacity of bioactive compounds from Passion fruit (*Passiflora edulis*) leaves and juice extracts. *Journal of food biochemistry*, 43(7), e12879.
- Aida, F. M. N. A., & Zailan, N. (2019). Physicochemical properties of pectin extracted from selected local fruits by-product. *International Journal on Advanced Science, Engineering and Information Technology*, 9(3), 904-910.
- Aina, V. O., Barau, M. M., Mamman, O. A., Zakari, A., Haruna, H., Umar, M. H., & Abba, Y. B. (2012). Extraction and characterization of pectin from peels of lemon (*Citrus limon*), grape fruit (*Citrus paradisi*) and sweet orange (*Citrus sinensis*). *British Journal of Pharmacology and Toxicology*, 3(6), 259-262.
- Ajila, C. M., Brar, S. K., Verma, M., Tyagi, R. D., Godbout, S., & Valéro, J. R. (2011). Extraction and analysis of polyphenols: recent trends. *Critical reviews in biotechnology*, 31(3), 227-249.
- Akgöl, J., Kutlay, Ö., Keskin Aktan, A., & Firat, F. (2024). Assessment of Modified Citrus Pectin's Effects on Dementia in the Scopolamine-Induced Alzheimer's Model in Adult Male Wistar Rats. *Current issues in molecular biology*, 46(12), 13922-13936.
- Akhter, M. J., Sarkar, S., Sharmin, T., & Mondal, S. C. (2024). Extraction of pectin from powdered citrus peels using various acids: An analysis contrasting orange with lime. *Applied Food Research*, 4(2), 100614.
- Albuquerque, B. R., Prieto, M. A., Vázquez, J. A., Barreiro, M. F., Barros, L., & Ferreira, I. C. (2018). Recovery of bioactive compounds from *Arbutus unedo* L. fruits: Comparative optimization study of maceration/microwave/ultrasound extraction techniques. *Food Research International*, 109, 455-471.
- Altaf, U., Immanuel, G., & Iftikhar, F. (2015). Extraction and characterization of pectin derived from papaya (*Carica papaya* Linn.) peel. *International Journal of Science, Engineering and Technology*, 3(4), 970-974.
- Altendorf, S. (2018). Minor tropical fruits. *Food outlook*, 1(1), 67-75.

- Amirian, J., Zeng, Y., Shekh, M. I., Sharma, G., Stadler, F. J., Song, J., ... & Zhu, Y. (2021). In-situ crosslinked hydrogel based on amidated pectin/oxidized chitosan as potential wound dressing for skin repairing. *Carbohydrate Polymers*, 251, 117005.
- Anastas, P., & Eghbali, N. (2010). Green chemistry: principles and practice. *Chemical Society Reviews*, 39(1), 301-312.
- Anderson, J. D., Vidal, R. F., Brym, M., Stafne, E. T., Resende Jr, M. F., Viana, A. P., & Chambers, A. H. (2022). Genotyping-by-sequencing of passion fruit (*Passiflora spp.*) generates genomic resources for breeding and systematics. *Genetic Resources and Crop Evolution*, 69(8), 2769-2786.
- Anoraga, S. B., Shamsudin, R., Hamzah, M. H., Sharif, S., Saputro, A. D., & Basri, M. S. M. (2024). Optimization of subcritical water extraction for pectin extraction from cocoa pod husks using the response surface methodology. *Food Chemistry*, 459, 140355.
- Antoniassi, R., Wilhelm, A. E., Reis, S. L. R., Regis, S. A., Faria-Machado, A. F., Bizzo, H. R., & Cenci, S. A. (2022). Expeller pressing of passion fruit seed oil: Pressing efficiency and quality of oil. *Brazilian Journal of Food Technology*, 25, e2021168.
- Arslan, N. (1994). Pektinin fizikokimyasal özellikleri, üretimi ve gıdalarda kullanımı. *Gıda*, 19(3), 187-192.
- Arumuganainar, D. G., Ramesh, D. L., Pandurangan, P., Sunkar, S., Abraham, S., Samrot, A. V., ... & Moovendhan, M. (2025). Sustainable pectin extraction: Navigating industrial challenges and opportunities with fruit by-products—A review. *Process Biochemistry*, 154, 234-245.
- Asgari, K., Labbafi, M., Khodaiyan, F., Kazemi, M., & Hosseini, S. S. (2020). Valorization of walnut processing waste as a novel resource: Production and characterization of pectin. *Journal of Food Processing and Preservation*, 44(12), e14941.
- Axelos, M. A. V., & Thibault, J. F. (1991). Influence of the substituents of the carboxyl groups and of the rhamnose content on the solution properties and flexibility of pectins. *International Journal of Biological Macromolecules*, 13(2), 77-82.
- Azaroual, L., Liazid, A., Mansouri, F. E., Brigui, J., Ruíz-Rodríguez, A., Barbero, G. F., & Palma, M. (2021). Optimization of the microwave-assisted extraction of simple phenolic compounds from grape skins and seeds. *Agronomy*, 11(8), 1527.
- Azmir, J., Zaidul, I. S. M., Rahman, M. M., Sharif, K. M., Mohamed, A., Sahena, F., ... & Omar, A. K. M. (2013). Techniques for extraction of bioactive compounds from plant materials: A review. *Journal of food engineering*, 117(4), 426-436.
- Babbar, N., Dejonghe, W., Gatti, M., Sforza, S., & Elst, K. (2016). Pectic oligosaccharides from agricultural by-products: production, characterization and health benefits. *Critical Reviews in Biotechnology*, 36(4), 594-606.
- Bagabaldo, P. A. A., Atienza, L. M., Castillo-Israel, K. A. T., Estacio, M. A. C., Gaban, P. J. V., Maniawang, J. R. C., ... & Cena-Navarro, R. B. (2022). ‘Saba’banana (*Musa acuminata x balbisiana* BBB Group) peel pectin supplementation improves biomarkers of obesity and associated blood lipid disorders in obese hypercholesterolemic mice. *Current Research in Food Science*, 5, 251-260.

- Bagherian, H., Ashtiani, F. Z., Fouladitajar, A., & Mohtashamy, M. (2011). Comparisons between conventional, microwave-and ultrasound-assisted methods for extraction of pectin from grapefruit. *Chemical engineering and processing: Process Intensification*, 50(11-12), 1237-1243.
- Bai, F., Diao, J., Wang, Y., Sun, S., Zhang, H., Liu, Y., ... & Cao, J. (2017). A new water-soluble nanomicelle formed through self-assembly of pectin–curcumin conjugates: preparation, characterization, and anticancer activity evaluation. *Journal of agricultural and food chemistry*, 65(32), 6840-6847.
- Baississe, S., Ghannem, H., Fahloul, D., & Lekbir, A. (2010). Comparison of structure and emulsifying activity of pectin extracted from apple pomace and apricot pulp. *World Journal of Dairy & Food Sciences*, 5(1), 79-84.
- Bankole, A. O., Ironi, E. A., Awoyale, W., & Ajani, E. O. (2023). Application of natural and modified additives in yogurt formulation: Types, production, and rheological and nutraceutical benefits. *Frontiers in Nutrition*, 10, 1257439.
- Barbalho, S. M., Damasceno, D. C., Spada, A. P. M., Lima, I. E. D. R., Araújo, A. C., Guiguer, E. L., ... & Mendes, C. G. (2011). Effects of *Passiflora edulis* on the metabolic profile of diabetic Wistar rat offspring. *Journal of medicinal food*, 14(12), 1490-1495.
- Basak, S., & Annapure, U. S. (2022). Trends in “green” and novel methods of pectin modification-A review. *Carbohydrate Polymers*, 278, 118967.
- Baseggio, A. M., Kido, L. A., Viganó, J., Carneiro, M. J., Lamas, C. D. A., Martínez, J., ... & Marostica Junior, M. R. (2022). Systemic antioxidant and anti-inflammatory effects of yellow passion fruit bagasse extract during prostate cancer progression. *Journal of Food Biochemistry*, 46(3), e13885.
- Baum, A., Dominiak, M., Vidal-Melgosa, S., Willats, W. G., Søndergaard, K. M., Hansen, P. W., ... & Mikkelsen, J. D. (2017). Prediction of pectin yield and quality by FTIR and carbohydrate microarray analysis. *Food and Bioprocess Technology*, 10(1), 143-154.
- Bayar, N., Bouallegue, T., Achour, M., Kriaa, M., Bougatef, A., & Kammoun, R. (2017). Ultrasonic extraction of pectin from *Opuntia ficus indica* cladodes after mucilage removal: Optimization of experimental conditions and evaluation of chemical and functional properties. *Food Chemistry*, 235, 275-282.
- Bayar, N., Friji, M., & Kammoun, R. (2018). Optimization of enzymatic extraction of pectin from *Opuntia ficus indica* cladodes after mucilage removal. *Food Chemistry*, 241, 127-134.
- Bayar, N., Kriaa, M., & Kammoun, R. (2016). Extraction and characterization of three polysaccharides extracted from *Opuntia ficus indica* cladodes. *International journal of biological macromolecules*, 92, 441-450.
- Bayrakci, I., & Aktar, T. (2024). Effects of Gluten on Health: Pseudocereals as Gluten Substitutes. In S. Mehta, F. Islam, & A. Imran (Eds.), *Innovations in Engineering and Food Science* (pp. 318-343). IGI Global Scientific Publishing.
- Begum, R., Aziz, M. G., Uddin, M. B., & Yusof, Y. A. (2014). Characterization of jackfruit (*Artocarpus heterophyllus*) waste pectin as influenced by various extraction conditions. *Agriculture and Agricultural Science Procedia*, 2, 244-251.

- Begum, R., Aziz, M. G., Yusof, Y. A., Saifullah, M., & Uddin, M. B. (2021). Evaluation of gelation properties of jackfruit (*Artocarpus heterophyllus*) waste pectin. *Carbohydrate Polymer Technologies and Applications*, 2, 100160.
- Begum, R., Yusof, Y. A., Aziz, M. G., & Uddin, M. B. (2017). Structural and functional properties of pectin extracted from jackfruit (*Artocarpus heterophyllus*) waste: Effects of drying. *International journal of food properties*, 20(1), 190-201.
- Belkheiri, A., Forouhar, A., Ursu, A. V., Dubessay, P., Pierre, G., Delattre, C., ... & Michaud, P. (2021). Extraction, characterization, and applications of pectins from plant by-products. *Applied Sciences*, 11(14), 6596.
- BeMiller, J. N. (1986). An introduction to pectins: Structure and properties. In M. L. Fishman & J. J. Jen (Eds.), *Chemistry and function of pectins* (Vol. 310, pp 2–12). American Chemical Society.
- Bermudez-Brito, M., Sahasrabudhe, N. M., Rösch, C., Schols, H. A., Faas, M. M., & de Vos, P. (2015). The impact of dietary fibers on dendritic cell responses in vitro is dependent on the differential effects of the fibers on intestinal epithelial cells. *Molecular nutrition & food research*, 59(4), 698-710.
- Beukema, M., Faas, M. M., & de Vos, P. (2020). The effects of different dietary fiber pectin structures on the gastrointestinal immune barrier: impact via gut microbiota and direct effects on immune cells. *Experimental & molecular medicine*, 52(9), 1364-1376.
- Beukema, M., Jermendi, É., Oerlemans, M. M. P., Logtenberg, M. J., Akkerman, R., An, R., ... & de Vos, P. (2022). The level and distribution of methyl-esters influence the impact of pectin on intestinal T cells, microbiota, and Ahr activation. *Carbohydrate Polymers*, 286, 119280.
- Beukema, M., Jermendi, É., van den Berg, M. A., Faas, M. M., Schols, H. A., & De Vos, P. (2021). The impact of the level and distribution of methyl-esters of pectins on TLR2-1 dependent anti-inflammatory responses. *Carbohydrate Polymers*, 251, 117093.
- Bhatia, L., Jha, H., Sarkar, T., & Sarangi, P. K. (2023). Food waste utilization for reducing carbon footprints towards sustainable and cleaner environment: a review. *International journal of environmental research and public health*, 20(3), 2318.
- Bianchi, F., Larsen, N., de Mello Tieghi, T., Adorno, M. A. T., Kot, W., Saad, S. M. I., ... & Sivieri, K. (2018). Modulation of gut microbiota from obese individuals by in vitro fermentation of citrus pectin in combination with *Bifidobacterium longum* BB-46. *Applied microbiology and biotechnology*, 102, 8827-8840.
- Biner, Ş. B., Gübbük, H., Dal, B., Yıldırım, I., & Taşgın, D. (2016). Değişik Tropik Meyve Türlerinin Antalya Koşullarına Adaptasyonundan Elde Edilen İlk İzlenimler. *Bahçe*, 45(Özel Sayı 1) 7. Ulusal Bahçe Bitkileri Kongresi), 705-707.
- Biratu, G., Gonfa, G., Bekele, M., & Woldemariam, H. W. (2024). Extraction and characterization of pectin from coffee (*Coffea arabica* L.) pulp obtained from four different coffee producing regions. *International Journal of Biological Macromolecules*, 133321.

- Błaszczyk, A., Sady, S., Pacholek, B., Jakubowska, D., Grzybowska-Brzezińska, M., Krzywonos, M., & Popek, S. (2024). Sustainable Management Strategies for Fruit Processing Byproducts for Biorefineries: A Review. *Sustainability*, 16(5), 1717.
- Blumenkrantz, N., & Asboe-Hansen, G. (1973). New method for quantitative determination of uronic acids. *Analytical biochemistry*, 54(2), 484-489.
- Bociek, S. M., & Welti, D. (1975). The quantitative analysis of uronic acid polymers by infrared spectroscopy. *Carbohydrate Research*, 42(2), 217-226.
- Boehler, R. M., Graham, J. G., & Shea, L. D. (2011). Tissue engineering tools for modulation of the immune response. *Biotechniques*, 51(4), 239-254.
- Bonnin, E., Garnier, C., & Ralet, M. C. (2014). Pectin-modifying enzymes and pectin-derived materials: applications and impacts. *Applied microbiology and biotechnology*, 98, 519-532.
- Bosch, R., & Malgas, S. (2023). Ultrasound-assisted enzymatic extraction of orange peel pectin and its characterisation. *International Journal of Food Science and Technology*, 58(12), 6784-6793.
- Bouaziz, M. A., Rassaoui, R., & Besbes, S. (2014). Chemical composition, functional properties, and effect of inulin from *Tunisian Agave americana* L. leaves on textural qualities of pectin gel. *Journal of Chemistry*, 2014(1), 758697.
- Breton, J., Plé, C., Guerin-Deremaux, L., Pot, B., Lefranc-Millot, C., Wils, D., & Foligné, B. (2015). Intrinsic immunomodulatory effects of low-digestible carbohydrates selectively extend their anti-inflammatory prebiotic potentials. *BioMed research international*, 2015(1), 162398.
- Brouns, F., Theuvsen, E., Adam, A., Bell, M., Berger, A., & Mensink, R. P. (2012). Cholesterol-lowering properties of different pectin types in mildly hypercholesterolemic men and women. *European journal of clinical nutrition*, 66(5), 591-599.
- Brown, L., Rosner, B., Willett, W. W., & Sacks, F. M. (1999). Cholesterol-lowering effects of dietary fiber: a meta-analysis. *The American journal of clinical nutrition*, 69(1), 30-42.
- Broxterman, S. E., & Schols, H. A. (2018). Interactions between pectin and cellulose in primary plant cell walls. *Carbohydrate polymers*, 192, 263-272.
- Cai, Y., Folkerts, J., Folkerts, G., Maurer, M., & Braber, S. (2020). Microbiota-dependent and-independent effects of dietary fibre on human health. *British journal of pharmacology*, 177(6), 1363-1381.
- Canteri, M. H. G., Nogueira, A., de Oliveira Petkowicz, C. L., & Wosiacki, G. (2012a). Characterization of apple pectin—a chromatographic approach. In L. A. Calderon (Ed.), *Chromatography: The most versatile method of chemical analysis* (1st ed., pp. 326-342). InTech – Open Access Publisher.
- Canteri, M. H. G., Scheer, A. P., Ginies, C., Reich, M., Renard, C. M. C. G., & Wosiacki, G. (2012b). Rheological and macromolecular quality of pectin extracted with nitric acid from passion fruit rind. *Journal of Food Process Engineering*, 35(5), 800-809.

- Canteri, M. H., Scheer, A. P., Wosiacki, G., Ginies, C., Reich, M., & Renard, C. M. (2010). A comparative study of pectin extracted from passion fruit rind flours. *Journal of Polymers and the Environment*, 18(4), 593-599.
- Cao, L., Lu, W., Mata, A., Nishinari, K., & Fang, Y. (2020). Egg-box model-based gelation of alginate and pectin: A review. *Carbohydrate polymers*, 242, 116389.
- Cao, Q., Teng, J., Wei, B., Huang, L., & Xia, N. (2021). Phenolic compounds, bioactivity, and bioaccessibility of ethanol extracts from passion fruit peel based on simulated gastrointestinal digestion. *Food Chemistry*, 356, 129682.
- Cárdenas-Pérez, S., Chanona-Pérez, J. J., Güemes-Vera, N., Cybulska, J., Szymanska-Chargot, M., Chylinska, M., ... & Zdunek, A. (2018). Structural, mechanical and enzymatic study of pectin and cellulose during mango ripening. *Carbohydrate polymers*, 196, 313-321.
- Cardoso, S. M., Coimbra, M. A., & Da Silva, J. L. (2003). Temperature dependence of the formation and melting of pectin-Ca²⁺ networks: A rheological study. *Food Hydrocolloids*, 17(6), 801-807.
- Carreira-Casais, A., Otero, P., Garcia-Perez, P., Garcia-Oliveira, P., Pereira, A. G., Carpena, M., ... & Prieto, M. A. (2021). Benefits and drawbacks of ultrasound-assisted extraction for the recovery of bioactive compounds from *marine algae*. *International journal of environmental research and public health*, 18(17), 9153.
- Casas-Orozco, D., Villa, A. L., Bustamante, F., & González, L. M. (2015). Process development and simulation of pectin extraction from orange peels. *Food and Bioproducts Processing*, 96, 86-98.
- Celus, M., Salvia-Trujillo, L., Kyomugasho, C., Maes, I., Van Loey, A. M., Grauwet, T., & Hendrickx, M. E. (2018). Structurally modified pectin for targeted lipid antioxidant capacity in linseed/sunflower oil-in-water emulsions. *Food Chemistry*, 241, 86-96.
- Chakraborty, S., Bhattacharyya, R., & Banerjee, D. (2017). Infections: a possible risk factor for type 2 diabetes. *Advances in clinical chemistry*, 80, 227-251.
- Chan Jr, H. T., Chang, T. S., & Chenchin, E. (1972). Nonvolatile acids of passion fruit juice. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 20(1), 110-112.
- Chan, S. Y., & Choo, W. S. (2013). Effect of extraction conditions on the yield and chemical properties of pectin from cocoa husks. *Food chemistry*, 141(4), 3752-3758.
- Chan, S. Y., Choo, W. S., Young, D. J., & Loh, X. J. (2017). Pectin as a rheology modifier: Origin, structure, commercial production and rheology. *Carbohydrate polymers*, 161, 118-139.
- Chandel, V., Biswas, D., Roy, S., Vaidya, D., Verma, A., & Gupta, A. (2022). Current advancements in pectin: Extraction, properties and multifunctional applications. *Foods*, 11(17), 2683.
- Chau, C. F., & Huang, Y. L. (2005). Effects of the insoluble fiber derived from *Passiflora edulis* seed on plasma and hepatic lipids and fecal output. *Molecular nutrition & food research*, 49(8), 786-790.

- Cheewatanakornkool, K., Niratisai, S., Manchun, S., Dass, C. R., & Sriamornsak, P. (2017). Thiolated pectin–doxorubicin conjugates: Synthesis, characterization and anticancer activity studies. *Carbohydrate polymers*, 174, 493-506.
- Chemat, F., Rombaut, N., Meullemiestre, A., Turk, M., Perino, S., Fabiano-Tixier, A. S., & Abert-Vian, M. (2017). Review of green food processing techniques. Preservation, transformation, and extraction. *Innovative Food Science & Emerging Technologies*, 41, 357-377.
- Chemat, F., Tomao, V., & Viot, M. (2008). Ultrasound-assisted extraction in food analysis. *Handbook of food analysis instruments*, 11, 85-103.
- Chen, H. (2013). Optimization of microwave-assisted extraction of resveratrol from *Polygonum cuspidatum* sieb et Zucc by orthogonal experiment. *Nat Prod Indian J*, 9(4), 138-42.
- Chen, L., Wu, Y., Jiang, X., Gan, D., Fan, J., Sun, Y., ... & Li, X. (2023). Dietary fiber extraction from *citrus* peel pomace: Yield optimization and evaluation of its functionality, rheological behavior, and microstructure properties. *Journal of Food Science*, 88(8), 3507-3523.
- Chen, T. S., & Joslyn, M. A. (1967). The effect of sugars on viscosity of pectin solutions: I. Comparison of corn sirup with sucrose solutions. *Journal of colloid and Interface Science*, 23(3), 399-406.
- Chen, Y., Wang, Y., Xu, L., Jia, Y., Xue, Z., Zhang, M., ... & Chen, H. (2020). Ultrasound-assisted modified pectin from unripe fruit pomace of raspberry (*Rubus chingii* Hu): Structural characterization and antioxidant activities. *Lwt*, 134, 110007.
- Chen, Y., Xie, M. Y., & Gong, X. F. (2007). Microwave-assisted extraction used for the isolation of total triterpenoid saponins from *Ganoderma atrum*. *Journal of food engineering*, 81(1), 162-170.
- Chen, Y., Zhang, J. G., Sun, H. J., & Wei, Z. J. (2014). Pectin from *Abelmoschus esculentus*: Optimization of extraction and rheological properties. *International journal of biological macromolecules*, 70, 498-505.
- Chengxiao, Y., Dongmei, W., Kai, Z., Hou, L., Xiao, H., Ding, T., ... & Chen, S. (2021). Challenges of pectic polysaccharides as a prebiotic from the perspective of fermentation characteristics and anti-colitis activity. *Carbohydrate Polymers*, 270, 118377.
- Chia, S. L., & Chong, G. H. (2015). Effect of drum drying on physico-chemical characteristics of dragon fruit peel (*Hylocereus polyrhizus*). *International Journal of Food Engineering*, 11(2), 285-293.
- Chien, W. J., Saputri, D. S., Yanti, S., & Agrawal, D. C. (2022). Response surface methodology for simple non-acid ultrasonic-assisted extraction of pectin from Taiwan's *citrus depressa* H. peels. *CMUJ. Nat. Sci*, 21(4), e2022062.
- Chik, M. A. W., Yusof, R., Shafie, M. H., Hanaphi, R. M., & Gunny, A. A. N. (2023). Optimisation of microwave-assisted extraction of artocarpus integer peel pectin with choline chloride based deep eutectic solvent. *Scientific Research Journal*, 20(s), 97-111.
- Chinnathambi, S., Kumar, P. S., Shuprajhaa, T., Shiva, K. N., & Narayanan, S. (2024). Elucidation of techno-functional, structural and rheological characteristics of

- pectin extracted from the peel of different banana (*Musa. spp*) varieties. *International Journal of Biological Macromolecules*, 258, 128989.
- Cho, E. H., Jung, H. T., Lee, B. H., Kim, H. S., Rhee, J. K., & Yoo, S. H. (2019). Green process development for apple-peel pectin production by organic acid extraction. *Carbohydrate polymers*, 204, 97-103.
- Cho, Y., Kim, H., Turner, N. D., Mann, J. C., Wei, J., Taddeo, S. S., ... & Lupton, J. R. (2011). A chemoprotective fish oil-and pectin-containing diet temporally alters gene expression profiles in exfoliated rat colonocytes throughout oncogenesis. *The Journal of nutrition*, 141(6), 1029-1035.
- Chutia, H., Sharma, M., Das, M. J., & Mahanta, C. L. (2024). Properties of dietary fibre from passion fruit seed obtained through individual and combined alkaline and ultrasonication extraction techniques. *Waste and Biomass Valorization*, 15(4), 2345-2359.
- Ciriminna, R., Chavarria-Hernández, N., Inés Rodríguez Hernández, A., & Pagliaro, M. (2015). Pectin: A new perspective from the biorefinery standpoint. *Biofuels, Bioproducts and Biorefining*, 9(4), 368-377.
- Ciriminna, R., Fidalgo, A., Delisi, R., Ilharco, L. M., & Pagliaro, M. (2016). Pectin production and global market. *Agro Food Ind. Hi-Tech*, 27(5), 17-20.
- Ciriminna, R., Fidalgo, A., Scurria, A., Ilharco, L. M., & Pagliaro, M. (2022). Pectin: New science and forthcoming applications of the most valued hydrocolloid. *Food Hydrocolloids*, 127, 107483.
- Ciudad-Mulero, M., Vega, E. N., García-Herrera, P., Fernández-Tomé, S., Pedrosa, M. M., Arribas, C., ... & Morales, P. (2025). New Gluten-Free Extruded Snack-Type Products Based on Rice and Chickpea and Fortified with Passion Fruit Skin: Extrusion Cooking Effect on Phenolic Composition, Non-Nutritional Factors, and Antioxidant Properties. *Molecules*, 30(6), 1225.
- Coelho, E. M., de Azevêdo, L. C., Viana, A. C., Ramos, I. G., Gomes, R. G., Lima, M. D. S., & Umsza-Guez, M. A. (2018). Physico-chemical properties, rheology and degree of esterification of passion fruit (*Passiflora edulis* f. *flavicarpa*) peel flour. *Journal of the Science of Food and Agriculture*, 98(1), 166-173.
- Coenen, G. J., Bakx, E. J., Verhoef, R. P., Schols, H. A., & Voragen, A. G. J. (2007). Identification of the connecting linkage between homo- or xylogalacturonan and rhamnogalacturonan type I. *Carbohydrate polymers*, 70(2), 224-235.
- Colodel, C., & de Oliveira Petkowicz, C. L. (2019). Acid extraction and physicochemical characterization of pectin from cubiu (*Solanum sessiliflorum* D.) fruit peel. *Food Hydrocolloids*, 86, 193-200.
- Constenla, D., Ponce, A. G., & Lozano, J. E. (2002). Effect of pomace drying on apple pectin. *LWT-Food Science and Technology*, 35(3), 216-221.
- Conti, S., Vexler, A., Hagoel, L., Kalich-Philosoph, L., Corn, B. W., Honig, N., ... & Lev-Ari, S. (2018). Modified citrus pectin as a potential sensitizer for radiotherapy in prostate cancer. *Integrative cancer therapies*, 17(4), 1225-1234.
- Contreras-Esquivel, J. C., Aguilar, C. N., Montanez, J. C., Brandelli, A., Espinoza-Perez, J. D., & Renard, C. M. (2010). Pectin from passion fruit fiber and its modification by pectinmethylesterase. *Journal of Food Science and Nutrition*, 15(1), 57-66.

- Corrêa, R. C., Peralta, R. M., Haminiuk, C. W., Maciel, G. M., Bracht, A., & Ferreira, I. C. (2016). The past decade findings related with nutritional composition, bioactive molecules and biotechnological applications of *Passiflora* spp.(passion fruit). *Trends in Food Science & Technology*, 58, 79-95.
- Costa, K. P. B., Reichembach, L. H., & de Oliveira Petkowicz, C. L. (2022). Pectins with commercial features and gelling ability from peels of *Hylocereus* spp. *Food Hydrocolloids*, 128, 107583.
- Cui, C., Lu, J., Sun-Waterhouse, D., Mu, L., Sun, W., Zhao, M., & Zhao, H. (2016). Polysaccharides from *Laminaria japonica*: Structural characteristics and antioxidant activity. *Lwt*, 73, 602-608.
- Cui, J., Zhang, L., Wang, J., Zhao, S., Zhao, C., Liu, D., ... & Zheng, J. (2023). Study on the relationship between primary structure/spatial conformation and gel properties of pectins from different varieties. *Food Hydrocolloids*, 144, 109055.
- Cui, J., Zhao, C., Feng, L., Han, Y., Du, H., Xiao, H., & Zheng, J. (2021). Pectins from fruits: Relationships between extraction methods, structural characteristics, and functional properties. *Trends in Food Science & Technology*, 110, 39-54.
- Cuijpers, V. M., Walboomers, X. F., & Jansen, J. A. (2011). Scanning electron microscopy stereoinaging for three-dimensional visualization and analysis of cells in tissue-engineered constructs. *Tissue Engineering Part C: Methods*, 17(6), 663-668.
- da Costa, C. A. R., Machado, G. G. L., Rodrigues, L. J., de Barros, H. E. A., Ntarelli, C. V. L., & Boas, E. V. D. B. V. (2023). Phenolic compounds profile and antioxidant activity of purple passion fruit's pulp, peel and seed at different maturation stages. *Scientia Horticulturae*, 321, 112244.
- Da Silva, J. L., & Rao, M. A. (2006). Pectins: Structure, 11 Functionality, and Uses. *Food polysaccharides and their applications*, 160, 353-411.
- da Silva, K. S., Abboud, K. Y., Schiebel, C. S., de Oliveira, N. M. T., Bueno, L. R., de Mello Braga, L. L. V., ... & Maria Ferreira, D. (2023). Polysaccharides from Passion Fruit Peels: From an Agroindustrial By-Product to a Viable Option for 5-FU-Induced Intestinal Damage. *Pharmaceuticals*, 16(7), 912.
- Daas, P. J., Boxma, B., Hopman, A. M., Voragen, A. G., & Schols, H. A. (2001). Nonesterified galacturonic acid sequence homology of pectins. *Biopolymers: Original Research on Biomolecules*, 58(1), 1-8.
- Dalal, N., Phogat, N., Bisht, V., & Dhakar, U. (2020). Potential of fruit and vegetable waste as a source of pectin. *Int. J. Chem. Stud*, 8(1), 3085-3090.
- Dalonso, N., & de Oliveira Petkowicz, C. L. (2012). Guarana powder polysaccharides: Characterisation and evaluation of the antioxidant activity of a pectic fraction. *Food Chemistry*, 134(4), 1804-1812.
- Dambuza, A., Rungqu, P., Oyedeji, A. O., Miya, G. M., Kuria, S. K., Hosu, S. Y., & Oyedeji, O. O. (2024). Extraction, characterization, and antioxidant activity of pectin from lemon peels. *Molecules*, 29(16), 3878.
- Dang, G., Li, J., Yin, C., Wang, W., Zhang, K., Zhong, R., ... & Schroyen, M. (2024). Deciphering Pectin: A Comprehensive Overview of Its Origins, Processing, and Promising Utility. *ACS omega*, 10(1), 1-15.

- Dao, T. A. T. (2021). *Extraction, characterisation and applications of pectin from fruit wastes* [Doctoral dissertation, Swinburne University of Technology, Department of Chemistry and Biotechnology]. <https://doi.org/10.25916/sut.26297851>
- Dao, T. A. T., Webb, H. K., & Malherbe, F. (2021). Optimization of pectin extraction from fruit peels by response surface method: Conventional versus microwave-assisted heating. *Food Hydrocolloids*, 113, 106475.
- Dartora, N., de Souza, L. M., Paiva, S. M., Scoparo, C. T., Iacomini, M., Gorin, P. A., Rattmann, Y. D., & Sasaki, G. L. (2013). 864 Rhamnogalacturonan from *Ilex paraguariensis*: a potential adjuvant in sepsis treatment. *Carbohydrate Polymers*, 92, 865 1776-1782.
- de Freitas Pedrosa, L., Kouzounis, D., Schols, H., de Vos, P., & Fabi, J. P. (2024). Assessing high-temperature and pressure extraction of bioactive water-soluble polysaccharides from passion fruit mesocarp. *Carbohydrate Polymers*, 335, 122010.
- de la Hoz Vega, S., Jaraba, B. V., Mendoza, J. P., Arrieta, A. A., & Quiñones, L. O. (2018). Effect of precipitating solvents on the extraction of pectin from the pomelo albedo by acid hydrolysis. *Contemporary Engineering Sciences*, 11(78), 3849-3855.
- De Leo, R., Quartieri, A., Haghighi, H., Gigliano, S., Bedin, E., & Pulvirenti, A. (2018). Application of pectin-alginate and pectin-alginate-laurolyl arginate ethyl coatings to eliminate Salmonella enteritidis cross contamination in egg shells. *Journal of Food Safety*, 38(6), e12567.
- de Moura, F. A., Macagnan, F. T., Dos Santos, L. R., Bizzani, M., de Oliveira Petkowicz, C. L., & Da Silva, L. P. (2017). Characterization and physicochemical properties of pectins extracted from agroindustrial by-products. *Journal of Food Science and Technology*, 54(10), 3111-3117.
- de Moura, F. A., Macagnan, F. T., Klein, B., Wagner, R., & da Silva, L. P. (2021). Metabolic properties of partially hydrolyzed pectin from passion fruit peel. *Bioactive Carbohydrates and Dietary Fibre*, 25, 100256.
- de Oliveira, C. F., Giordani, D., Gurak, P. D., Cladera-Olivera, F., & Marczak, L. D. F. (2015). Extraction of pectin from passion fruit peel using moderate electric field and conventional heating extraction methods. *Innovative Food Science & Emerging Technologies*, 29, 201-208.
- de Oliveira, C. F., Giordani, D., Lutkemier, R., Gurak, P. D., Cladera-Olivera, F., & Marczak, L. D. F. (2016a). Extraction of pectin from passion fruit peel assisted by ultrasound. *LWT-Food Science and Technology*, 71, 110-115.
- de Oliveira, C. F., Gurak, P. D., Cladera-Olivera, F., Marczak, L. D. F., & Karwe, M. (2016b). Combined effect of high-pressure and conventional heating on pectin extraction from passion fruit peel. *Food and Bioprocess Technology*, 9(6), 1021-1030.
- de Souza, C. G., Rodrigues, T. H., e Silva, L. M., Ribeiro, P. R., & de Brito, E. S. (2018). Sequential extraction of flavonoids and pectin from yellow passion fruit rind using pressurized solvent or ultrasound. *Journal of the Science of Food and Agriculture*, 98(4), 1362-1368.

- de Souza, F. C. B., de Souza, R. F. B., Drouin, B., Mantovani, D., & Moraes, Â. M. (2019). Comparative study on complexes formed by chitosan and different polyanions: Potential of chitosan-pectin biomaterials as scaffolds in tissue engineering. *International journal of biological macromolecules*, 132, 178-189.
- del Amo-Mateos, E., Pérez, R., Merino, A., Lucas, S., García-Cubero, M. T., & Coca, M. (2024). Rhamnogalacturonan–I pectin and derived oligosaccharides obtained from sugar beet pulp and discarded red beetroot: Characterization and comparative study of their antioxidant and prebiotic properties. *Food Hydrocolloids*, 152, 109955.
- Delphi, L., & Sepehri, H. (2016). Apple pectin: A natural source for cancer suppression in 4T1 breast cancer cells in vitro and express p53 in mouse bearing 4T1 cancer tumors, in vivo. *Biomedicine & Pharmacotherapy*, 84, 637-644.
- Delvar, A., de Caro, P., Candy, L., Caro, Y., Sing, A. S. C., & Raynaud, C. (2019). Integrated process for extraction and formulation in emulsions of active molecules from fresh passion fruits (*Passiflora edulis* Sims). *Journal of Food Engineering*, 263, 388-397.
- Deng, J., Cheng, W., & Yang, G. (2011). A novel antioxidant activity index (AAU) for natural products using the DPPH assay. *Food Chemistry*, 125(4), 1430-1435.
- Deshmukh, N., Patel, R., Okram, S., Rymbai, H., Roy, S., & Jha, A. (2017). Passion fruit (*Passiflora spp.*). *Magnesium (mg/litre)*, 100, 200.
- Devi Ramaiya, S., Bujang, J. S., Zakaria, M. H., King, W. S., & Shaffiq Sahrir, M. A. (2013). Sugars, ascorbic acid, total phenolic content and total antioxidant activity in passion fruit (*Passiflora*) cultivars. *Journal of the Science of Food and Agriculture*, 93(5), 1198-1205.
- Dhawan, K., Dhawan, S., & Sharma, A. (2004). *Passiflora*: a review update. *Journal of ethnopharmacology*, 94(1), 1-23.
- Dhawan, K., Kumar, S., & Sharma, A. (2001). Comparative biological activity study on *Passiflora incarnata* and *P. edulis*. *Fitoterapia*, 72(6), 698-702.
- Di Lorenzo, C., Williams, C. M., Hajnal, F., & Valenzuela, J. E. (1988). Pectin delays gastric emptying and increases satiety in obese subjects. *Gastroenterology*, 95(5), 1211-1215.
- Djerri, R., Himed, L., Khodja, E. A. T., Merniz, S., Barkat, M., Bensouici, C., ... & Helal, M. (2025). Low cost green pectin extraction from lemon peels using ultrasound technique: Artificial intelligence-genetic algorithm modeling and characterization. *Italian Journal of Food Science*, 37(3), 96-107.
- do Nascimento, G. E., Winnischofer, S. M. B., Ramirez, M. I., Iacomini, M., & Cordeiro, L. M. C. (2017). The influence of sweet pepper pectin structural characteristics on cytokine secretion by THP-1 macrophages. *Food Research International*, 102, 588-594.
- do Prado, S. B. R., Santos, G. R., Mourão, P. A., & Fabi, J. P. (2019). Chelate-soluble pectin fraction from papaya pulp interacts with galectin-3 and inhibits colon cancer cell proliferation. *International journal of biological macromolecules*, 126, 170-178.

- Donadio, J. L., do Prado, S. B. R., Rogero, M. M., & Fabi, J. P. (2022). Effects of pectins on colorectal cancer: targeting hallmarks as a support for future clinical trials. *Food & Function*, 13(22), 11438-11454.
- Dong, Q., Liu, X., Yao, J., Dong, X., Ma, C., Xu, Y., ... & Ding, K. (2010). Structural characterization of a pectic polysaccharide from *Nerium indicum* flowers. *Phytochemistry*, 71(11-12), 1430-1437.
- Dongowski, G., Lorenz, A., & Proll, J. (2002). The degree of methylation influences the degradation of pectin in the intestinal tract of rats and in vitro. *The journal of nutrition*, 132(7), 1935-1944.
- Dos Reis, L. C. R., Facco, E. M. P., Salvador, M., Flôres, S. H., & de Oliveira Rios, A. (2018). Antioxidant potential and physicochemical characterization of yellow, purple and orange passion fruit. *Journal of Food Science and Technology*, 55(7), 2679-2691.
- dos Santos, E. K. R., Azoubel, P. M., & Gouveia, E. R. (2017). Better pectin yield from passion fruit peel (*Passiflora edulis* f. *flavicarpa*): From shaker or ultrasound? A comparison. *Waste and biomass valorization*, 8(3), 905-910.
- Dos Santos, F. A., Xavier, J. A., da Silva, F. C., Merlin, J. J., Goulart, M. O., & Rupasinghe, H. V. (2022). Antidiabetic, antiglycation, and antioxidant activities of ethanolic seed extract of *Passiflora edulis* and piceatannol in vitro. *Molecules*, 27(13), 4064.
- Dou, Z., Chen, C., & Fu, X. (2019). The effect of ultrasound irradiation on the physicochemical properties and α -glucosidase inhibitory effect of black
- Douglas, T. E., Hempel, U., Żydek, J., Vladescu, A., Pietryga, K., Kaeswurm, J. A., ... & Pamuła, E. (2018). Pectin coatings on titanium alloy scaffolds produced by additive manufacturing: Promotion of human bone marrow stromal cell proliferation. *Materials Letters*, 227, 225-228.
- Dranca, F., & Oroian, M. (2019). Ultrasound-assisted extraction of pectin from *Malus domestica* 'Fălticeni' apple pomace. *Processes*, 7(8), 488.
- Drishya, C. M., & Wani, K. M. (2024). Exploring muskmelon peel as a novel source of pectin: Extraction methods and applications. *Food and Humanity*, 3, 100331.
- Du, H., Olawuyi, I. F., Said, N. S., & Lee, W. Y. (2024). Comparative analysis of physicochemical and functional properties of pectin from extracted dragon fruit waste by different techniques. *Polymers*, 16(8), 1097.
- Du, Q., Zhou, L., Lyu, F., Liu, J., & Ding, Y. (2022). The complex of whey protein and pectin: Interactions, functional properties and applications in food colloidal systems—A review. *Colloids and Surfaces B: Biointerfaces*, 210, 112253.
- Duarte, I. D. A. E., Milenkovic, D., Borges, T. K., de Oliveira, L. D. L., & Costa, A. M. (2021). Brazilian passion fruit as a new healthy food: from its composition to health properties and mechanisms of action. *Food & Function*, 12(22), 11106-11120.
- Duggal, M., Singh, D. P., Singh, S., Khubber, S., Garg, M., & Krishania, M. (2024). Microwave-assisted acid extraction of high-methoxyl kinnow (*Citrus reticulata*) peels pectin: Process, techno-functionality, characterization and life cycle assessment. *Food Chemistry: Molecular Sciences*, 9, 100213.

- EFSA Panel on Dietetic Products, Nutrition and Allergies (NDA). (2010). Scientific Opinion on the substantiation of health claims related to pectins and reduction of post-prandial glycaemic responses (ID 786), maintenance of normal blood cholesterol concentrations (ID 818) and increase in satiety leading to a reduction in energy intake (ID 4692) pursuant to Article 13 (1) of Regulation (EC) No 1924/2006. *EFSA Journal*, 8(10), 1747.
- EFSA Panel on Food Additives and Nutrient Sources added to Food (ANS), Mortensen, A., Aguilar, F., Crebelli, R., Di Domenico, A., Dusemund, B., ... & Woutersen, R. A. (2017). Re-evaluation of pectin (E 440i) and amidated pectin (E 440ii) as food additives. *EFSA Journal*, 15(7), e04866.
- El Fihry, N., El Mabrouk, K., Eeckhout, M., Schols, H. A., Filali-Zegzouti, Y., & Hajjaj, H. (2022). Physicochemical and functional characterization of pectin extracted from *Moroccan citrus* peels. *Lwt*, 162, 113508.
- El-Nawawi, S. A., & Shehata, F. R. (1987). Extraction of pectin from Egyptian orange peel. Factors affecting the extraction. *Biological Wastes*, 20(4), 281-290.
- Elleuch, M., Bedigian, D., Roiseux, O., Besbes, S., Blecker, C., & Attia, H. (2011). Dietary fibre and fibre-rich by-products of food processing: Characterisation, technological functionality and commercial applications: A review. *Food chemistry*, 124(2), 411-421.
- Emaga, T. H., Robert, C., Ronkart, S. N., Wathelet, B., & Paquot, M. (2008). Dietary fibre components and pectin chemical features of peels during ripening in banana and plantain varieties. *Bioresource technology*, 99(10), 4346-4354.
- Espinal-Ruiz, M., Restrepo-Sánchez, L. P., Narváez-Cuenca, C. E., & McClements, D. J. (2016). Impact of pectin properties on lipid digestion under simulated gastrointestinal conditions: Comparison of citrus and banana passion fruit (*Passiflora tripartita* var. *mollissima*) pectins. *Food Hydrocolloids*, 52, 329-342.
- Espitia, P. J. P., Du, W. X., de Jesús Avena-Bustillos, R., Soares, N. D. F. F., & McHugh, T. H. (2014). Edible films from pectin: Physical-mechanical and antimicrobial properties-A review. *Food hydrocolloids*, 35, 287-296.
- Fan, L., Zuo, S., Tan, H., Hu, J., Cheng, J., Wu, Q., & Nie, S. (2020). Preventive effects of pectin with various degrees of esterification on ulcerative colitis in mice. *Food & function*, 11(4), 2886-2897.
- Fang, Y., Al-Assaf, S., Phillips, G. O., Nishinari, K., Funami, T., & Williams, P. A. (2008). Binding behavior of calcium to polyuronates: Comparison of pectin with alginate. *Carbohydrate Polymers*, 72(2), 334-341.
- Faravash, R. S., & Ashtiani, F. Z. (2008). The influence of acid volume, ethanol-to-extract ratio and acid-washing time on the yield of pectic substances extraction from peach pomace. *Food Hydrocolloids*, 22(1), 196-202.
- Fellah, A., Anjukandi, P., Waterland, M. R., & Williams, M. A. (2009). Determining the degree of methylesterification of pectin by ATR/FT-IR: Methodology optimisation and comparison with theoretical calculations. *Carbohydrate polymers*, 78(4), 847-853.
- Feng, X., Ameer, K., Jiang, G., & Ramachandraiah, K. (2024). Effects of extraction methods on the structural characteristics and functional properties of dietary fiber

- extracted from papaya peel and seed. *Frontiers in Sustainable Food Systems*, 8, 1340961.
- Fernández-López, J., Sendra-Nadal, E., Navarro, C., Sayas, E., Viuda-Martos, M., & Alvarez, J. A. P. (2009). Storage stability of a high dietary fibre powder from orange by-products. *International journal of food science & technology*, 44(4), 748-756
- Ferreira, D., Barros, A., Coimbra, M. A., & Delgadillo, I. (2001). Use of FT-IR spectroscopy to follow the effect of processing in cell wall polysaccharide extracts of a sun-dried pear. *Carbohydrate Polymers*, 45(2), 175-182.
- Filianty, F., Alifia, R. N., Yuliana, T., Yusuf, A., & Putri, S. H. (2024). Optimization of Pectin Extraction Process from Albedo of Citrus Lemon (*Citrus limon*) Using Ultrasonic Method. *Industria: Jurnal Teknologi dan Manajemen Agroindustri*, 13(1), 85-97.
- Filippov, M. P., & Kohn, R. (1975). Determination of the esterification degree of carboxyl groups of pectin with methanol by means of infrared spectroscopy. *Chem. Zvesti*, 29(1), 88-91.
- Fishman, M. L., Chau, H. K., Hoagland, P., & Ayyad, K. (1999). Characterization of pectin, flash-extracted from orange albedo by microwave heating, under pressure. *Carbohydrate research*, 323(1-4), 126-138.
- Fishman, M. L., Chau, H. K., Qi, P. X., Hotchkiss, A. T., Garcia, R. A., & Cooke, P. H. (2015). Characterization of the global structure of low methoxyl pectin in solution. *Food Hydrocolloids*, 46, 153-159.
- Fishman, M. L., Cooke, P. H., & Coffin, D. R. (2004). Nanostructure of native pectin sugar acid gels visualized by atomic force microscopy. *Biomacromolecules*, 5(2), 334-341.
- Fishman, M. L., Cooke, P. H., Chau, H. K., Coffin, D. R., & Hotchkiss, A. T. (2007). Global structures of high methoxyl pectin from solution and in gels. *Biomacromolecules*, 8(2), 573-578.
- Florentino, G. I. B., Lima, D. A. S., Santos, M. M. F., da Silva Ferreira, V. C., Grisi, C. V. B., Madruga, M. S., & da Silva, F. A. P. (2022). Characterization of a new food packaging material based on fish by-product proteins and passion fruit pectin. *Food Packaging and Shelf Life*, 33, 100920.
- Florez, L. M., Vaillant, F., Hollander, H., & Ariza-Nieto, M. (2003). Passion fruit juice sacs: biochemical characterization and enzymatic treatment. *Tropical science*, 43(1), 28-34.
- Flutto, L. (2003). PECTIN| properties and determination. *Encyclopedia of food sciences and nutrition*, 2, 4440-4449.
- Fonseca, A. M., Geraldi, M. V., Junior, M. R. M., Silvestre, A. J., ve Rocha, S. M. (2022). Purple passion fruit (*Passiflora edulis* f. *edulis*): A comprehensive review on the nutritional value, phytochemical profile and associated health effects. *Food Research International*, 111665.
- Fonseca, A. M., Silvestre, A. J., & Rocha, S. M. (2025). From physicochemical characteristics variability to purple passion fruit (*Passiflora edulis* f. *edulis*) powders nutritional value: on the path of zero-waste. *Journal of the Science of Food and Agriculture*, 105(6), 3306-3316.

- Fraeye, I., Colle, I., Vandevenne, E., Duvetter, T., Van Buggenhout, S., Moldenaers, P., ... & Hendrickx, M. (2010). Influence of pectin structure on texture of pectin–calcium gels. *Innovative food science & emerging technologies*, 11(2), 401-409.
- Freitas, C. M. P., Coimbra, J. S. R., Souza, V. G. L., & Sousa, R. C. S. (2021). Structure and applications of pectin in food, biomedical, and pharmaceutical industry: A review. *Coatings*, 11(8), 922.
- Freitas, C. M. P., da Costa, A. R., de Ávila Rodrigues, F., de Jesus Júnior, M. M., dos Santos Dias, M. M., & de Sousa, R. D. C. S. (2020a). Otimização da extração de pectina do maracujá (*Passiflora edulis flavicarpa*) usando o método de superfície de resposta. *Brazilian Journal of Development*, 6(5), 25609-25625.
- Freitas, C. M. P., Sousa, R. C. S., Dias, M. M. S., & Coimbra, J. S. R. (2020b). Extraction of pectin from passion fruit peel. *Food Engineering Reviews*, 12(4), 460-472.
- Frosi, I., Colombo, R., Pugliese, R., Milanese, C., & Papetti, A. (2024). Pectin Microwave Assisted Extraction from Pumpkin Peels: Process Optimization and Chemical-Physical and Rheological Characterization. *Foods*, 13(19), 3157.
- Fu, J. T., & Rao, M. A. (2001). Rheology and structure development during gelation of low-methoxyl pectin gels: the effect of sucrose. *Food Hydrocolloids*, 15(1), 93-100.
- Gaikwad, D., Shewale, R., Patil, V., Mali, D., Gaikwad, U., & Jadhav, N. (2017). Enhancement in in vitro anti-angiogenesis activity and cytotoxicity in lung cancer cell by pectin-PVP based curcumin particulates. *International Journal of Biological Macromolecules*, 104, 656-664.
- Gaona-Sánchez, V. A., Calderón-Domínguez, G., Morales-Sánchez, E., Moreno-Ruiz, L. A., Terrés-Rojas, E., Salgado-Cruz, M. D. L. P., ... & Barrios-Francisco, R. (2021). Physicochemical and superficial characterization of a bilayer film of zein and pectin obtained by electrospraying. *Journal of Applied Polymer Science*, 138(12), 50045.
- Gaspar, Y., Johnson, K. L., McKenna, J. A., Bacic, A., & Schultz, C. J. (2001). The complex structures of arabinogalactan-proteins and the journey towards understanding function. *Plant molecular biology*, 47(1), 161-176.
- Gavahian, M., Mathad, G. N., Pandiselvam, R., Lin, J., & Sun, D. W. (2021). Emerging technologies to obtain pectin from food processing by-products: A strategy for enhancing resource efficiency. *Trends in Food Science & Technology*, 115, 42-54.
- Gawkowska, D., Cybulska, J., & Zdunek, A. (2018). Structure-related gelling of pectins and linking with other natural compounds: A review. *Polymers*, 10(7), 762.
- Geerkens, C. H., Nagel, A., Just, K. M., Miller-Rostek, P., Kammerer, D. R., Schweiggert, R. M., & Carle, R. (2015). Mango pectin quality as influenced by cultivar, ripeness, peel particle size, blanching, drying, and irradiation. *Food Hydrocolloids*, 51, 241-251.
- Gennadios, A., Weller, C. L., Hanna, M. A., & Froning, G. W. (1996). Mechanical and barrier properties of egg albumen films. *Journal of food science*, 61(3), 585-589.
- Gharibzahedi, S. M. T., Smith, B., & Guo, Y. (2019). Pectin extraction from common fig skin by different methods: The physicochemical, rheological, functional, and

- structural evaluations. *International Journal of Biological Macromolecules*, 136, 275-283.
- Ghoshal, G., & Negi, P. (2020). Isolation of pectin from kinnow peels and its characterization. *Food and Bioproducts Processing*, 124, 342-353.
- Giacomazza, D., Bulone, D., San Biagio, P. L., Marino, R., & Lapasin, R. (2018). The role of sucrose concentration in self-assembly kinetics of high methoxyl pectin. *International journal of biological macromolecules*, 112, 1183-1190.
- Gilsenan, P. M., Richardson, R. K., & Morris, E. R. (2000). Thermally reversible acid-induced gelation of low-methoxy pectin. *Carbohydrate Polymers*, 41(4), 339-349.
- Ginting, D. M. B., Suroto, D. A., & Millati, R. (2024). Optimization of Ultrasound-Assisted Pectin Extraction from Durian Rind. *Journal of Applied Science and Engineering*, 28(2), 367-380.
- Gnanasambandam, R., & Proctor, A. J. F. C. (2000). Determination of pectin degree of esterification by diffuse reflectance Fourier transform infrared spectroscopy. *Food chemistry*, 68(3), 327-332.
- Goulao, L. F., & Oliveira, C. M. (2008). Cell wall modifications during fruit ripening: when a fruit is not the fruit. *Trends in Food Science & Technology*, 19(1), 4-25.
- Grant, G. T., Morris, E. R., Rees, D. A., Smith, P. J., & Thom, D. (1973). Biological interactions between polysaccharides and divalent cations: the egg-box model. *FEBS letters*, 32(1), 195-198.
- Grassino, A. N., Barba, F. J., Brnčić, M., Lorenzo, J. M., Lucini, L., ve Brnčić, S. R. (2018). Analytical tools used for the identification and quantification of pectin extracted from plant food matrices, wastes and by-products: A review. *Food chemistry*, 266, 47-55.
- Grassino, A. N., Brnčić, M., Vikić-Topić, D., Roca, S., Dent, M., ve Brnčić, S. R. (2016a). Ultrasound assisted extraction and characterization of pectin from tomato waste. *Food chemistry*, 198, 93-100.
- Grassino, A. N., Halambek, J., Djaković, S., Brnčić, S. R., Dent, M., & Grabarić, Z. (2016b). Utilization of tomato peel waste from canning factory as a potential source for pectin production and application as tin corrosion inhibitor. *Food hydrocolloids*, 52, 265-274.
- Guedes, C. K. R. D. M., Guedes, A. F. L. D. M., Silva, J. R. D., Silva, E. B. B. D., Santos, E. C. M. D., Stamford, T. C. M., & Stamford, T. L. M. (2021). Development of vegetal probiotic beverage of passion fruit (*Passiflora edulis* Sims), yam (*Dioscorea cayenensis*) and *Lacticaseibacillus casei*. *Food Science and Technology*, 41, 619-626.
- Gulcin, İ., & Alwasel, S. H. (2023). DPPH radical scavenging assay. *Processes*, 11(8), 2248.
- Gulfi, M., Arrigoni, E., & Amadò, R. (2005). Influence of structure on in vitro fermentability of commercial pectins and partially hydrolysed pectin preparations. *Carbohydrate polymers*, 59(2), 247-255.
- Guo, R., Tian, S., Li, X., Wu, X., Liu, X., Li, D., ... & Wu, Y. (2020). Pectic polysaccharides from purple passion fruit peel: A comprehensive study in

- macromolecular and conformational characterizations. *Carbohydrate polymers*, 229, 115406.
- Guo, X., Guo, X., Yu, S., & Kong, F. (2018). Influences of the different chemical components of sugar beet pectin on the emulsifying performance of conjugates formed between sugar beet pectin and whey protein isolate. *Food Hydrocolloids*, 82, 1-10.
- Guo, Y., Wei, Y., Cai, Z., Hou, B., & Zhang, H. (2021). Stability of acidified milk drinks induced by various polysaccharide stabilizers: A review. *Food Hydrocolloids*, 118, 106814.
- Gurev, A., Cesko, T., Dragancea, V., Ghendov-Mosanu, A., Pintea, A., & Sturza, R. (2023). Ultrasound-and microwave-assisted extraction of pectin from apple pomace and its effect on the quality of fruit bars. *Foods*, 12(14), 2773.
- Güzel, M., & Akpınar, Ö. (2019). Valorisation of fruit by-products: Production characterization of pectins from fruit peels. *Food and Bioproducts Processing*, 115, 126-133.
- Güzel, M., ve Akpınar, Ö. (2017). Turunçgil kabuklarından elde edilen pektinlerin karakterizasyonu ve karşılaştırılması. *Akademik Gıda*, 15(1), 17-28.
- Hachem, K., Benabdesslem, Y., Ghomari, S., Hasnaoui, O., & Kaid-Harche, M. (2016). Partial structural characterization of pectin cell wall from *Argania spinosa* leaves. *Heliyon*, 2(2).
- Han, Y., Jin, X., Zhang, Z., & Sun, Q. (2025). Characterization of pectin with different structural features and its effects on yogurt quality. *LWT*, 118236.
- Haque, S. M., Kabir, A., Ratemi, E., Elzagheid, M., Appu, S. P., Ghani, S. S., & Sarief, A. (2025). Greener pectin extraction techniques: Applications and challenges. *Separations*, 12(3), 65.
- Harholt, J., Suttangkakul, A., & Vibe Scheller, H. (2010). Biosynthesis of pectin. *Plant physiology*, 153(2), 384-395.
- He, C., Sampers, I., & Raes, K. (2021). Isolation of pectin from clementine peel: A new approach based on green extracting agents of citric acid/sodium citrate solutions. *ACS Sustainable Chemistry & Engineering*, 9(2), 833-843.
- He, X., Luan, F., Yang, Y., Wang, Z., Zhao, Z., Fang, J., ... ve Li, Y. (2020). *Passiflora edulis*: An insight into current researches on phytochemistry and pharmacology. *Frontiers in pharmacology*, 11, 617.
- Heitman, D. W., Hardman, W. E., & Cameron, I. L. (1992). Dietary supplementation with pectin and guar gum on 1, 2-dimethylhydrazine-induced colon carcinogenesis in rats. *Carcinogenesis*, 13(5), 815-818.
- Hernandez-Hernandez, O., Ferreira-Lazarte, A., Tiwari, B., & Villamiel, M. (2024). Update of high-intensity ultrasound applications for the extraction of pectin from agri-food by-products. *TrAC Trends in Analytical Chemistry*, 175, 117728.
- Ho, G. T. T., Zou, Y. F., Wangenstein, H., & Barsett, H. (2016). RG-I regions from elderflower pectins substituted on GalA are strong immunomodulators. *International journal of biological macromolecules*, 92, 731-738.

- Holidah, D., Dewi, I. P., Pusparini, D., Rochayati, D., & Nurrizki, A. M. (2021). Effects of *Passiflora edulis* var. *flavicarpa* on liver functional parameters in alloxan induced diabetic mice. *Medicinal Plants-International Journal of Phytomedicines and Related Industries*, 13(3), 493-498.
- Hossain, M. M., Ara, R., Yasmin, F., Suchi, M., & Zzaman, W. (2024). Microwave and ultrasound assisted extraction techniques with citric acid of pectin from Pomelo (*Citrus maxima*) peel. *Measurement: Food*, 100135.
- Hosseini, S. S., Khodaiyan, F., & Yarmand, M. S. (2016). Optimization of microwave assisted extraction of pectin from sour orange peel and its physicochemical properties. *Carbohydrate polymers*, 140, 59-65.
- Hosseini, S. S., Khodaiyan, F., Kazemi, M., & Najari, Z. (2019). Optimization and characterization of pectin extracted from sour orange peel by ultrasound assisted method. *International journal of biological macromolecules*, 125, 621-629.
- Hotchkiss, A. T., Savary, B. J., Cameron, R. G., Chau, H. K., Brouillette, J., Luzio, G. A., & Fishman, M. L. (2002). Enzymatic modification of pectin to increase its calcium sensitivity while preserving its molecular weight. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 50(10), 2931-2937.
- Hu, S., Kuwabara, R., Beukema, M., Ferrari, M., de Haan, B. J., Walvoort, M. T., ... & Smink, A. M. (2020). Low methyl-esterified pectin protects pancreatic β -cells against diabetes-induced oxidative and inflammatory stress via galectin-3. *Carbohydrate polymers*, 249, 116863.
- Hu, Y. B., Hong, H. L., Liu, L. Y., Zhou, J. N., Wang, Y., Li, Y. M., ... & Liu, D. (2022). Analysis of structure and antioxidant activity of polysaccharides from *Aralia continentalis*. *Pharmaceuticals*, 15(12), 1545.
- Hu, Z., Wang, P., Zhou, H., & Li, Y. (2018). Extraction, characterization and in vitro antioxidant activity of polysaccharides from *Carex meyeriana* Kunth using different methods. *International Journal of Biological Macromolecules*, 120, 2155-2164.
- Huang, D., Ou, B., & Prior, R. L. (2005). The chemistry behind antioxidant capacity assays. *Journal of agricultural and food chemistry*, 53(6), 1841-1856.
- Huang, X., Li, D., & Wang, L. J. (2017). Characterization of pectin extracted from sugar beet pulp under different drying conditions. *Journal of Food Engineering*, 211, 1-6.
- Huang, Y., Xie, W., Tang, T., Chen, H., & Zhou, X. (2023). Structural characteristics, antioxidant and hypoglycemic activities of polysaccharides from *Mori Fructus* based on different extraction methods. *Frontiers in Nutrition*, 10, 1125831.
- Hundie, K. B., & Abdissa, D. (2021). Extraction and characterization of pectin from lemon waste for commercial applications. *Journal of the Turkish Chemical Society Section A: Chemistry*, 8(4), 1111-1120.
- Huo, D., Dai, J., Yuan, S., Cheng, X., Pan, Y., Wang, L., & Wang, R. (2023). Eco-friendly simultaneous extraction of pectins and phenolics from passion fruit (*Passiflora edulis* Sims) peel: Process optimization, physicochemical properties, and antioxidant activity. *International Journal of Biological Macromolecules*, 243, 125229.

- Hwang, S. W., & Shin, J. S. (2018). Pectin-Coated Curcumin-Chitosan Microparticles Crosslinked with Mg^{2+} for Delayed Drug Release in the Digestive System. *International Journal of Polymer Science*, 2018(1), 2071071.
- Ibrahim, A. H., & Khalifa, S. A. (2015). The effects of various stabilizers on physiochemical properties of camel's milk yoghurt. *Journal of American Science*, 11(1), 15-24.
- Ignat, I., Volf, I., & Popa, V. I. (2011). A critical review of methods for characterisation of polyphenolic compounds in fruits and vegetables. *Food chemistry*, 126(4), 1821-1835.
- Ilnicka, A., & Lukaszewicz, J. P. (2015). Discussion remarks on the role of wood and chitin constituents during carbonization. *Frontiers in Materials*, 2, 20.
- Imaizumi, T., Szymańska-Chargot, M., Pieczywek, P. M., Chylińska, M., Kozioł, A., Ganczarenko, D., ... & Zdunek, A. (2017). Evaluation of pectin nanostructure by atomic force microscopy in blanched carrot. *LWT*, 84, 658-667.
- Inohara, H., & Raz, A. (1994). Effects of natural complex carbohydrate (citrus pectin) on murine melanoma cell properties related to galectin-3 functions. *Glycoconjugate journal*, 11, 527-532.
- Ishisono, K., Mano, T., Yabe, T., & Kitaguchi, K. (2019). Dietary fiber pectin ameliorates experimental colitis in a neutral sugar side chain-dependent manner. *Frontiers in Immunology*, 10, 2979.
- Ishwarya S, P., R, S., & Nisha, P. (2022). Advances and prospects in the food applications of pectin hydrogels. *Critical reviews in food science and nutrition*, 62(16), 4393-4417.
- Ismail, N. S. M., Ramli, N., Hani, N. M., & Meon, Z. J. S. M. (2012). Extraction and characterization of pectin from dragon fruit (*Hylocereus polyrhizus*) using various extraction conditions. *Sains Malaysiana*, 41(1), 41-45.
- Izalin, M. N., Kharidah, M., Jamilah, B., & Noranizan, M. A. (2016). Functional properties of pectin from dragon fruit (*Hylocereus polyrhizus*) peel and its sensory attributes. *Journal of Tropical Agriculture and Food Science*, 44(1), 95-101.
- Jafari, F., Khodaiyan, F., Kiani, H., & Hosseini, S. S. (2017). Pectin from carrot pomace: Optimization of extraction and physicochemical properties. *Carbohydrate polymers*, 157, 1315-1322.
- James, M., Imathiu, S., Engelsens, S. B., & Owino, W. (2025). Impact of extraction techniques and processing conditions on pectin and antioxidant recovery from mango peels. *Discover Food*, 5(1), 132.
- Janda, K., Wojtkowska, K., Jakubczyk, K., Antoniewicz, J., & Skonieczna-Żydecka, K. (2020). *Passiflora incarnata* in neuropsychiatric disorders—A systematic review. *Nutrients*, 12(12), 3894.
- Janzantti, N. S., Macoris, M. S., Garruti, D. S., & Monteiro, M. (2012). Influence of the cultivation system in the aroma of the volatile compounds and total antioxidant activity of passion fruit. *LWT-Food science and technology*, 46(2), 511-518.
- Jarvis, M. C., Hall, M. A., Threlfall, D. R., & Friend, J. (1981). The polysaccharide structure of potato cell walls: chemical fractionation. *Planta*, 152, 93-100.

- Jeevitha, G. C., Ramamoorthy, S., Ahmad, F., Saravanan, R., Haque, S., & Capanoglu, E. (2023). Recent advances in extraction methodologies for the valorization of mango peel wastes. *International Journal of Food Properties*, 26(2), 3492-3511.
- Jensen, S., Rolin, C., & Ipsen, R. (2010). Stabilisation of acidified skimmed milk with HM pectin. *Food hydrocolloids*, 24(4), 291-299.
- Jiang, H., Zhang, W., Khan, M. R., Ahmad, N., Rhim, J. W., Jiang, W., & Roy, S. (2023). Film properties of pectin obtained from various fruits' (Lemon, Pomelo, Pitaya) Peels. *Journal of Composites Science*, 7(9), 366.
- Jiang, L. N., Shang, J. J., He, L. B., & Dan, J. M. (2012). Comparisons of microwave-assisted and conventional heating extraction of pectin from seed watermelon peel. *Advanced Materials Research*, 550, 1801-1806.
- Jiang, T., Gao, X., Wu, C., Tian, F., Lei, Q., Bi, J., ... & Wang, X. (2016). Apple-derived pectin modulates gut microbiota, improves gut barrier function, and attenuates metabolic endotoxemia in rats with diet-induced obesity. *Nutrients*, 8(3), 126.
- Jiang, W. X., Qi, J. R., Huang, Y. X., Zhang, Y., & Yang, X. Q. (2020). Emulsifying properties of high methoxyl pectins in binary systems of water-ethanol. *Carbohydrate polymers*, 229, 115420.
- Jiang, Y., Xu, Y., Li, F., Li, D., & Huang, Q. (2020). Pectin extracted from *persimmon* peel: A physicochemical characterization and emulsifying properties evaluation. *Food Hydrocolloids*, 101, 105561.
- Jiang, Y., Ye, J., Zhou, L., Chen, M., Wei, Y., Jiang, S., ... & Shao, X. (2024). Cell wall metabolism during the growth of peach fruit: Association of hardness with cell wall pectins. *Scientia Horticulturae*, 330, 113058.
- Jin, M. Y., Li, M. Y., Huang, R. M., Wu, X. Y., Sun, Y. M., & Xu, Z. L. (2021). Structural features and anti-inflammatory properties of pectic polysaccharides: A review. *Trends in Food Science & Technology*, 107, 284-298.
- Jindal, M., Kumar, V., Rana, V., & Tiwary, A. K. (2013). Aegle marmelos fruit pectin for food and pharmaceuticals: Physico-chemical, rheological and functional performance. *Carbohydrate polymers*, 93(2), 386-394.
- Jong, S. H., Abdullah, N., & Muhammad, N. (2023). Effect of acid type and concentration on the yield, purity, and esterification degree of pectin extracted from durian rinds. *Results in Engineering*, 17, 100974.
- Jung, I. D., Kim, H. Y., Park, J. W., Lee, C. M., Noh, K. T., Kang, H. K., ... & Park, Y. M. (2012). RG-II from *Panax ginseng* CA Meyer suppresses asthmatic reaction. *BMB reports*, 45(2), 79-84.
- Jurevičiūtė, I., Keršienė, M., Bašinskienė, L., Leskauskaitė, D., & Jasutienė, I. (2022). Characterization of berry pomace powders as dietary fiber-rich food ingredients with functional properties. *Foods*, 11(5), 716.
- Kacurakova, M., Capek, P., Sasinkova, V., Wellner, N., & Ebringerova, A. (2000). FT-IR study of plant cell wall model compounds: pectic polysaccharides and hemicelluloses. *Carbohydrate polymers*, 43(2), 195-203.
- Kalapathy, U., & Proctor, A. (2001). Effect of acid extraction and alcohol precipitation conditions on the yield and purity of soy hull pectin. *Food chemistry*, 73(4), 393-396.

- Kamnev, A. A., Colina, M., Rodriguez, J., Ptitchkina, N. M., & Ignatov, V. V. (1998). Comparative spectroscopic characterization of different pectins and their sources. *Food Hydrocolloids*, 12(3), 263-271.
- Kandandapani, S., Balaraman, A. K., & Ahamed, H. N. (2015). Extracts of passion fruit peel and seed of *Passiflora edulis* (Passifloraceae) attenuate oxidative stress in diabetic rats. *Chinese journal of natural medicines*, 13(9), 680-686.
- Kanse, N. G., Chirag, S., Swapnil, S., & Vishal, S. (2017). Extraction of pectin from orange peel's and its applications: review. *International Journal of Innovative Research in Science, Engineering and Technology*, 6(9), 19452-19457.
- Kapoor, S., & Dharmesh, S. M. (2017). Pectic Oligosaccharide from tomato exhibiting anticancer potential on a gastric cancer cell line: Structure-function relationship. *Carbohydrate Polymers*, 160, 52-61.
- Kar, F., & Arslan, N. (1999). Effect of temperature and concentration on viscosity of orange peel pectin solutions and intrinsic viscosity–molecular weight relationship. *Carbohydrate polymers*, 40(4), 277-284.
- Karnik, D., & Wicker, L. (2018). Emulsion stability of sugar beet pectin fractions obtained by isopropanol fractionation. *Food Hydrocolloids*, 74, 249-254.
- Kashyap, D. R., Vohra, P. K., Chopra, S., & Tewari, R. (2001). Applications of pectinases in the commercial sector: a review. *Bioresource technology*, 77(3), 215-227.
- Kasote, D. M., Katyare, S. S., Hegde, M. V., & Bae, H. (2015). Significance of antioxidant potential of plants and its relevance to therapeutic applications. *International journal of biological sciences*, 11(8), 982.
- Kastner, H., Einhorn-Stoll, U., & Drusch, S. (2017). Structure formation in sugar containing pectin gels-Influence of gel composition and cooling rate on the gelation of non-amidated and amidated low-methoxylated pectin. *Food Hydrocolloids*, 73, 13-20.
- Kastner, H., Einhorn-Stoll, U., & Senge, B. (2012). Structure formation in sugar containing pectin gels-Influence of Ca²⁺ on the gelation of low-methoxylated pectin at acidic pH. *Food Hydrocolloids*, 27(1), 42-49.
- Kavya, M., Jacob, A. R., & Nisha, P. (2023). Pectin emulsions and emulgels: Bridging the correlation between rheology and microstructure. *Food Hydrocolloids*, 143, 108868.
- Kazemi, M., Khodaiyan, F., & Hosseini, S. S. (2019a). Eggplant peel as a high potential source of high methylated pectin: Ultrasonic extraction optimization and characterization. *Lwt*, 105, 182-189.
- Kazemi, M., Khodaiyan, F., Labbafi, M., Hosseini, S. S., & Hojjati, M. (2019b). Pistachio green hull pectin: Optimization of microwave-assisted extraction and evaluation of its physicochemical, structural and functional properties. *Food chemistry*, 271, 663-672.
- Ke, J., Jiang, G., Shen, G., Wu, H., Liu, Y., & Zhang, Z. (2020). Optimization, characterization and rheological behavior study of pectin extracted from chayote (*Sechium edule*) using ultrasound assisted method. *International journal of biological macromolecules*, 147, 688-698.

- Kedare, S. B., & Singh, R. P. (2011). Genesis and development of DPPH method of antioxidant assay. *Journal of food science and technology*, 48(4), 412-422.
- Kedir, W. M., Deresa, E. M., & Diriba, T. F. (2022). Pharmaceutical and drug delivery applications of pectin and its modified nanocomposites. *Heliyon*, 8(9).
- Khamsucharit, P., Laohaphatanalert, K., Gavinlertvatana, P., Sriroth, K., & Sangseethong, K. (2018). Characterization of pectin extracted from banana peels of different varieties. *Food science and biotechnology*, 27(3), 623-629.
- Khan, N. A., Raine, L. B., Drollette, E. S., Scudder, M. R., Kramer, A. F., & Hillman, C. H. (2015). Dietary fiber is positively associated with cognitive control among prepubertal children. *The Journal of nutrition*, 145(1), 143-149.
- Khedmat, L., Izadi, A., Mofid, V., & Mojtahedi, S. Y. (2020). Recent advances in extracting pectin by single and combined ultrasound techniques: A review of techno-functional and bioactive health-promoting aspects. *Carbohydrate Polymers*, 229, 115474.
- Khodaei, N., Karboune, S., & Orsat, V. (2016). Microwave-assisted alkaline extraction of galactan-rich rhamnogalacturonan I from potato cell wall by-product. *Food Chemistry*, 190, 495-505.
- Khubber, S., Chaturvedi, K., Thakur, N., Sharma, N., & Yadav, S. K. (2021). Low-methoxyl pectin stabilizes low-fat set yoghurt and improves their physicochemical properties, rheology, microstructure and sensory liking. *Food Hydrocolloids*, 111, 106240.
- Khule, N. R., Mahale, N. B., Shelar, D. S., Rokade, M. M., & Chaudhari, S. R. (2012). Extraction of pectin from *citrus* fruit peel and use as natural binder in paracetamol tablet. *Der Pharmacia Lettre*, 4(2), 558-564.
- Klemetsrud, T., Jonassen, H., Hiorth, M., Kjørnsen, A. L., & Smistad, G. (2013). Studies on pectin-coated liposomes and their interaction with mucin. *Colloids and Surfaces B: Biointerfaces*, 103, 158-165.
- Kliemann, E., De Simas, K. N., Amante, E. R., Prudêncio, E. S., Teófilo, R. F., Ferreira, M. M., & Amboni, R. D. (2009). Optimisation of pectin acid extraction from passion fruit peel (*Passiflora edulis flavicarpa*) using response surface methodology. *International Journal of Food Science and Technology*, 44(3), 476-483.
- Klinchongkon, K. (2017). *Hydrolysis and application of pectins from passion fruit peel obtained by subcritical water treatment* [Doctoral dissertation, Silpakorn University, Department of Food Technology]. <http://thesis-ir.su.ac.th/dspace/handle/123456789/1756>
- Klinchongkon, K., Khuwijtjaru, P., & Adachi, S. (2018). Properties of subcritical water-hydrolyzed passion fruit (*Passiflora edulis*) pectin. *Food hydrocolloids*, 74, 72-77.
- Koç, M., & Elmas, F. (2019). Interaction of pectin with food components. *Türk Tarım – Gıda Bilim ve Teknoloji Dergisi*, 7(9), 1360-1366.
- Koh, P. C., Leong, C. M., & Noranizan, M. A. (2014). Microwave-assisted extraction of pectin from jackfruit rinds using different power levels. *International Food Research Journal*, 21(5), 2091.

- Kossoy, G. E. O. R. G. E., Ben-Hur, H., Stark, A., Zusman, I., & Madar, Z. (2001). Effects of a 15% orange-pulp diet on tumorigenesis and immune response in rats with colon tumors. *Oncology reports*, 8(6), 1387-1391.
- Koubala, B. B., Kansci, G., Mbome, L. I., Crépeau, M. J., Thibault, J. F., & Ralet, M. C. (2008). Effect of extraction conditions on some physicochemical characteristics of pectins from “Améliorée” and “Mango” mango peels. *Food Hydrocolloids*, 22(7), 1345-1351.
- Kozioł, A., Środa-Pomianek, K., Górniak, A., Wikiera, A., Cyprych, K., & Malik, M. (2022). Structural determination of pectins by spectroscopy methods. *Coatings*, 12(4), 546.
- Krambeck, K., Oliveira, A., Santos, D., Pintado, M. M., Baptista Silva, J., Sousa Lobo, J. M., & Amaral, M. H. (2020). Identification and quantification of stilbenes (piceatannol and resveratrol) in *Passiflora edulis* by-products. *Pharmaceuticals*, 13(4), 73.
- Kratchanova, M., Pavlova, E., & Panchev, I. (2004). The effect of microwave heating of fresh orange peels on the fruit tissue and quality of extracted pectin. *Carbohydrate polymers*, 56(2), 181-185.
- Kulkarni, S. G., & Vijayanand, P. (2010). Effect of extraction conditions on the quality characteristics of pectin from passion fruit peel (*Passiflora edulis* f. *flavicarpa* L.). *LWT-Food Science and Technology*, 43(7), 1026-1031.
- Kumar, A., & Chauhan, G. S. (2010). Extraction and characterization of pectin from apple pomace and its evaluation as lipase (steapsin) inhibitor. *Carbohydrate Polymers*, 82(2), 454-459.
- Kumar, K., Srivastav, S., & Sharanagat, V. S. (2021). Ultrasound assisted extraction (UAE) of bioactive compounds from fruit and vegetable processing by-products: A review. *Ultrasonics sonochemistry*, 70, 105325.
- Kumar, M., Tomar, M., Saurabh, V., Sasi, M., Punia, S., Potkule, J., ... & Kennedy, J. F. (2021). Delineating the inherent functional descriptors and biofunctionalities of pectic polysaccharides. *Carbohydrate Polymers*, 269, 118319.
- Kumar, P. S., Ramya, C., Jayakumar, R., & Lakshmanan, V. K. (2013). Drug delivery and tissue engineering applications of biocompatible pectin–chitin/nano CaCO₃ composite scaffolds. *Colloids and Surfaces B: Biointerfaces*, 106, 109-116.
- 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.
- Kumari, M., Singh, S., & Chauhan, A. K. (2023). A comparative study of the extraction of pectin from Kinnow (*Citrus reticulata*) peel using different techniques. *Food and Bioprocess Technology*, 16(10), 2272-2286.
- Kute, A. B., Mohapatra, D., Kotwaliwale, N., Giri, S. K., & Sawant, B. P. (2020). Characterization of pectin extracted from orange peel powder using microwave-assisted and acid extraction methods. *Agricultural Research*, 9(2), 241-248.
- Kyomugasho, C., Christiaens, S., Shpigelman, A., Van Loey, A. M., & Hendrickx, M. E. (2015). FT-IR spectroscopy, a reliable method for routine analysis of the degree of methylesterification of pectin in different fruit-and vegetable-based matrices. *Food Chemistry*, 176, 82-90.

- Lalhminghlui, K., & Jagetia, G. C. (2018). Evaluation of the free-radical scavenging and antioxidant activities of Chilauni, *Schima wallichii* Korth in vitro. *Future science OA*, 4(2), FSO272.
- Lan, G., Chen, H., Chen, S., & Tian, J. (2012). Chemical composition and physicochemical properties of dietary fiber from *Polygonatum odoratum* as affected by different processing methods. *Food Research International*, 49(1), 406-410.
- Lara-Espinoza, C., Carvajal-Millán, E., Balandrán-Quintana, R., López-Franco, Y., & Rascón-Chu, A. (2018). Pectin and pectin-based composite materials: Beyond food texture. *Molecules*, 23(4), 942.
- Larsen, N., Bussolo de Souza, C., Krych, L., Barbosa Cahú, T., Wiese, M., Kot, W., ... & Jespersen, L. (2019). Potential of pectins to beneficially modulate the gut microbiota depends on their structural properties. *Frontiers in microbiology*, 10, 223.
- Lattimer, J. M., & Haub, M. D. (2010). Effects of dietary fiber and its components on metabolic health. *Nutrients*, 2(12), 1266-1289.
- Leclere, L., Cutsem, P. V., & Michiels, C. (2013). Anti-cancer activities of pH-or heat-modified pectin. *Frontiers in pharmacology*, 4, 128.
- Leclere, L., Fransolet, M., Cote, F., Cambier, P., Arnould, T., Van Cutsem, P., & Michiels, C. (2015). Heat-modified citrus pectin induces apoptosis-like cell death and autophagy in HepG2 and A549 cancer cells. *PLoS One*, 10(3), e0115831.
- Leelamani, B., Sailaja, D., & Kamala, K. (2018). Determination and Partial Purification of Pectinase Enzyme Produced by *Aspergillus Niger* using Pineapple Peels as Sole Source of Carbon. *International Journal Of Engineering Development And Research*, 6(1), 696-700.
- Lefsih, K., Delattre, C., Pierre, G., Michaud, P., Aminabhavi, T. M., Dahmoune, F., ve Madani, K. (2016). Extraction, characterization and gelling behavior enhancement of pectins from the cladodes of *Opuntia ficus indica*. *International journal of biological macromolecules*, 82, 645-652.
- Leivas, C. L., Iacomini, M., & Cordeiro, L. M. (2016). Pectic type II arabinogalactans from starfruit (*Averrhoa carambola* L.). *Food Chemistry*, 199, 252-257.
- Leong, C. M., Noranizan, M. A., Kharidah, M., & Choo, W. S. (2016). Physicochemical properties of pectin extracted from jackfruit and chempedak fruit rinds using various acids. *International Food Research Journal*, 23(3), 973-978.
- Letellier, M., & Budzinski, H. (1999). Microwave assisted extraction of organic compounds. *Analisis*, 27(3), 259-270.
- Li, D. Q., Du, G. M., Jing, W. W., Li, J. F., Yan, J. Y., & Liu, Z. Y. (2015). Combined effects of independent variables on yield and protein content of pectin extracted from sugar beet pulp by citric acid. *Carbohydrate polymers*, 129, 108-114.
- Li, D. Q., Li, J., Dong, H. L., Li, X., Zhang, J. Q., Ramaswamy, S., & Xu, F. (2021). Pectin in biomedical and drug delivery applications: A review. *International journal of biological macromolecules*, 185, 49-65.
- Li, F., & Rao, G. (2024). Characterization of a pectin in fig fruit: Structure and anti-inflammatory activity. *Carbohydrate Research*, 544, 109226.

- Li, Q. M., Wang, J. F., Zha, X. Q., Pan, L. H., Zhang, H. L., & Luo, J. P. (2017). Structural characterization and immunomodulatory activity of a new polysaccharide from jellyfish. *Carbohydrate Polymers*, 159, 188-194.
- Li, W., Zhang, K., & Yang, H. (2018). Pectin alleviates high fat (lard) diet-induced nonalcoholic fatty liver disease in mice: possible role of short-chain fatty acids and gut microbiota regulated by pectin. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 66(30), 8015-8025.
- Li, X., Gao, K., Jinfeng, B., Wu, X., Li, X., & Guo, C. (2020). Investigation of the effects of apple polyphenols on the chromatic values of weakly acidic lysine-fructose maillard system solutions. *Lwt*, 125, 109237.
- Li, X., He, X., Lv, Y., & He, Q. (2014). Extraction and functional properties of water-soluble dietary fiber from apple pomace. *Journal of food process engineering*, 37(3), 293-298.
- Liang, Y., Yang, Y., Zheng, L., Zheng, X., Xiao, D., Wang, S., ... & Sheng, Z. (2022). Extraction of pectin from passion fruit peel: Composition, structural characterization and emulsion stability. *Foods*, 11(24), 3995.
- Liew, S. Q., Chin, N. L., & Yusof, Y. A. (2014). Extraction and characterization of pectin from passion fruit peels. *Agriculture and Agricultural Science Procedia*, 2, 231-236.
- Liew, S. Q., Ngoh, G. C., Yusoff, R., & Teoh, W. H. (2016). Sequential ultrasound-microwave assisted acid extraction (UMAE) of pectin from pomelo peels. *International journal of biological macromolecules*, 93, 426-435.
- Liew, S. Q., Ngoh, G. C., Yusoff, R., & Teoh, W. H. (2018). Acid and deep eutectic solvent (DES) extraction of pectin from pomelo (*Citrus grandis* (L.) Osbeck) peels. *Biocatalysis and agricultural biotechnology*, 13, 1-11.
- Lima, G. C., Vuolo, M. M., Batista, A. G., Dragano, N. R., Solon, C., & Junior, M. R. M. (2016). *Passiflora edulis* peel intake improves insulin sensitivity, increasing incretins and hypothalamic satietogenic neuropeptide in rats on a high-fat diet. *Nutrition*, 32(7-8), 863-870.
- Lin, Y., An, F., He, H., Geng, F., Song, H., & Huang, Q. (2021). Structural and rheological characterization of pectin from passion fruit (*Passiflora edulis* f. *flavicarpa*) peel extracted by high-speed shearing. *Food Hydrocolloids*, 114, 106555.
- Ling, B., Ramaswamy, H. S., Lyng, J. G., Gao, J., & Wang, S. (2023). Roles of physical fields in the extraction of pectin from plant food wastes and byproducts: A systematic review. *Food Research International*, 164, 112343.
- Liu, H., Xu, X. M., & Guo, S. D. (2008). Comparison of full-fat and low-fat cheese analogues with or without pectin gel through microstructure, texture, rheology, thermal and sensory analysis. *International Journal of Food Science and Technology*, 43(9), 1581-1592.
- Liu, L., Cao, J., Huang, J., Cai, Y., & Yao, J. (2010). Extraction of pectins with different degrees of esterification from mulberry branch bark. *Bioresource technology*, 101(9), 3268-3273.

- Liu, L., Sui, Y., Wang, T., Li, X., Chen, L., & Shi, M. (2024). Physicochemical and antioxidant properties of pectin from *Actinidia arguta* Sieb. et Zucc (*A. arguta*) extracted by ultrasonic. *Frontiers in Nutrition*, 11, 1349162.
- Liu, Y., Dong, M., Yang, Z., & Pan, S. (2016). Anti-diabetic effect of citrus pectin in diabetic rats and potential mechanism via PI3K/Akt signaling pathway. *International Journal of Biological Macromolecules*, 89, 484-488.
- Lootens, D., Capel, F., Durand, D., Nicolai, T., Boulenguer, P., & Langendorff, V. (2003). Influence of pH, Ca concentration, temperature and amidation on the gelation of low methoxyl pectin. *Food hydrocolloids*, 17(3), 237-244.
- López-Mata, M. A., Gastelum-Cabrera, M., Valbuena-Gregorio, E., Zamudio-Flores, P. B., Burrueal-Ibarra, S. E., Morales-Figueroa, G. G., ... & Juárez-Onofre, J. E. (2018). Physicochemical properties of novel pectin/Aloe gel membranes. *Iranian Polymer Journal*, 27, 545-553.
- López-Vargas, J. H., Fernández-López, J., Pérez-Álvarez, J. A., ve Viuda-Martos, M. (2013). Chemical, physico-chemical, technological, antibacterial and antioxidant properties of dietary fiber powder obtained from yellow passion fruit (*Passiflora edulis* var. *flavicarpa*) co-products. *Food Research International*, 51(2), 756-763.
- Lotzkar, H., Schultz, T. H., Owens, H. S., & Maclay, W. D. (1946). Effect of Salts on the Viscosity of Pectinic Acid Solutions. *The Journal of Physical Chemistry*, 50(3), 200-210.
- Löfgren, C. (2000). *Pectins-structure and gel forming properties: a literature review* [This review is a part of a PhD work, Chalmers University of Technology, Department of Food Science]. <https://ri.diva-portal.org/smash/get/diva2:959097/FULLTEXT01.pdf>
- Luque-Garcia, J. L., & De Castro, M. L. (2003). Ultrasound: a powerful tool for leaching. *TrAC Trends in Analytical Chemistry*, 22(1), 41-47.
- Ma, D., Dong, S., Zhang, S., Wei, X., Xie, Q., Ding, Q., ... & Zhang, X. (2021). Chromosome-level reference genome assembly provides insights into aroma biosynthesis in passion fruit (*Passiflora edulis*). *Molecular Ecology Resources*, 21(3), 955-968.
- Macedo, M. C. C., Correia, V. T. D. V., Silva, V. D. M., Pereira, D. T. V., Augusti, R., Melo, J. O. F., ... & Fante, C. A. (2023). Development and characterization of yellow passion fruit peel flour (*Passiflora edulis* f. *flavicarpa*). *Metabolites*, 13(6), 684.
- Macfarlane, G. T., & Macfarlane, S. (2012). Bacteria, colonic fermentation, and gastrointestinal health. *Journal of AOAC International*, 95(1), 50-60.
- Mackie, A., Rigby, N., Harvey, P., & Bajka, B. (2016). Increasing dietary oat fibre decreases the permeability of intestinal mucus. *Journal of functional foods*, 26, 418-427.
- Mada, T., Duraisamy, R., & Guesh, F. (2022). Optimization and characterization of pectin extracted from banana and papaya mixed peels using response surface methodology. *Food Science & Nutrition*, 10(4), 1222-1238.
- Maddakandage Dona, J. S. (2019). Isolation and characterization of pectin from pumpkin (*Cucurbita maxima*) waste and its food application. *Asian Food Science Journal*, 13(2), 1-9.

- Mahdy, S. Z., Amin, A. S., Abouzeid, R., Moustafa, I. M., Youssef, A. M., & El Habbasha, E. S. (2024). Pectin: methods of extraction and biomedical application. *Egyptian Journal of Chemistry*, 67(4), 461-483.
- Mahmoud, M. H., Abu-Salem, F. M., & Azab, D. E. S. H. (2022). A comparative study of pectin green extraction methods from apple waste: characterization and functional properties. *International journal of food science*, 2022(1), 2865921.
- Majhenič, L., Škerget, M., & Knez, Ž. (2007). Antioxidant and antimicrobial activity of guarana seed extracts. *Food chemistry*, 104(3), 1258-1268.
- Majid, M., Fallah-Joshaqani, S., Dalvi-Isfahan, M., & Hamdami, R. (2023). Comparison of conventional and microwave-assisted extraction of pectin from watermelon rind. *Journal of Polymers and the Environment*, 31(8), 3363-3371.
- Majzoob, S., Atyabi, F., Dorkoosh, F., Kafedjiiski, K., Loretz, B., & Bernkop-Schnürch, A. (2006). Pectin-cysteine conjugate: synthesis and in-vitro evaluation of its potential for drug delivery. *Journal of pharmacy and pharmacology*, 58(12), 1601-1610.
- Mamiru, D., & Gonfa, G. (2023). Extraction and characterization of pectin from watermelon rind using acetic acid. *Heliyon*, 9(2).
- Manjula, N., Kotha, H. K., & Vanitha, T. (2024). Valorization of passion and tamarillo fruit waste for extraction and characterization of pectin. *Waste and Biomass Valorization*, 15(9), 5263-5274.
- Mansor, M. H., Williamson, L., Ludwikowski, D., Howard, F., & Muthana, M. (2025). Pectin extraction from *citrus* waste: structural quality and yield with mineral and organic acids. *Physchem*, 5(3), 32.
- Mansouri, F. E., Silva, J. C. E., Cacciola, F., Asraoui, F., Tayeq, H., Ben Amar, Y. M., ... & Brigui, J. (2022). Evaluation of different extraction methods on the phenolic profile and the antioxidant potential of *Ceratonia siliqua* L. pods extracts. *Molecules*, 27(19), 6163.
- Manzocco, L., Calligaris, S., Mastrocola, D., Nicoli, M. C., & Lerici, C. R. (2000). Review of non-enzymatic browning and antioxidant capacity in processed foods. *Trends in food science & technology*, 11(9-10), 340-346.
- Mao, Y., Robinson, J. P., & Binner, E. R. (2023). Current status of microwave-assisted extraction of pectin. *Chemical Engineering Journal*, 473, 145261.
- Maran, J. P., & Prakash, K. A. (2015). Process variables influence on microwave assisted extraction of pectin from waste *Carcia papaya* L. peel. *International Journal of Biological Macromolecules*, 73, 202-206.
- Maran, J. P., Sivakumar, V., Thirugnanasambandham, K., & Sridhar, R. (2013). Optimization of microwave assisted extraction of pectin from orange peel. *Carbohydrate polymers*, 97(2), 703-709.
- Maria-Ferreira, D., Nascimento, A. M., Cipriani, T. R., Santana-Filho, A. P., Watanabe, P. D. S., Sant'Ana, D. D. M. G., ... & Baggio, C. H. (2018). Rhamnogalacturonan, a chemically-defined polysaccharide, improves intestinal barrier function in DSS-induced colitis in mice and human Caco-2 cells. *Scientific reports*, 8(1), 12261.
- Marić, M., Grassino, A. N., Zhu, Z., Barba, F. J., Brnčić, M., ve Brnčić, S. R. (2018). An overview of the traditional and innovative approaches for pectin extraction from

- plant food wastes and by-products: Ultrasound-, microwaves-, and enzyme-assisted extraction. *Trends in Food Science & Technology*, 76, 28-37.
- Marques, F. Z., Nelson, E., Chu, P. Y., Horlock, D., Fiedler, A., Ziemann, M., ... & Kaye, D. M. (2017). High-fiber diet and acetate supplementation change the gut microbiota and prevent the development of hypertension and heart failure in hypertensive mice. *Circulation*, 135(10), 964-977.
- Martău, G. A., Mihai, M., ve Vodnar, D. C. (2019). The use of chitosan, alginate, and pectin in the biomedical and food sector—biocompatibility, bioadhesiveness, and biodegradability. *Polymers*, 11(11), 1837.
- Martínez, R., Torres, P., Meneses, M. A., Figueroa, J. G., Pérez-Álvarez, J. A., & Viuda-Martos, M. (2012). Chemical, technological and in vitro antioxidant properties of mango, guava, pineapple and passion fruit dietary fibre concentrate. *Food chemistry*, 135(3), 1520-1526.
- Mary, P. R., Mutturi, S., & Kapoor, M. (2022). Non-enzymatically hydrolyzed guar gum and orange peel fibre together stabilize the low-fat, set-type yogurt: A techno-functional study. *Food Hydrocolloids*, 122, 107100.
- Masmoudi, M., Besbes, S., Abbes, F., Robert, C., Paquot, M., Blecker, C., & Attia, H. (2012). Pectin extraction from lemon by-product with acidified date juice: Effect of extraction conditions on chemical composition of pectins. *Food and bioprocess technology*, 5(2), 687-695.
- Masuelli, M. A. (2011). Viscometric study of pectin. Effect of temperature on the hydrodynamic properties. *International Journal of Biological Macromolecules*, 48(2), 286-291.
- Mateos-Aparicio, I., De la Peña Armada, R., Pérez-Cózar, M. L., Rupérez, P., Redondo-Cuenca, A., & Villanueva-Suárez, M. J. (2020). Apple by-product dietary fibre exhibits potential prebiotic and hypolipidemic effects in high-fat fed Wistar rats. *Bioactive Carbohydrates and Dietary Fibre*, 23, 100219.
- Mavi, K., ve Uzunoğlu, F. (2020). Advances in propagation technology in passion flower (*Passiflora* spp L.) species. *Mustafa Kemal Üniversitesi Tarım Bilimleri Dergisi*, 25(1), 84-100.
- Maxwell, E. G., Belshaw, N. J., Waldron, K. W., & Morris, V. J. (2012). Pectin—an emerging new bioactive food polysaccharide. *Trends in Food Science & Technology*, 24(2), 64-73.
- Maxwell, E. G., Colquhoun, I. J., Chau, H. K., Hotchkiss, A. T., Waldron, K. W., Morris, V. J., & Belshaw, N. J. (2016). Modified sugar beet pectin induces apoptosis of colon cancer cells via an interaction with the neutral sugar side-chains. *Carbohydrate polymers*, 136, 923-929.
- May, C. D. (1990). Industrial pectins: Sources, production and applications. *Carbohydrate polymers*, 12(1), 79-99.
- Mbaeyi-Nwaoha, D., Elizabeth, I., Nnamani, M., Lynda, C., Ndukwe, D., & Okoro, O. (2019). Evaluation of the effects of pectin extracted from jackfruit (*Artocarpus heterophyllus*) and passion fruit (*Passiflora edulis* var *flavicarpa* Deg.) peels on the quality attributes of yoghurt from skimmed milk. *Scholars Middle East Publishers, Dubai, United Arab Emirates*, 371-385.

- Mbaku, A. B., Ngwasiri, P. N., Ambindei, W. A., Ngwabie, N. M., & Ngassoum, M. B. (2023). Agrofood Waste and By-Product Valorization, Extraction, and Characterization of Pectin from the Waste Biomass Fruit Peel of *Aframomum angustifolium* Using Response Surface Methodology as Alternative Sources of a Functional Pectin. *International Journal of Chemical Engineering*, 2023(1), 5277914.
- McCready, R. M. (1966). Polysaccharides of sugar beet pulp, a review of their chemistry. *Journal of Sugarbeet Research*, 14(3), 260-270.
- McKay, S., Oranje, P., Helin, J., Koek, J. H., Kreijveld, E., van Den Abbeele, P., ... & Albers, R. (2021). Development of an affordable, sustainable and efficacious plant-based immunomodulatory food ingredient based on bell pepper or carrot RG-I pectic polysaccharides. *Nutrients*, 13(3), 963.
- Medeiros, J. D. S., Diniz, M. D. F. F. M., Srur, A. U. O. S., & Pessoa, M. B. (2009). Avaliação das atividade hipoglicemiantes e hipolipemiantes da casca do maracujá-amarelo (*Passiflora edulis*, f. *flavicarpa*). *Rev. bras. anal. Clin*, 99-101.
- Megías-Pérez, R., Ferreira-Lazarte, A., & Villamiel, M. (2023). Valorization of grape pomace as a renewable source of techno-functional and antioxidant pectins. *Antioxidants*, 12(4), 957.
- Mellinas, C., Ramos, M., Jiménez, A., & Garrigós, M. C. (2020). Recent trends in the use of pectin from agro-waste residues as a natural-based biopolymer for food packaging applications. *Materials*, 13(3), 673.
- Methacanon, P., Kongsin, J., & Gamonpilas, C. (2014). Pomelo (*Citrus maxima*) pectin: Effects of extraction parameters and its properties. *Food Hydrocolloids*, 35, 383-391.
- Mieszkowska, A., Folkert, J., Gaber, T., Miksch, K., & Gurzawska, K. (2017). Pectin nanocoating reduces proinflammatory 981 fibroblast response to bacteria. *Journal of biomedical materials research. Part A*, 105, 3475-3481.
- Min, B., Bae, I. Y., Lee, H. G., Yoo, S. H., & Lee, S. (2010). Utilization of pectin-enriched materials from apple pomace as a fat replacer in a model food system. *Bioresource technology*, 101(14), 5414-5418.
- Min, B., Lim, J., Ko, S., Lee, K. G., Lee, S. H., & Lee, S. (2011). Environmentally friendly preparation of pectins from agricultural byproducts and their structural/rheological characterization. *Bioresource Technology*, 102(4), 3855-3860.
- Minjares-Fuentes, R., Femenia, A., Garau, M. C., Meza-Velázquez, J. A., Simal, S., ve Rosselló, C. (2014). Ultrasound-assisted extraction of pectins from grape pomace using citric acid: A response surface methodology approach. *Carbohydrate polymers*, 106, 179-189.
- Minzanova, S. T., Mironov, V. F., Arkhipova, D. M., Khabibullina, A. V., Mironova, L. G., Zakirova, Y. M., & Milyukov, V. A. (2018). Biological activity and pharmacological application of pectic polysaccharides: A review. *Polymers*, 10(12), 1407.
- Mirhosseini, H., & Amid, B. T. (2012). Influence of chemical extraction conditions on the physicochemical and functional properties of polysaccharide gum from durian (*Durio zibethinus*) seed. *Molecules*, 17(6), 6465-6480.

- Mishra, R. K., Majeed, A. B. A., & Banthia, A. K. (2011). Development and characterization of pectin/gelatin hydrogel membranes for wound dressing. *International Journal of Plastics Technology*, 15, 82-95.
- Misra, N. N., & Yadav, S. K. (2020). Extraction of pectin from black carrot pomace using intermittent microwave, ultrasound and conventional heating: Kinetics, characterization and process economics. *Food Hydrocolloids*, 102, 105592.
- Misra, N. N., Martynenko, A., Chemat, F., Paniwnyk, L., Barba, F. J., & Jambak, A. R. (2018). Thermodynamics, transport phenomena, and electrochemistry of external field-assisted nonthermal food technologies. *Critical Reviews in Food Science and Nutrition*, 58(11), 1832-1863.
- Miyazawa, R., Tomomasa, T., Kaneko, H., Arakawa, H., Shimizu, N., & Morikawa, A. (2008). Effects of pectin liquid on gastroesophageal reflux disease in children with cerebral palsy. *BMC gastroenterology*, 8, 1-6.
- Mohamadzadeh, J., Sadeghi-Mahoonak, A. R., Yaghbani, M., & Aalami, M. (2010). Extraction of pectin from sunflower head residues of selected Iranian cultivars. *World Applied Sciences Journal*, 8(1), 21-24.
- Mohnen, D. (2008). Pectin structure and biosynthesis. *Current opinion in plant biology*, 11(3), 266-277.
- Mollea, C., Chiampo, F., & Conti, R. (2008). Extraction and characterization of pectins from cocoa husks: A preliminary study. *Food chemistry*, 107(3), 1353-1356.
- Monsoor, M. A. (2005). Effect of drying methods on the functional properties of soy hull pectin. *Carbohydrate polymers*, 61(3), 362-367.
- Monsoor, M. A., Kalapathy, U., & Proctor, A. (2001). Improved method for determination of pectin degree of esterification by diffuse reflectance Fourier transform infrared spectroscopy. *Journal of Agricultural and Food chemistry*, 49(6), 2756-2760.
- Moorthy, I. G., Maran, J. P., Muneeswari, S., Naganyashree, S., & Shivamathi, C. S. (2015). Response surface optimization of ultrasound assisted extraction of pectin from pomegranate peel. *International journal of biological macromolecules*, 72, 1323-1328.
- Morales-Contreras, B. E., Rosas-Flores, W., Contreras-Esquivel, J. C., Wicker, L., & Morales-Castro, J. (2018). Pectin from Husk Tomato (*Physalis ixocarpa* Brot.): Rheological behavior at different extraction conditions. *Carbohydrate polymers*, 179, 282-289.
- Morris, E. R., Powell, D. A., Gidley, M. J., & Rees, D. A. (1982). Conformations and interactions of pectins: I. Polymorphism between gel and solid states of calcium polygalacturonate. *Journal of molecular biology*, 155(4), 507-516.
- Morris, G. A., Foster, T. J., & Harding, S. E. (2000). The effect of the degree of esterification on the hydrodynamic properties of citrus pectin. *Food Hydrocolloids*, 14(3), 227-235.
- Morris, V. J., Gromer, A., Kirby, A. R., Bongaerts, R. J., & Gunning, A. P. (2011). Using AFM and force spectroscopy to determine pectin structure and (bio) functionality. *Food hydrocolloids*, 25(2), 230-237.

- Moslemi, M. (2021). Reviewing the recent advances in application of pectin for technical and health promotion purposes: From laboratory to market. *Carbohydrate Polymers*, 254, 117324.
- MS, U., Ferdosh, S., Haque Akanda, M. J., Ghafoor, K., AH, R., Ali, M. E., ... & Islam Sarker, M. Z. (2018). Techniques for the extraction of phytosterols and their benefits in human health: A review. *Separation Science and Technology*, 53(14), 2206-2223.
- Muhammad, K., Zahari, N. I. M., Gannasin, S. P., Adzahan, N. M., & Bakar, J. (2014). High methoxyl pectin from dragon fruit (*Hylocereus polyrhizus*) peel. *Food hydrocolloids*, 42, 289-297.
- Muhammad, N. W. F., Nurrulhidayah, A. F., Hamzah, M. S., Rashidi, O., & Rohman, A. (2020). Physicochemical properties of dragon fruit peel pectin and citrus peel pectin: A comparison. *Food Research*, 4(1), 266-273.
- Mukhiddinov, Z. K., Khalikov, D. K., Abdusamiev, F. T., & Avloev, C. C. (2000). Isolation and structural characterization of a pectin homo and ramnogalacturonan. *Talanta*, 53(1), 171-176.
- Munarin, F. A. B. I. O. L. A., Tanzi, M. C., & Petrini, P. A. O. L. A. (2012). Advances in biomedical applications of pectin gels. *International journal of biological macromolecules*, 51(4), 681-689.
- Munarin, F., Guerreiro, S. G., Grellier, M. A., Tanzi, M. C., Barbosa, M. A., Petrini, P., & Granja, P. L. (2011). Pectin-based injectable biomaterials for bone tissue engineering. *Biomacromolecules*, 12(3), 568-577.
- Muñoz-Almagro, N., Ruiz-Torralba, A., Méndez-Albiñana, P., Guerra-Hernández, E., García-Villanova, B., Moreno, R., ... & Montilla, A. (2021). Berry fruits as source of pectin: Conventional and non-conventional extraction techniques. *International Journal of Biological Macromolecules*, 186, 962-974.
- Muñoz-Almagro, N., Valadez-Carmona, L., Mendiola, J. A., Ibáñez, E., & Villamiel, M. (2019). Structural characterisation of pectin obtained from cacao pod husk. Comparison of conventional and subcritical water extraction. *Carbohydrate polymers*, 217, 69-78.
- Murayama, D., Rankin, S. A., & Ikeda, S. (2021). Effect of surfactant-induced competitive displacement of whey protein conjugated to acid-or alkali-extracted potato pectin on emulsion stability. *Food Hydrocolloids*, 114, 106558.
- Müller-Maatsch, J., Bencivenni, M., Caligiani, A., Tedeschi, T., Bruggeman, G., Bosch, M., ... & Sforza, S. (2016). Pectin content and composition from different food waste streams. *Food Chemistry*, 201, 37-45.
- Mzoughi, Z., Abdelhamid, A., Rihouey, C., Le Cerf, D., Bouraoui, A., & Majdoub, H. (2018). Optimized extraction of pectin-like polysaccharide from *Suaeda fruticosa* leaves: Characterization, antioxidant, anti-inflammatory and analgesic activities. *Carbohydrate polymers*, 185, 127-137.
- Nadar, C. G., Arora, A., & Shastri, Y. (2022). Sustainability challenges and opportunities in pectin extraction from fruit waste. *ACS Engineering Au*, 2(2), 61-74.
- Nangia-Makker, P., Hogan, V., Honjo, Y., Baccarini, S., Tait, L., Bresalier, R., & Raz, A. (2002). Inhibition of human cancer cell growth and metastasis in nude mice by

- oral intake of modified citrus pectin. *Journal of the National Cancer Institute*, 94(24), 1854-1862.
- Naqash, F., Masoodi, F. A., Gani, A., Nazir, S., & Jhan, F. (2021). Pectin recovery from apple pomace: physico-chemical and functional variation based on methylesterification. *International Journal of Food Science & Technology*, 56(9), 4669-4679.
- Naqash, F., Masoodi, F. A., Rather, S. A., Wani, S. M., & Gani, A. (2017). Emerging concepts in the nutraceutical and functional properties of pectin—A Review. *Carbohydrate polymers*, 168, 227-239.
- Narayan, A. V., & Srivastava, A. K. (2016). Recovery of bioactive compounds from tomato wastes-conventional vs. emerging technologies: A review. *Journal of Environmental Research And Development*, 10(3), 541.
- Nasseri, A. T., Thibault, J. F., & Ralet, M. C. (2008). Citrus pectin: Structure and application in acid dairy drinks. In N. Benkeblia & P. Tennant (Eds.), *Citrus I. Tree and Forestry Science and Biotechnology* (Vol 2, Special Issue 1, pp. 60-70). Global Science Books.
- Nešić, A., Gordić, M., Davidović, S., Radovanović, Ž., Nedeljković, J., Smirnova, I., & Gurikov, P. (2018). Pectin-based nanocomposite aerogels for potential insulated food packaging application. *Carbohydrate polymers*, 195, 128-135.
- Ngouémazong, D. E., Kabuye, G., Fraeye, I., Cardinaels, R., Van Loey, A., Moldenaers, P., & Hendrickx, M. (2012a). Effect of debranching on the rheological properties of Ca^{2+} -pectin gels. *Food Hydrocolloids*, 26(1), 44-53.
- Ngouémazong, D. E., Tengweh, F. F., Fraeye, I., Duvetter, T., Cardinaels, R., Van Loey, A., ... & Hendrickx, M. (2012b). Effect of de-methylesterification on network development and nature of Ca^{2+} -pectin gels: Towards understanding structure–function relations of pectin. *Food Hydrocolloids*, 26(1), 89-98.
- Ngouémazong, E. D., Christiaens, S., Shpigelman, A., Van Loey, A., & Hendrickx, M. (2015). The emulsifying and emulsion-stabilizing properties of pectin: A review. *Comprehensive Reviews in Food Science and Food Safety*, 14(6), 705-718.
- Nguyen, B. M. N., & Pirak, T. (2019). Physicochemical properties and antioxidant activities of white dragon fruit peel pectin extracted with conventional and ultrasound-assisted extraction. *Cogent Food & Agriculture*, 5(1), 1633076.
- Nguyen, T. H., Tran, H. X. N., Vu, T. T., Ho, T. T. L., & Van Nguyen, T. T. (2022). The effects of extraction conditions on the yield of crude pectin extract from passion fruit (*Passiflora edulis* Sims.) and the application of the extract on jam forming ability. *CTU Journal of Innovation and Sustainable Development*, 14(2), 99-108.
- Nguyen, V. T., & Quyen, D. X. (2022). Investigating the high yield extraction of pectin from *Crissampelos Pareira* L. Vat. *Hirsute* planted in Vietnam. *International Journal of Scientific Research and Management*, 10(1), 117-124.
- Nicholson, J. K., Holmes, E., Kinross, J., Burcelin, R., Gibson, G., Jia, W., & Pettersson, S. (2012). Host-gut microbiota metabolic interactions. *Science*, 336(6086), 1262-1267.
- Niki, E. (2010). Assessment of antioxidant capacity in vitro and in vivo. *Free Radical Biology and Medicine*, 49(4), 503-515.

- Ning, X., Zhou, Y., Wang, Z., Zheng, X., Pan, X., Chen, Z., ... & Wang, L. (2022). Evaluation of passion fruit mesocarp flour on the paste, dough, and quality characteristics of dried noodles. *Food Science & Nutrition*, 10(5), 1657-1666.
- Nisar, T., Yang, X. I., Alim, A., Iqbal, M., Wang, Z. C., & Guo, Y. (2019). Physicochemical responses and microbiological changes of bream (*Megalobrama amblycephala*) to pectin based coatings enriched with clove essential oil during refrigeration. *International Journal of Biological Macromolecules*, 124, 1156-1166.
- Niu, H., Chen, X., Luo, T., Chen, H., & Fu, X. (2022). Relationships between the behavior of three different sources of pectin at the oil-water interface and the stability of the emulsion. *Food Hydrocolloids*, 128, 107566.
- Nkafamiya, I. I., Jude, E. E., Jen, D. B., & Ernest, I. (2019). Physicochemical Characterization and FTIR Spectroscopic Study of Pectin from *Bombax ceiba* (Bamta) Fruit. *Pakistan Journal of Scientific & Industrial Research Series A: Physical Sciences*, 62(2).
- Novosel'Skaya, I. L., Voropaeva, N. L., Semenova, L. N., & Rashidova, S. S. (2000). Trends in the science and applications of pectins. *Chemistry of Natural Compounds*, 36, 1-10.
- Nsom, M. V., Etape, E. P., Tendo, J. F., Namond, B. V., Chongwain, P. T., Yufanyi, M. D., & William, N. (2019). A green and facile approach for synthesis of starch-pectin magnetite nanoparticles and application by removal of methylene blue from textile effluent. *Journal of Nanomaterials*, 2019(1), 4576135.
- Nurul, S. R., & Asmah, R. (2014). Variability in nutritional composition and phytochemical properties of red pitaya (*Hylocereus polyrhizus*) from Malaysia and Australia. *International Food Research Journal*, 21(4).
- O'brien, F. J. (2011). Biomaterials & scaffolds for tissue engineering. *Materials today*, 14(3), 88-95.
- O'Neill, M. A., Ishii, T., Albersheim, P., & Darvill, A. G. (2004). Rhamnogalacturonan II: structure and function of a borate cross-linked cell wall pectic polysaccharide. *Annu. Rev. Plant Biol.*, 55(1), 109-139.
- Ogbonna, C., & Kavaz, D. (2022). Development of novel silver-apple pectin nanocomposite beads for antioxidant, antimicrobial and anticancer studies. *Biologia*, 77(3), 879-891.
- Ogut, F. O., Mu, T. H., Sun, H., & Zhang, M. (2018). Ultrasonic modified sweet potato pectin induces apoptosis like cell death in colon cancer (HT-29) cell line. *Nutrition and Cancer*, 70(1), 136-145.
- Olano-Martin, E., Rimbach, G. H., Gibson, G. R., & Rastall, R. A. (2003). Pectin and pectic-oligosaccharides induce apoptosis in in vitro human colonic adenocarcinoma cells. *Anticancer research*, 23(1A), 341-346.
- Oliveira, L. F. D., Nascimento, M. R. F., Borges, S. V., Ribeiro, P. C. D. N., & Ruback, V. R. (2002). Aproveitamento alternativo da casca do maracujá-amarelo (*Passiflora edulis* f. *flavicarpa*) para produção de doce em calda. *Food Science and Technology*, 22, 259-262.

- Onumpai, C., Kolida, S., Bonnin, E., & Rastall, R. A. (2011). Microbial utilization and selectivity of pectin fractions with various structures. *Applied and Environmental Microbiology*, 77(16), 5747-5754.
- Orqueda, M. E., Zampini, I. C., Torres, S., & Isla, M. I. (2023). Functional characterization and toxicity of pectin from red Chilot fruit waste (peels). *Plants*, 12(14), 2603.
- Oumer, O. J. (2017). Pectinase: substrate, production and their biotechnological applications. *International Journal of Environment, Agriculture and Biotechnology*, 2(3), 1007-1014.
- Paderin, N. M., & Popov, S. V. (2018). The effect of dietary pectins on object recognition memory, depression-like behaviour, and il-6 in mouse hippocampi. *Journal of Functional Foods*, 43, 131-138.
- Panchev, I. N. K. N. A., Kirchev, N., & Kratchanov, C. (1988). Improving pectin technology. II. Extraction using ultrasonic treatment. *International Journal of Food Science & Technology*, 23(4), 337-341.
- Panchev, I. N., Slavov, A., Nikolova, K., & Kovacheva, D. (2010). On the water-sorption properties of pectin. *Food Hydrocolloids*, 24(8), 763-769.
- Panwar, D., Panesar, P. S., & Chopra, H. K. (2023). Ultrasound-assisted extraction of pectin from *Citrus limetta* peels: Optimization, characterization, and its comparison with commercial pectin. *Food Bioscience*, 51, 102231.
- Pappas, C. S., Malovikova, A., Hromadakikaova, Z., Tarantilis, P. A., Ebringerova, A., & Polissiou, M. G. (2004). Determination of the degree of esterification of pectinates with decyl and benzyl ester groups by diffuse reflectance infrared Fourier transform spectroscopy (DRIFTS) and curve-fitting deconvolution method. *Carbohydrate Polymers*, 56(4), 465-469.
- Pappolla, M. A., Perry, G., Fang, X., Zagorski, M., Sambamurti, K., & Poeggeler, B. (2021). Indoles as essential mediators in the gut-brain axis. Their role in Alzheimer's disease. *Neurobiology of disease*, 156, 105403.
- Pasandide, B., Khodaiyan, F., Mousavi, Z. E., & Hosseini, S. S. (2017). Optimization of aqueous pectin extraction from *Citrus medica* peel. *Carbohydrate polymers*, 178, 27-33.
- Pasandide, B., Khodaiyan, F., Mousavi, Z., & Hosseini, S. S. (2018). Pectin extraction from citron peel: optimization by Box–Behnken response surface design. *Food science and biotechnology*, 27(4), 997-1005.
- Pascale, N., Gu, F., Larsen, N., Jespersen, L., & Respondek, F. (2022). The potential of pectins to modulate the human gut microbiota evaluated by in vitro fermentation: A systematic review. *Nutrients*, 14(17), 3629.
- Passiflora* L. in GBIF Secretariat (2023). GBIF Backbone Taxonomy. <https://doi.org/10.15468/39omei>. <https://www.gbif.org/species/2874172> (Erişim tarihi: 27.12.2025).
- Patidar, M. K., Nighojkar, S., Kumar, A., & Nighojkar, A. (2018). Pectinolytic enzymes-solid state fermentation, assay methods and applications in fruit juice industries: a review. *3 Biotech*, 8(4), 199.

- Peng, X. Y., Mu, T. H., Zhang, M., Sun, H. N., Chen, J. W., & Yu, M. (2015). Optimisation of production yield by ultrasound-/microwave-assisted acid method and functional property of pectin from sugar beet pulp. *International Journal of Food Science & Technology*, 50(3), 758-765.
- Pereira, D. T. V., Méndez-Albiñana, P., Mendiola, J. A., Villamiel, M., Cifuentes, A., Martínez, J., & Ibáñez, E. (2024). An eco-friendly extraction method to obtain pectin from passion fruit rinds (*Passiflora edulis* sp.) using subcritical water and pressurized natural deep eutectic solvents. *Carbohydrate Polymers*, 326, 121578.
- Pereira, Z. C., dos Anjos Cruz, J. M., Corrêa, R. F., Sanches, E. A., Campelo, P. H., & de Araújo Bezerra, J. (2023). Passion fruit (*Passiflora* spp.) pulp: A review on bioactive properties, health benefits and technological potential. *Food Research International*, 166, 112626.
- Pérez, J., Gómez, K., & Vega, L. (2022). Optimization and preliminary physicochemical characterization of pectin extraction from watermelon rind (*Citrullus lanatus*) with citric acid. *International journal of food science*, 2022(1), 3068829.
- Perussello, C. A., Zhang, Z., Marzocchella, A., & Tiwari, B. K. (2017). Valorization of apple pomace by extraction of valuable compounds. *Comprehensive Reviews in Food Science and Food Safety*, 16(5), 776-796.
- Petkowicz, C. L. O., Vriesmann, L. C., & Williams, P. A. (2017). Pectins from food waste: Extraction, characterization and properties of watermelon rind pectin. *Food Hydrocolloids*, 65, 57-67.
- Petruzzello, L., Iacopini, F., Bulajic, M., Shah, S., & Costamagna, G. (2006). Uncomplicated diverticular disease of the colon. *Alimentary pharmacology & therapeutics*, 23(10), 1379-1391.
- Phan, T. T. M., & Ngo, T. S. (2020). Pectin and cellulose extraction from passion fruit peel waste. *Vietnam Journal of Science, Technology and Engineering*, 62(1), 32-37.
- Phayel, K., Sangroula, G., Sangroula, A., & Niraula, P. (2025). Pectin Isolation from Interdonato Lemon (*Citrus-limon*) Using Various Solvents and Its Application in Pineapple Jelly. *Food Science and Engineering*, 70-86.
- Picot-Allain, M. C. N., Ramasawmy, B., & Emmambux, M. N. (2022). Extraction, characterisation, and application of pectin from tropical and sub-tropical fruits: a review. *Food Reviews International*, 38(3), 282-312.
- Pienta, K. J., Nailk, H., Akhtar, A., Yamazaki, K., Replogle, T. S., Lehr, J., ... & Raz, A. (1995). Inhibition of spontaneous metastasis in a rat prostate cancer model by oral administration of modified *citrus* pectin. *JNCI: Journal of the National Cancer Institute*, 87(5), 348-353.
- Pimisa, R., Bankeeree, W., Maneerat, S., Pongcharoen, P., Prasongsuk, S., & Hwanhlem, N. (2024). Extraction and characterization of pectin from passion fruit peel, and its application in synbiotic ice cream: A study from Phetchabun, Thailand. *Future Foods*, 10, 100510.
- Pineli, L. D. L. D. O., Moretti, C. L., dos Santos, M. S., Campos, A. B., Brasileiro, A. V., Córdova, A. C., & Chiarello, M. D. (2011). Antioxidants and other chemical and physical characteristics of two strawberry cultivars at different ripeness stages. *Journal of Food Composition and Analysis*, 24(1), 11-16.

- Pinheiro, E. R., Silva, I. M. D. A., Gonzaga, L. V., Amante, E. R., Teófilo, R. F., Ferreira, M. M. C., & Amboni, R. D. M. C. (2008). Optimization of extraction of high-ester pectin from passion fruit peel (*Passiflora edulis flavicarpa*) with citric acid by using response surface methodology. *Bioresource Technology*, 99(13), 5561–5566.
- Polanco-Lugo, E., Martínez-Castillo, J. I., Cuevas-Bernardino, J. C., González-Flores, T., Valdez-Ojeda, R., Pacheco, N., & Ayora-Talavera, T. (2019). *Citrus* pectin obtained by ultrasound-assisted extraction: Physicochemical, structural, rheological and functional properties. *CyTA-Journal of Food*, 17(1), 463-471.
- Polo-Murcia, S. M., Chaali, N., Jaramillo-Barrios, C. I., Ouazaa, S., Polo, V. J., & Carvajal, J. E. C. (2025). An ecological, environmental, and economic indicators-based approach towards enhancing sustainability in water and nutrient use for passion fruit cultivation in Colombia. *Environmental and Sustainability Indicators*, 26, 100602.
- Pontes, M., Marques, J. C., & Câmara, J. S. (2009). Headspace solid-phase microextraction-gas chromatography-quadrupole mass spectrometric methodology for the establishment of the volatile composition of *Passiflora* fruit species. *Microchemical journal*, 93(1), 1-11
- Popov, S. V., Markov, P. A., Nikitina, I. R., Petrishev, S., Smirnov, V., & Ovodov, Y. S. (2006). Preventive effect of a pectic polysaccharide of the common cranberry *Vaccinium oxycoccos* L. on acetic acid-induced colitis in mice. *World journal of gastroenterology: WJG*, 12(41), 6646.
- Popov, S. V., Markov, P. A., Popova, G. Y., Nikitina, I. R., Efimova, L., & Ovodov, Y. S. (2013). Anti-inflammatory activity of low and high methoxylated *citrus* pectins. *Biomedicine & Preventive Nutrition*, 3(1), 59-63.
- Poutanen, K. S., Fiszman, S., Marsaux, C. F., Pentikäinen, S. P., Steinert, R. E., & Mela, D. J. (2018). Recommendations for characterization and reporting of dietary fibers in nutrition research. *The American journal of clinical nutrition*, 108(3), 437-444.
- Pranil, T., Moongngarm, A., Manwiwattanakul, G., Loypimai, P., & Kerr, W. L. (2021). Melatonin and its derivative contents in tropical fruits and fruit tablets. *Journal of Food Composition and Analysis*, 103, 104109.
- Putnik, P., Bursać Kovačević, D., Režek Jambrak, A., Barba, F. J., Cravotto, G., Binello, A., ... & Shpigelman, A. (2017). Innovative “green” and novel strategies for the extraction of bioactive added value compounds from *citrus* wastes—A review. *Molecules*, 22(5), 680.
- Qi, P. X., Xiao, Y., & Wickham, E. D. (2017). Changes in physical, chemical and functional properties of whey protein isolate (WPI) and sugar beet pectin (SBP) conjugates formed by controlled dry-heating. *Food Hydrocolloids*, 69, 86-96.
- Qiao, Y., Shen, Y., Jiang, H., Li, D., & Li, B. (2024). Structural characterization, antioxidant and antibacterial activity of three pectin polysaccharides from blueberry. *International Journal of Biological Macromolecules*, 262, 129707
- Quoc, T., & Pham, L. (2022). Microwave-Assisted Extraction of Pectin from Passion Fruit Peels under Alkaline Conditions. *Agriculturae Conspectus Scientificus*, 87(1), 45-50.

- Rai, S. K., Chaturvedi, K., & Yadav, S. K. (2019). Evaluation of structural integrity and functionality of commercial pectin based edible films incorporated with corn flour, beetroot, orange peel, muesli and rice flour. *Food Hydrocolloids*, 91, 127-135.
- Rajamma, S. S., Krishnaswami, V., & Kandasamy, R. (2022). Functional role of prebiotic supplement in brain signalling. *Microbiome-Gut-Brain Axis: Implications on Health*, 215-236.
- Raji, Z., Khodaiyan, F., Rezaei, K., Kiani, H., & Hosseini, S. S. (2017). Extraction optimization and physicochemical properties of pectin from melon peel. *International journal of biological macromolecules*, 98, 709-716.
- Rakitikul, W., Tammasat, T., Udjai, J., & Nimmanpipug, P. (2016). Experimental and Dft Study of Gelling Factor Of Pectin. *Suranaree Journal of Science & Technology*, 23(4). 421-428.
- RamachandraRao Sonale, S., Pothuvan Kunnummal, S., Sori, N., Reddy, J. P., & Khan, M. (2022). Low methoxy feruloylated pectin from beetroot: Antioxidant and prebiotic properties. *Journal of Food Processing and Preservation*, 46(12), e17240.
- Ramaiya, S. D., Bujang, J. B., Zakaria, M. H., & Saupi, N. (2019). Nutritional, mineral and organic acid composition of passion fruit (*Passiflora* species). *Food Research*, 3(3), 231-240.
- Ramaiya, S. D., Bujang, J. S., & Zakaria, M. H. (2018). Nutritive values of passion fruit (*Passiflora* species) seeds and its role in human health. *Journal of Agriculture Food and Development*, 4(1), 23-30.
- Rambhia, K. J., & Ma, P. X. (2015). Controlled drug release for tissue engineering. *Journal of Controlled Release*, 219, 119-128.
- Ramirez, V., Arango, S. S., Maldonado, M. E., Uribe, D., Aguillon, J., Quintero, J. P., & Loango, N. (2019). Biological activity of *Passiflora edulis* f. *flavicarpa* ethanolic leaves extract on human colonic adenocarcinoma cells. *Journal of applied pharmaceutical science*, 9(2), 064-071.
- Ramli, N. S., Ismail, P., & Rahmat, A. (2014). Influence of conventional and ultrasonic-assisted extraction on phenolic contents, betacyanin contents, and antioxidant capacity of red dragon fruit (*Hylocereus polyrhizus*). *The Scientific World Journal*, 2014(1), 964731.
- Ren, T., Liu, F., Wang, D., Li, B., Jiang, P., Li, J., ... & Jiao, L. (2023). Rhamnogalacturonan-I enriched pectin from steamed ginseng ameliorates lipid metabolism in type 2 diabetic rats via gut microbiota and AMPK pathway. *Journal of Ethnopharmacology*, 301, 115862.
- Ren, Y., Mao, S., Zeng, Y., Chen, S., Tian, J., & Ye, X. (2023). Pectin from *Citrus unshiu* Marc. Alleviates Glucose and Lipid Metabolism by Regulating the Gut Microbiota and Metabolites. *Foods*, 12(22), 4094.
- Rentería-Ortega, M., Colín-Alvarez, M. D. L., Gaona-Sánchez, V. A., Chalapud, M. C., García-Hernández, A. B., León-Espinosa, E. B., ... & Calderón-Domínguez, G. (2023). Characterization and Applications of the Pectin Extracted from the Peel of *Passiflora tripartita* var. *mollissima*. *Membranes*, 13(9), 797.

- Reolon, C. A., Braga, G. C., & Salibe, A. B. (2009). Características físico-químicas da casca do maracujá amarelo em diferentes estádios de maturação. *Boletim do Centro de Pesquisa e Processamento de Alimentos*, 27, 305-312.
- Research and Markets, (2025). https://www.researchandmarkets.com/report/pectin?srsId=AfmBOopK7f_xTcCScoM8XLJIxGQIzwxDPQ-NTy604fmydPssrsKqLvPx (Erişim tarihi: 01.11.2025).
- Ribeiro, T. H. S., Bolanho, B. C., Montanuci, F. D., & Ruiz, S. P. (2018). Physicochemical and sensory characterization of gluten-free fresh pasta with addition of passion fruit peel flour. *Ciência Rural*, 48(12), e20180508.
- Ridley, B. L., O'Neill, M. A., & Mohnen, D. (2001). Pectins: structure, biosynthesis, and oligogalacturonide-related signaling. *Phytochemistry*, 57(6), 929-967.
- Ripa, F. A., Haque, M., Nahar, L., ve Islam, M. M. (2009). Antibacterial, cytotoxic and antioxidant activity of *Passiflora edulis* Sims. *Eur J Sci Res*, 31(4), 592-598.
- Riyamol, Gada Chengaiyan, J., Rana, S. S., Ahmad, F., Haque, S., & Capanoglu, E. (2023). Recent advances in the extraction of pectin from various sources and industrial applications. *ACS omega*, 8(49), 46309-46324.
- Rodsamran, P., & Sothornvit, R. (2019). Preparation and characterization of pectin fraction from pineapple peel as a natural plasticizer and material for biopolymer film. *Food and Bioproducts Processing*, 118, 198-206.
- Roman-Benn, A., Contador, C. A., Li, M. W., Lam, H. M., Ah-Hen, K., Ulloa, P. E., & Ravanal, M. C. (2023). Pectin: An overview of sources, extraction and applications in food products, biomedical, pharmaceutical and environmental issues. *Food Chemistry Advances*, 2, 100192.
- Routray, W., & Orsat, V. (2012). Microwave-assisted extraction of flavonoids: a review. *Food and Bioprocess Technology*, 5, 409-424.
- Rubio-Senent, F., Rodríguez-Gutiérrez, G., Lama-Muñoz, A., & Fernández-Bolaños, J. (2015). Pectin extracted from thermally treated olive oil by-products: Characterization, physico-chemical properties, in vitro bile acid and glucose binding. *Food Hydrocolloids*, 43, 311-321.
- Saelee, M., Myo, H., & Khat-Udomkiri, N. (2025). Sustainable pectin extraction from Riang husk using ultrasound-assisted extraction with deep eutectic solvents and its potential in antipollution products. *Ultrasonics Sonochemistry*, 114, 107256.
- Said, N. S., Olawuyi, I. F., & Lee, W. Y. (2023). Pectin hydrogels: Gel-forming behaviors, mechanisms, and food applications. *Gels*, 9(9), 732.
- Sakamoto, T., Yoshinaga, J., Shogaki, T., & Sakai, T. (1993). Studies on protopectinase-C mode of action: analysis of the chemical structure of the specific substrate in sugar beet protopectin and characterization of the enzyme activity. *Bioscience, biotechnology, and biochemistry*, 57(11), 1832-1837.
- Sakooei-Vayghan, R., Peighambaroust, S. H., Hesari, J., & Peressini, D. (2020). Effects of osmotic dehydration (with and without sonication) and pectin-based coating pretreatments on functional properties and color of hot-air dried apricot cubes. *Food chemistry*, 311, 125978.

- Salman, H., Bergman, M., Djaldetti, M., Orlin, J., & Bessler, H. (2008). *Citrus pectin affects cytokine production by human peripheral blood mononuclear cells. Biomedicine & Pharmacotherapy*, 62(9), 579-582.
- Samota, M. K., Kaur, M., Sharma, M., Krishnan, V., Thakur, J., Rawat, M., ... & Guru, P. N. (2023). Hesperidin from *citrus* peel waste: extraction and its health implications. *Quality Assurance and Safety of Crops & Foods*, 15(2), 71-99.
- Sandarani, M. D. J. C. (2017). A review: different extraction techniques of pectin. *Journal of Pharmacognosy & Natural Products*, 3(03).
- Sangpimpa, W., Srichan, P., Banpacha, N., Janpeng, H., Setthaya, P., & Samakradhamrongthai, R. S. (2025). Enhancing waste utilization: efficient pectin extraction from mustard seed by-products. *International Journal of Food Science and Technology*, 60(1), vvae068.
- Santiago-Gómez, I., Carrera-Lanestosa, A., González-Alejo, F. A., Guerra-Que, Z., García-Alamilla, R., Rivera-Armenta, J. L., & García-Alamilla, P. (2025). Pectin Extraction Process from Cocoa Pod Husk (*Theobroma cacao* L.) and Characterization by Fourier Transform Infrared Spectroscopy. *ChemEngineering*, 9(2), 25.
- Santos, E. E., Amaro, R. C., Bustamante, C. C. C., Guerra, M. H. A., Soares, L. C., & Froes, R. E. S. (2020). Extraction of pectin from agroindustrial residue with an ecofriendly solvent: Use of FTIR and chemometrics to differentiate pectins according to degree of methyl esterification. *Food Hydrocolloids*, 107, 105921.
- Santos, E., Andrade, R., & Gouveia, E. (2017). Utilization of the pectin and pulp of the passion fruit from *Caatinga* as probiotic food carriers. *Food bioscience*, 20, 56-61.
- Santos, J. L., Matsumoto, S. N., Oliveira, P. N. D., Oliveira, L. S. D., & Silva, R. D. A. (2016). Morphophysiological analysis of passion fruit plants from different propagation methods and planting spacing. *Revista Caatinga*, 29(02), 305-312.
- Saravanan, R., & Jeevitha, G. C. (2024). Sustainable approach for utilization of mango peel wastes for pectin extraction by natural deep eutectic solvents. *Journal of Food Processing and Preservation*, 2024(1), 4540390.
- Satari, B., & Karimi, K. (2018). Citrus processing wastes: Environmental impacts, recent advances, and future perspectives in total valorization. *Resources, Conservation and Recycling*, 129, 153-167.
- Sayah, M. Y., Chabir, R., Benyahia, H., Rodi Kandri, Y., Ouazzani Chahdi, F., Touzani, H., & Errachidi, F. (2016). Yield, esterification degree and molecular weight evaluation of pectins isolated from orange and grapefruit peels under different conditions. *PloS one*, 11(9), e0161751.
- Sayed, M. A., Kumar, J., Rahman, M. R., Noor, F., & Alam, M. A. (2022). Effect of extraction parameters on the yield and quality of pectin from mango (*Mangifera indica* L.) peels. *Discover Food*, 2(1), 28.
- Scheller, H. V., Jensen, J. K., Sørensen, S. O., Harholt, J., & Geshi, N. (2007). Biosynthesis of pectin. *Physiologia plantarum*, 129(2), 283-295.
- Schepetkin, I. A., & Quinn, M. T. (2006). Botanical polysaccharides: macrophage immunomodulation and therapeutic potential. *International immunopharmacology*, 6(3), 317-333.

- Scherer, R., & Godoy, H. T. (2009). Antioxidant activity index (AAI) by the 2, 2-diphenyl-1-picrylhydrazyl method. *Food chemistry*, 112(3), 654-658.
- Seisun, D., & Zalesny, N. (2021). Strides in food texture and hydrocolloids. *Food Hydrocolloids*, 117, 106575.
- Seixas, F. L., Fukuda, D. L., Turbiani, F. R., Garcia, P. S., Petkowicz, C. L. D. O., Jagadevan, S., & Gimenes, M. L. (2014). Extraction of pectin from passion fruit peel (*Passiflora edulis* f. *flavicarpa*) by microwave-induced heating. *Food Hydrocolloids*, 38, 186-192.
- Sellappan, S., Akoh, C. C., & Krewer, G. (2002). Phenolic compounds and antioxidant capacity of Georgia-grown blueberries and blackberries. *Journal of agricultural and food chemistry*, 50(8), 2432-2438
- Selma-Royo, M., González, S., Gueimonde, M., Chang, M., Fürst, A., Martínez-Costa, C., ... & Collado, M. C. (2022). Maternal diet is associated with human milk oligosaccharide profile. *Molecular nutrition & food research*, 66(15), 2200058.
- Septembre-Malaterre, A., Stanislas, G., Douraguia, E., & Gonthier, M. P. (2016). Evaluation of nutritional and antioxidant properties of the tropical fruits banana, litchi, mango, papaya, passion fruit and pineapple cultivated in Réunion French Island. *Food Chemistry*, 212, 225-233.
- Serrafi, A., Wikiera, A., Cyprych, K., & Malik, M. (2025). Spectroscopic and microscopic analysis of apple pectins. *Molecules*, 30(7), 1633.
- Setyajati, F. D., Prasetyo, V. K., Husin, A. S., Ratri, M. C., Junedi, S., Sanjayadi, S., & Setiawati, A. (2023). Comparative Physicochemical Properties of Isolated Pectin from Various Tropical Fruit Peel Wastes. *Tropical Journal of Natural Product Research*, 7(2).
- Seyhan, S. A. (2019). DPPH antioksidan analizinin yeniden değerlendirilmesi. *Batman Üniversitesi Yaşam Bilimleri Dergisi*, 9(2), 125-135.
- Shafie, M. H., Yusof, R., & Gan, C. Y. (2019). Deep eutectic solvents (DES) mediated extraction of pectin from *Averrhoa bilimbi*: Optimization and characterization studies. *Carbohydrate Polymers*, 216, 303-311.
- Shahin, L., Zhang, L., Mohnen, D., & Urbanowicz, B. R. (2023). Insights into pectin O-acetylation in the plant cell wall: structure, synthesis, and modification. *The Cell Surface*, 9, 100099.
- Sharif, M., Khan, M. A., Iqbal, Z., Azam, M. F., Lali, M. I. U., & Javed, M. Y. (2018). Detection and classification of *citrus* diseases in agriculture based on optimized weighted segmentation and feature selection. *Computers and electronics in agriculture*, 150, 220-234.
- Sharma, B. R., Naresh, L., Dhuldhoya, N. C., Merchant, S. U., & Merchant, U. C. (2006). An overview on pectins. *Times Food Processing Journal*, 23(2), 44-51.
- Sharma, O. P., & Bhat, T. K. (2009). DPPH antioxidant assay revisited. *Food chemistry*, 113(4), 1202-1205.
- Sherry, C. L., Kim, S. S., Dilger, R. N., Bauer, L. L., Moon, M. L., Tapping, R. I., ... & Freund, G. G. (2010). Sickness behavior induced by endotoxin can be mitigated by the dietary soluble fiber, pectin, through up-regulation of IL-4 and Th2 polarization. *Brain, behavior, and immunity*, 24(4), 631-640.

- Shivamathi, C. S., Gunaseelan, S., Soosai, M. R., Vignesh, N. S., Varalakshmi, P., Kumar, R. S., ... & Moorthy, I. M. G. (2022). Process optimization and characterization of pectin derived from underexploited pineapple peel biowaste as a value-added product. *Food Hydrocolloids*, 123, 107141.
- Shrestha, L., Kulig, B., Moschetti, R., Massantini, R., Pawelzik, E., Hensel, O., & Sturm, B. (2020). Optimisation of physical and chemical treatments to control browning development and enzymatic activity on fresh-cut apple slices. *Foods*, 9(1), 76.
- Sila, D. N., Van Buggenhout, S., Duvetter, T., Fraeye, I., De Roeck, A., Van Loey, A., & Hendrickx, M. (2009). Pectins in processed fruits and vegetables: Part II—Structure–function relationships. *Comprehensive Reviews in Food Science and Food Safety*, 8(2), 86-104.
- Silva, D. C., Freitas, A. L., Pessoa, C. D., Paula, R. C., Mesquita, J. X., Leal, L. K., ... & Viana, G. S. (2011). Pectin from *Passiflora edulis* shows anti-inflammatory action as well as hypoglycemic and hypotriglyceridemic properties in diabetic rats. *Journal of medicinal food*, 14(10), 1118-1126.
- Silva, G. C. D., Salvador, M. J., & Bottoli, C. B. G. (2020). Towards the cosmetic application of *Passiflora coccinea* (Aubl.): antioxidant activity and photo protective capacity of the methanolic and glycolic leaf extracts. *Brazilian Journal of Pharmaceutical Sciences*, 56, e17691.
- Silva, J. R. G., & de Resende, E. D. (2023). Potential of the passion fruit mesocarp flour as a source of pectin and its application as thickener and gelling agent. *International Journal of Food Science & Technology*, 58(4), 1766-1774.
- Silva, N. H., Rodrigues, A. F., Almeida, I. F., Costa, P. C., Rosado, C., Neto, C. P., ... & Freire, C. S. (2014). Bacterial cellulose membranes as transdermal delivery systems for diclofenac: in vitro dissolution and permeation studies. *Carbohydrate polymers*, 106, 264-269.
- Silva, R. O., Damasceno, S. R., Brito, T. V., Dias, J. M., Fontenele, A. M., Braúna, I. S., ... & Barbosa, A. L. (2015). Polysaccharide fraction isolated from *Passiflora edulis* inhibits the inflammatory response and the oxidative stress in mice. *Journal of Pharmacy and Pharmacology*, 67(7), 1017-1027.
- Sista Kameshwar, A. K., & Qin, W. (2018). Structural and functional properties of pectin and lignin–carbohydrate complexes de-esterases: a review. *Bioresources and Bioprocessing*, 5(1), 1-16.
- Soliman, G. A. (2019). Dietary fiber, atherosclerosis, and cardiovascular disease. *Nutrients*, 11(5), 1155.
- Song, Y., Shi, Y., Liu, Y., Ma, Y., Lin, C., Nie, N., ... & Yang, J. (2024). Physicochemical Properties of Soluble Dietary Fiber from Passion Fruit Peel Based on Various Extraction Methods. *Agriculture*, 15(1), 1-19.
- Sontakke, P. B., Swami, S. B., Zambre, S., & Venkatesh, K. V. (2024). Microwave Convective Extraction of Pectin from Jackfruit Waste and its Quality Evaluation. *International Journal of Food and Fermentation Technology*, 14(1), 325-342.
- Soumya, R. S., Raj, K. B., & Abraham, A. (2021). *Passiflora edulis* (var. *Flavicarpa*) juice supplementation mitigates isoproterenol-induced myocardial infarction in rats. *Plant Foods for Human Nutrition*, 76, 189-195.

- Sousa, A. G., Nielsen, H. L., Armagan, I., Larsen, J., & Sørensen, S. O. (2015). The impact of rhamnogalacturonan-I side chain monosaccharides on the rheological properties of citrus pectin. *Food hydrocolloids*, 47, 130-139.
- Spinei, M., & Oroian, M. (2022). Microwave-assisted extraction of pectin from grape pomace. *Scientific Reports*, 12(1), 12722.
- Sriamornsak, P. (2003). Chemistry of pectin and its pharmaceutical uses: A review. *Silpakorn University International Journal*, 3(1-2), 206-228.
- Srivastava, P., & Malviya, R. (2011). Sources of pectin, extraction and its applications in pharmaceutical industry-An overview. *Indian journal of natural products and resources*, 2(1), 10-18.
- Steigerwald, H., Blanco-Perez, F., Albrecht, M., Bender, C., Wangorsch, A., Endreß, H. U., ... & Vieths, S. (2021). Does the food ingredient pectin provide a risk for patients allergic to non-specific lipid-transfer proteins?. *Foods*, 11(1), 13.
- Ström, A., Ribelles, P., Lundin, L., Norton, I., Morris, E. R., & Williams, M. A. (2007). Influence of pectin fine structure on the mechanical properties of calcium–pectin and acid–pectin gels. *Biomacromolecules*, 8(9), 2668-2674.
- Su, D. L., Li, P. J., Quek, S. Y., Huang, Z. Q., Yuan, Y. J., Li, G. Y., & Shan, Y. (2019). Efficient extraction and characterization of pectin from orange peel by a combined surfactant and microwave assisted process. *Food chemistry*, 286, 1-7.
- Sudasinghe, H. P., & Peiris, D. C. (2018). Hypoglycemic and hypolipidemic activity of aqueous leaf extract of *Passiflora suberosa* L. *PeerJ*, 6, e4389.
- Sultana, N. (2023). Biological Properties and Biomedical Applications of Pectin and Pectin-Based Composites: A Review. *Molecules*, 28(24), 7974.
- Sun, D., Chen, X., & Zhu, C. (2020). Physicochemical properties and antioxidant activity of pectin from hawthorn wine pomace: A comparison of different extraction methods. *International journal of biological macromolecules*, 158, 1239-1247.
- Sun, Z., Wang, S., Zhou, C., Ma, Z., & Qian, F. (2024). Optimization of ultrasound assisted organic acid extraction of pectin from pomelo peel by response surface methodology and its preliminary characterization. *Biomass Conversion and Biorefinery*, 14(17), 20129-20141.
- Sundar Raj, A. A., Rubila, S., Jayabalan, R., & Ranganathan, T. V. (2012). A review on pectin: Chemistry due to general properties of pectin and its pharmaceutical uses. *Sci. Rep*, 1(12), 550-553.
- Supreetha, R., Bindya, S., Deepika, P., Vinusha, H. M., & Hema, B. P. (2021). Characterization and biological activities of synthesized citrus pectin-MgO nanocomposite. *Results in Chemistry*, 3, 100156.
- Surolia, R., & Singh, A. (2022). Study on physicochemical properties, structural morphology, and prebiotic potential of extracted pectin from a novel source: Bael pulp (*Aegle marmelos*) residue. *Journal of Biotech Research*, 13, 247-259.
- Susanti, S., Legowo, A. M., Nurwantoro, N., Silviana, S., & Arifan, F (2021). Comparing the Chemical Characteristics of Pectin Isolated from Various Indonesian Fruit Peels. *Indonesian Journal of Chemistry*, 21(4), 1057-1062.

- Sutar, P. B., Mishra, R. K., Pal, K., & Banthia, A. K. (2008). Development of pH sensitive polyacrylamide grafted pectin hydrogel for controlled drug delivery system. *Journal of Materials Science: Materials in Medicine*, 19, 2247-2253.
- Synytsya, A., Čopíková, J., Matějka, P., & Machovič, V. J. C. P. (2003). Fourier transform Raman and infrared spectroscopy of pectins. *Carbohydrate polymers*, 54(1), 97-106.
- Szymanska-Chargot, M., & Zdunek, A. (2013). Use of FT-IR spectra and PCA to the bulk characterization of cell wall residues of fruits and vegetables along a fraction process. *Food biophysics*, 8(1), 29-42.
- Şen, E., Özdemir, S., & Uğuzdoğan, E. (2021). Meyve kabuğu atıklarından pektin ekstraksiyonu ve karakterizasyonu. *Pamukkale Üniversitesi Mühendislik Bilimleri Dergisi*, 27(7), 863-872.
- Tang, X., & de Vos, P. (2023). Structure-function effects of different pectin chemistries and its impact on the gastrointestinal immune barrier system. *Critical Reviews in Food Science and Nutrition*, 1-15.
- Tapre, A. R., & Jain, R. K. (2014). Pectinases: Enzymes for fruit processing industry. *International Food Research Journal*, 21(2), 447.
- Teng, H., He, Z., Li, X., Shen, W., Wang, J., Zhao, D., ... & Zha, X. (2022). Chemical structure, antioxidant and anti-inflammatory activities of two novel pectin polysaccharides from purple passion fruit (*Passiflora edulia* Sims) peel. *Journal of Molecular Structure*, 1264, 133309.
- Thakare, V. B., Jadeja, G. C., & Desai, M. A. (2023). Extraction of mangiferin and pectin from mango peels using process intensified tactic: A step towards waste valorization. *Chemical Engineering Research and Design*, 192, 280-288.
- Thakur, B. R., Singh, R. K., Handa, A. K., & Rao, M. A. (1997). Chemistry and uses of pectin—A review. *Critical Reviews in Food Science & Nutrition*, 37(1), 47-73.
- Thibault, J. F., & Ralet, M. C. (2003). Physico-chemical properties of pectins in the cell walls and after extraction. In A.G.J. Voragen, H.A. Schols, & R. Visser (Eds.), *Advances in pectin and pectinase research* (pp. 91-105). Kluwer Academic Publishers.
- Thibault, J. F., Renard, C. M., Axelos, M. A., Roger, P., & Crépeau, M. J. (1993). Studies of the length of homogalacturonic regions in pectins by acid hydrolysis. *Carbohydrate Research*, 238, 271-286.
- Thirugnanasambandham, K., Sivakumar, V., & Maran, J. P. (2014). Process optimization and analysis of microwave assisted extraction of pectin from dragon fruit peel. *Carbohydrate polymers*, 112, 622-626.
- Thokchom, R., ve Mandal, G. (2017). Production preference and importance of passion fruit (*Passiflora edulis*): A review. *Journal of Agricultural Engineering and Food Technology*, 4(1), 27-30.
- Tian, L., Bruggeman, G., van den Berg, M., Borewicz, K., Scheurink, A. J., Bruininx, E., ... & Gruppen, H. (2017). Effects of pectin on fermentation characteristics, carbohydrate utilization, and microbial community composition in the gastrointestinal tract of weaning pigs. *Molecular nutrition & food research*, 61(1), 1600186.

- Tian, L., Singh, A., & Singh, A. V. (2020). Synthesis and characterization of pectin-chitosan conjugate for biomedical application. *International Journal of Biological Macromolecules*, 153, 533-538.
- Tien, N. N. T., Le, N. L., Khoi, T. T., & Richel, A. (2022). Characterisation of dragon fruit peel pectin extracted with natural deep eutectic solvent and sequential microwave-ultrasound-assisted approach. *International Journal of Food Science and Technology*, 57(6), 3735-3749.
- Tiwari, B. K. (2015). Ultrasound: A clean, green extraction technology. *TrAC Trends in Analytical Chemistry*, 71, 100-109.
- Tongkham, N., Juntasalay, B., Lasunon, P., & Sengkhamparn, N. (2017). Dragon fruit peel pectin: microwave-assisted extraction and fuzzy assessment. *Agriculture and Natural Resources*, 51(4), 262-267.
- Torpol, K., Sriwattana, S., Sangsuwan, J., Wiriyaacharee, P., & Prinyawiwatkul, W. (2019). Optimising chitosan-pectin hydrogel beads containing combined garlic and holy basil essential oils and their application as antimicrobial inhibitor. *International Journal of Food Science & Technology*, 54(6), 2064-2074.
- Tummalapalli, M., Berthet, M., Verrier, B., Deopura, B. L., Alam, M. S., & Gupta, B. (2016). Composite wound dressings of pectin and gelatin with aloe vera and curcumin as bioactive agents. *International journal of biological macromolecules*, 82, 104-113.
- Ullah, K., Sohail, M., Buabeid, M. A., Murtaza, G., Ullah, A., Rashid, H., ... & Khan, S. A. (2019). Pectin-based (LA-co-MAA) semi-IPNS as a potential biomaterial for colonic delivery of oxaliplatin. *International journal of pharmaceuticals*, 569, 118557.
- Van Buren, J. P. (1991). Function of pectin in plant tissue structure and firmness. *The chemistry and technology of pectin*, 1-22.
- Van den Abbeele, P., Deyaert, S., Albers, R., Baudot, A., & Mercenier, A. (2023). Carrot RG-I reduces interindividual differences between 24 adults through consistent effects on gut microbiota composition and function ex vivo. *Nutrients*, 15(9), 2090.
- Van Hung, P., Anh, M. N. T., Hoa, P. N., & Phi, N. T. L. (2021). Extraction and characterization of high methoxyl pectin from *Citrus maxima* peels using different organic acids. *Journal of Food Measurement and Characterization*, 15(2), 1541-1546.
- Vasco-Correa, J., & Zapata, A. D. Z. (2017). Enzymatic extraction of pectin from passion fruit peel (*Passiflora edulis* f. *flavicarpa*) at laboratory and bench scale. *Lwt*, 80, 280-285.
- Venkatesh, M. S., & Raghavan, G. S. V. (2004). An overview of microwave processing and dielectric properties of agri-food materials. *Biosystems engineering*, 88(1), 1-18.
- Viera, W., Shinohara, T., Samaniego, I., Sanada, A., Terada, N., Ron, L., ... & Koshio, K. (2022). Phytochemical composition and antioxidant activity of *Passiflora* spp. germplasm grown in Ecuador. *Plants*, 11(3), 328.

- Vijay, A., Kelly, A., Miller, S., Marshall, M., Alonso, A., Kouraki, A., ... & Valdes, A. M. (2024). Supplementation with citrus low-methoxy pectin reduces levels of inflammation and anxiety in healthy volunteers: a pilot controlled dietary intervention study. *Nutrients*, 16(19), 3326.
- Vinatoru, M. (2001). An overview of the ultrasonically assisted extraction of bioactive principles from herbs. *Ultrasonics sonochemistry*, 8(3), 303-313.
- Vinatoru, M., Mason, T. J., & Calinescu, I. (2017). Ultrasonically assisted extraction (UAE) and microwave assisted extraction (MAE) of functional compounds from plant materials. *TrAC Trends in Analytical Chemistry*, 97, 159-178.
- Viuda-Martos, M., Fernández-López, J., & Pérez-Álvarez, J. A. (2010). Pomegranate and its many functional components as related to human health: a review. *Comprehensive reviews in food science and food safety*, 9(6), 635-654.
- Vo, P. T., Chieng, H. M., & Nguyen, Q. D. (2024). Ultrasonic-assisted Processes to Recover Phenolics and Flavonoids from Passion Fruit Peels. *Chemical Engineering Transactions*, 108, 13-18.
- Vogt, L. M., Meyer, D., Pullens, G., Faas, M. M., Venema, K., Ramasamy, U., ... & de Vos, P. (2014). Toll-like receptor 2 activation by $\beta 2 \rightarrow 1$ -fructans protects barrier function of T84 human intestinal epithelial cells in a chain length-dependent manner. *The Journal of nutrition*, 144(7), 1002-1008.
- Vogt, L. M., Sahasrabudhe, N. M., Ramasamy, U., Meyer, D., Pullens, G., Faas, M. M., ... & de Vos, P. (2016). The impact of lemon pectin characteristics on TLR activation and T84 intestinal epithelial cell barrier function. *Journal of Functional Foods*, 22, 398-407.
- Voragen, A. G., Coenen, G. J., Verhoef, R. P., & Schols, H. A. (2009). Pectin, a versatile polysaccharide present in plant cell walls. *Structural Chemistry*, 20, 263-275.
- Vriesmann, L. C., & de Oliveira Petkowicz, C. L. (2017). Cacao pod husks as a source of low-methoxyl, highly acetylated pectins able to gel in acidic media. *International journal of biological macromolecules*, 101, 146-152.
- Vuolo, M. M., Lima, G. C., Batista, Â. G., Carazin, C. B. B., Cintra, D. E., Prado, M. A., & Júnior, M. R. M. (2020). Passion fruit peel intake decreases inflammatory response and reverts lipid peroxidation and adiposity in diet-induced obese rats. *Nutrition research*, 76, 106-117.
- Wang, C., Xu, F. Q., Shang, J. H., Xiao, H., Fan, W. W., Dong, F. W., ... & Zhou, J. (2013). Cycloartane triterpenoid saponins from water soluble of *Passiflora edulis* Sims and their antidepressant-like effects. *Journal of ethnopharmacology*, 148(3), 812-817.
- Wang, F., Du, C., Chen, J., Shi, L., & Li, H. (2021). A new method for determination of pectin content using spectrophotometry. *Polymers*, 13(17), 2847.
- Wang, J., Zhao, Q., Xu X., Xie, Q., & Chen, Q. (2022). Optimization of response surface for ultrasonic acid extraction of pectin from passion fruit peel and its antioxidant activity. *Science and Technology of Food Industry*, 43(13), 162-170.
- Wang, J., Zhao, Q., Xu X., Xie, Q., & Chen, Q. (2022). Optimization of response surface for ultrasonic acid extraction of pectin from passion fruit peel and its antioxidant activity. *Science and Technology of Food Industry*, 43(13), 162-170.

- Wang, L., & Weller, C. L. (2006). Recent advances in extraction of nutraceuticals from plants. *Trends in Food Science & Technology*, 17(6), 300-312.
- Wang, M. M., Wang, F., Li, G., Tang, M. T., Wang, C., Zhou, Q. Q., ... & Gu, Q. (2022). Antioxidant and hypolipidemic activities of pectin isolated from *citrus* canning processing water. *Lwt*, 159, 113203.
- Wang, M., Tang, R., Zhou, R., Qian, Y., & Di, D. (2023). The protective effect of serum carotenoids on cardiovascular disease: a cross-sectional study from the general US adult population. *Frontiers in Nutrition*, 10, 1154239.
- Wang, S., Chen, F., Wu, J., Wang, Z., Liao, X., & Hu, X. (2007). Optimization of pectin extraction assisted by microwave from apple pomace using response surface methodology. *Journal of food engineering*, 78(2), 693-700.
- Wang, S., Fang, Y., Xu, Y., Zhu, B., Piao, J., Zhu, L., ... & Wu, J. (2022). The effects of different extraction methods on physicochemical, functional and physiological properties of soluble and insoluble dietary fiber from *Rubus chingii* Hu. fruits. *Journal of Functional Foods*, 93, 105081.
- Wang, W., Ma, X., Jiang, P., Hu, L., Zhi, Z., Chen, J., ... & Liu, D. (2016). Characterization of pectin from grapefruit peel: A comparison of ultrasound-assisted and conventional heating extractions. *Food Hydrocolloids*, 61, 730-739.
- Wang, W., Ma, X., Xu, Y., Cao, Y., Jiang, Z., Ding, T., ... & Liu, D. (2015). Ultrasound-assisted heating extraction of pectin from grapefruit peel: Optimization and comparison with the conventional method. *Food chemistry*, 178, 106-114.
- Wani, K. M., & Patidar, R. (2025). Microwave-assisted extraction of pectin from lemon peel powder: Optimization and physicochemical properties. *Sustainable Chemistry for the Environment*, 9, 100223.
- Wani, K. M., & Uppaluri, R. V. (2024). Continuous and pulsed ultrasound-assisted extraction of pectin from pomelo fruit peel using citric acid. *Biomass Conversion and Biorefinery*, 14(22), 28603-28618.
- Wathoni, N., Shan, C. Y., Shan, W. Y., Rostinawati, T., Indradi, R. B., Pratiwi, R., & Muchtaridi, M. (2019). Characterization and antioxidant activity of pectin from Indonesian mangosteen (*Garcinia mangostana* L.) rind. *Heliyon*, 5(8).
- Weber, A. M., Pascale, N., Gu, F., Ryan, E. P., & Respondek, F. (2024). Nutrition and health effects of pectin: A systematic scoping review of human intervention studies. *Nutrition Research Reviews*, 1-18.
- Wei, X., Xu, K., Qin, W., Lv, S., & Guo, M. (2024). Hawthorn (*Crataegus pinnatifida*) berries ripeness induced pectin diversity: A comparative study in physicochemical properties, structure, function and fresh-keeping potential. *Food Chemistry*, 455, 139703.
- Weyya, G., Belay, A., & Tadesse, E. (2024). Passion fruit (*Passiflora edulis* Sims) by-products as a source of bioactive compounds for non-communicable disease prevention: extraction methods and mechanisms of action: a systematic review. *Frontiers in Nutrition*, 11, 1340511.
- Wicker, L., Kim, Y., Kim, M. J., Thirkield, B., Lin, Z., & Jung, J. (2014). Pectin as a bioactive polysaccharide—Extracting tailored function from less. *Food Hydrocolloids*, 42, 251-259.

- Wickramasinghe, U. L., Marapana, R. A. U. J., ve Anuradha, P. A.V. (2022). Extraction, characterization and comparison of pectin from purple (*Passiflora edulis*) and yellow (*Passiflora edulis* f. *flavicarpa*) varieties of passion fruit peel by ultrasonic extraction method under two pretreatment conditions. *International Journal of Food Science and Nutrition*, 7(3), 124-133.
- Wikiera, A., Koziół, A., Mika, M., & Stodolak, B. (2022). Structure and bioactivity of apple pectin isolated with arabinanase and mannanase. *Food Chemistry*, 388, 133020.
- Willats, W. G., Knox, J. P., & Mikkelsen, J. D. (2006). Pectin: new insights into an old polymer are starting to gel. *Trends in food science & technology*, 17(3), 97-104.
- Willats, W. G., McCartney, L., Mackie, W., & Knox, J. P. (2001). Pectin: cell biology and prospects for functional analysis. *Plant molecular biology*, 47(1), 9-27.
- Wongkaew, M., Chaimongkol, P., Leksawasdi, N., Jantanasakulwong, K., Rachtanapun, P., Seesuriyachan, P., ... & Sommano, S. R. (2021). Mango peel pectin: Recovery, functionality and sustainable uses. *Polymers*, 13(22), 3898.
- Wongkaew, M., Sommano, S. R., Tangpao, T., Rachtanapun, P., & Jantanasakulwong, K. (2020). Mango peel pectin by microwave-assisted extraction and its use as fat replacement in dried Chinese sausage. *Foods*, 9(4), 450.
- World Integrated Trade Solution, (2023a). <https://wits.worldbank.org/trade/comtrade/en/country/TUR/year/2023/tradeflow/Imports/partner/ALL/product/130220> (Erişim tarihi: 27.12.2025).
- World Integrated Trade Solution, (2023b). <https://wits.worldbank.org/trade/comtrade/en/country/TUR/year/2023/tradeflow/Exports/partner/ALL/product/130220> (Erişim tarihi: 27.12.2025).
- World Integrated Trade Solution, (2024a). <https://wits.worldbank.org/trade/comtrade/en/country/TUR/year/2024/tradeflow/Imports/partner/ALL/product/130220> (Erişim tarihi: 27.12.2025).
- World Integrated Trade Solution, (2024b). <https://wits.worldbank.org/trade/comtrade/en/country/TUR/year/2024/tradeflow/Exports/partner/ALL/product/130220> (Erişim tarihi: 27.12.2025).
- Wu, C., Pan, L. L., Luo, Y., Niu, W., Fang, X., Liang, W., ... & Sun, J. (2019). Low methoxyl pectin protects against autoimmune diabetes and associated caecal dysfunction. *Molecular nutrition & food research*, 63(21), 1900307.
- Wu, D., Ye, X., Linhardt, R. J., Liu, X., Zhu, K., Yu, C., ... & Chen, S. (2021). Dietary pectic substances enhance gut health by its polycomponent: A review. *Comprehensive Reviews in Food Science and Food Safety*, 20(2), 2015-2039.
- Wu, H., Li, M., Yang, X., Wei, Q., Sun, L., Zhao, J., & Shang, H. (2020). Extraction optimization, physicochemical properties and antioxidant and hypoglycemic activities of polysaccharides from roxburgh rose (*Rosa roxburghii* Tratt.) leaves. *International Journal of Biological Macromolecules*, 165, 517-529.
- Wu, J., Chen, R., Tan, L., Bai, H., Tian, L., Lu, J., ... & Wu, W. (2024). Effect of extraction technology on physicochemical properties and biological activities of passion fruit peel polysaccharides. *Journal of Food Measurement and Characterization*, 18(4), 2797-2813.

- Xia, H., & Matharu, A. S. (2017). Unavoidable food supply chain waste: acid-free pectin extraction from mango peel via subcritical water. *Faraday discussions*, 202, 31-42.
- Xiang, C., Teng, H., Sheng, Z., Zhao, C., Deng, J., Zhao, C., ... & Ai, C. (2025). Structural characterization and antioxidant activity mechanism of the ferulic acid-rich subfraction from sugar beet pectin. *Carbohydrate Polymers*, 347, 122691.
- Xie, F., Gu, B. J., Saunders, S. R., & Ganjyal, G. M. (2021). High methoxyl pectin enhances the expansion characteristics of the cornstarch relative to the low methoxyl pectin. *Food Hydrocolloids*, 110, 106131.
- Xiong, B., Zhang, W., Wu, Z., Liu, R., Yang, C., Hui, A., ... & Xian, Z. (2021). Preparation, characterization, antioxidant and anti-inflammatory activities of acid-soluble pectin from okra (*Abelmoschus esculentus* L.). *International Journal of Biological Macromolecules*, 181, 824-834.
- Xu, K., Guo, M., Du, J., & Zhang, Z. (2019). Okra polysaccharide: Effect on the texture and microstructure of set yoghurt as a new natural stabilizer. *International Journal of Biological Macromolecules*, 133, 117-126.
- Xu, K., Martinez, M. M., Yang, B., & Guo, M. (2020). Fine structure, physicochemical and antioxidant properties of LM-pectins from okra pods dried under different techniques. *Carbohydrate Polymers*, 241, 116272.
- Xu, S. Y., Liu, J. P., Huang, X., Du, L. P., Shi, F. L., Dong, R., ... & Cheong, K. L. (2018). Ultrasonic-microwave assisted extraction, characterization and biological activity of pectin from jackfruit peel. *Lwt*, 90, 577-582.
- Yadav, S. R., Khan, Z. H., Kunjwani, S. S., & Mular, S. M. (2015). Extraction and characterization of pectin from different fruits. *International Journal of Applied Research*, 1(9), 91-94.
- Yan, J. K., Qiu, W. Y., Wang, Y. Y., & Wu, J. Y. (2017). Biocompatible polyelectrolyte complex nanoparticles from lactoferrin and pectin as potential vehicles for antioxidative curcumin. *Journal of agricultural and food chemistry*, 65(28), 5720-5730.
- Yan, S., Liu, X., Wang, Y., Yang, X., Bai, L., Sun, L., ... & Cui, S. (2023). Structural characterization and antioxidant activity of pectic polysaccharides from *Veronica peregrina* L. *Frontiers in Nutrition*, 10, 1217862.
- Yanakieva, I., Kussovski, V., & Kratchanova, M. (2012). Isolation, characterization and modification of citrus pectins. *Journal of Bioscience and biotechnology*, 1(3), 223-233.
- Yang, B., Wang, J., Zhao, M., Liu, Y., Wang, W., & Jiang, Y. (2006). Identification of polysaccharides from pericarp tissues of litchi (*Litchi chinensis* Sonn.) fruit in relation to their antioxidant activities. *Carbohydrate research*, 341(5), 634-638.
- Yang, J. S., Mu, T. H., & Ma, M. M. (2018). Extraction, structure, and emulsifying properties of pectin from potato pulp. *Food chemistry*, 244, 197-205.
- Yang, X., Nisar, T., Liang, D., Hou, Y., Sun, L., & Guo, Y. (2018). Low methoxyl pectin gelation under alkaline conditions and its rheological properties: Using NaOH as a pH regulator. *Food Hydrocolloids*, 79, 560-571.

- Yang, X., Yuan, K., Descallar, F. B. A., Li, A., Yang, X., & Yang, H. (2022). Gelation behaviors of some special plant-sourced pectins: A review inspired by examples from traditional gel foods in China. *Trends in Food Science & Technology*, 126, 26-40.
- Yang, Y., Wang, Z., Hu, D., Xiao, K., & Wu, J. Y. (2018). Efficient extraction of pectin from sisal waste by combined enzymatic and ultrasonic process. *Food Hydrocolloids*, 79, 189-196.
- Yang, Y., Zhang, W., Ai, B., Zheng, L., Zheng, X., Xiao, D., ... & Wang, S. (2025). Passion fruit peel-derived low-methoxyl pectin: De-esterification methods and application as a fat substitute in set yogurt. *Carbohydrate Polymers*, 347, 122664.
- Yapo, B. M. (2009). Lemon juice improves the extractability and quality characteristics of pectin from yellow passion fruit by-product as compared with commercial citric acid extractant. *Bioresource technology*, 100(12), 3147-3151.
- Yapo, B. M., & Koffi, K. L. (2006). Yellow passion fruit rind a potential source of low-methoxyl pectin. *Journal of agricultural and food chemistry*, 54(7), 2738-2744.
- Yapo, B. M., & Koffi, K. L. (2008). Dietary Fiber Components in Yellow Passion Fruit Rind A Potential Fiber Source. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 56(14), 5880-5883.
- Yapo, B. M., Robert, C., Etienne, I., Wathelet, B., & Paquot, M. (2007). Effect of extraction conditions on the yield, purity and surface properties of sugar beet pulp pectin extracts. *Food chemistry*, 100(4), 1356-1364.
- Yi, L., Cheng, L., Yang, Q., Shi, K., Han, F., Luo, W., & Duan, S. (2024). Source, Extraction, Properties, and Multifunctional Applications of Pectin: A Short Review. *Polymers*, 16(20), 2883.
- Yin, X., Zheng, Y., Kong, X., Cao, S., Chen, S., Liu, D., ... & Tian, J. (2021). RG-I pectin affects the physicochemical properties and digestibility of potato starch. *Food Hydrocolloids*, 117, 106687.
- You, Q., Wan, M., Fang, X., Yin, X., Luo, C., & Zhang, X. (2019). Optimization of intermittent microwave extraction method for the determination of pectin from pomelo peels. *Materials Research Express*, 6(6), 065405.
- Yu, Y., Lu, P., Yang, Y., Ji, H., Zhou, H., Chen, S., ... & Chen, H. (2024). Differences in physicochemical properties of pectin extracted from pomelo peel with different extraction techniques. *Scientific Reports*, 14(1), 9182.
- Yuan, Y., Xu, X., Jing, C., Zou, P., Zhang, C., & Li, Y. (2018). Microwave assisted hydrothermal extraction of polysaccharides from *Ulva prolifera*: Functional properties and bioactivities. *Carbohydrate polymers*, 181, 902-910.
- Zaidel, D. A., Rashid, J. M., Hamidon, N. H., Salleh, L. M., & Kassim, A. M. (2017). Extraction and characterisation of pectin from dragon fruit (*Hylocereus polyrhizus*) peels. *Chemical Engineering Transactions*, 56, 805-810.
- Zhang, L., Ye, X., Ding, T., Sun, X., Xu, Y., & Liu, D. (2013). Ultrasound effects on the degradation kinetics, structure and rheological properties of apple pectin. *Ultrasonics Sonochemistry*, 20(1), 222-231.

- Zhang, M., Zu, H., Zhuang, X., Yu, Y., Wang, Y., Zhao, Z., & Zhou, Y. (2020). Structural analyses of the HG-type pectin from *notopterygium incisum* and its effects on galectins. *International Journal of Biological Macromolecules*, 162, 1035-1043.
- Zhang, W. Y., Liao, J. S., & Qi, J. R. (2025). Modulation of Gut Microbiota by Pectin: The critical role of degree of esterification and rhamnogalacturonan-I ratios. *Food Bioscience*, 64, 105763.
- Zhang, W., Sun, J., Li, Q., Liu, C., Yue, R., Zhang, Y., ... & Deng, S. (2025). Effects of different extraction solvents on the compositions, primary structures, and anti-inflammatory activity of pectin from sweet potato processing by-products. *Carbohydrate Polymers*, 347, 122766.
- Zhang, W., Xu, P., & Zhang, H. (2015). Pectin in cancer therapy: A review. *Trends in Food Science & Technology*, 44(2), 258-271.
- Zhang, X., Lin, J., Pi, F., Zhang, T., Ai, C., & Yu, S. (2020). Rheological characterization of RG-I chicory root pectin extracted by hot alkali and chelators. *International Journal of Biological Macromolecules*, 164, 759-770.
- Zhang, Y. J., Zhou, T., Wang, F., Zhou, Y., Li, Y., Zhang, J. J., ... & Li, H. B. (2016). The effects of *Syzygium samarangense*, *Passiflora edulis* and *Solanum muricatum* on alcohol-induced liver injury. *International Journal of Molecular Sciences*, 17(10), 1616.
- Zhao, L., Wu, L., Li, L., Zhu, J., Chen, X., Zhang, S., ... & Yan, J. K. (2023). Physicochemical, structural, and rheological characteristics of pectic polysaccharides from fresh passion fruit (*Passiflora edulis* f. *flavicarpa* L.) peel. *Food Hydrocolloids*, 136, 108301.
- Zheng, J., Chen, J., Zhang, H., Wu, D., Ye, X., Linardt, R. J., & Chen, S. (2020). Gelling mechanism of RG-I enriched *citrus* pectin: Role of arabinose side-chains in cation-and acid-induced gelation. *Food hydrocolloids*, 101, 105536.
- Zhu, K., Mao, G., Wu, D., Yu, C., Cheng, H., Xiao, H., ... & Chen, S. (2020). Highly branched RG-I domain enrichment is indispensable for pectin mitigating against high-fat diet-induced obesity. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 68(32), 8688-8701.
- Ziari, H., Ashtiani, F. Z., & Mohtashamy, M. (2010). Comparing the effectiveness of processing parameters in pectin extraction from apple pomace. *Afinidad*, 67(549).
- Zibadi, S., Farid, R., Moriguchi, S., Lu, Y., Foo, L. Y., Tehrani, P. M., ... & Watson, R. R. (2007). Oral administration of purple passion fruit peel extract attenuates blood pressure in female spontaneously hypertensive rats and humans. *Nutrition Research*, 27(7), 408-416.
- Zucolotto, S. M., Fagundes, C., Reginatto, F. H., Ramos, F. A., Castellanos, L., Duque, C., & Schenkel, E. P. (2012). Analysis of C-glycosyl flavonoids from South American *Passiflora* species by HPLC-DAD and HPLC-MS. *Phytochemical analysis*, 23(3), 232-239.

ÖZGEÇMİŞ

Adı-Soyadı: İpek Bayrakcı

Eğitim ve Mesleki Geçmişi:

- 2010-2014, Beşiktaş Atatürk Anadolu Lisesi
- 2015-2019, Acıbadem Mehmet Ali Aydınlar Üniversitesi, Sağlık Bilimleri Fakültesi, Beslenme ve Diyetetik Anabilim Dalı
- 2017-2020, Acıbadem Mehmet Ali Aydınlar Üniversitesi, Fen-Edebiyat Fakültesi, Psikoloji Anabilim Dalı
- 2021-2026, Diyetisyen, Sürdürülebilir Bütüncül Beslenme Danışmanlığı Diyetisyen İpek Bayrakcı
- 2023-2024, Kalite Kontrol Müdürü, Royal Garden Beach Hotel
- 2025-2025, Diyetisyen, Gold City Hotel

Yayınları ve Bilimsel/Sanatsal Faaliyetleri:

- Bayrakcı İ., Bulut G., & Köksal, S. (2019). Diyetisyen Kontrolünde Yürütülen ve Sosyal Medya Aracı Olan Instagramdaki Beslenme ve Diyetetik Alanı ile İlgili Hesapların Üniversite Öğrencilerinin Besin Tercihine Etkisi. 8. *Ulusal Sağlıklı Yaşam Kongresi Bildiri Kitabı* (s. 96-98), Acıbadem Mehmet Ali Aydınlar Üniversitesi.
- Bayrakci, I., & Aktar, T. (2024). Effects of Gluten on Health: Pseudocereals as Gluten Substitutes. In S. Mehta, F. Islam, & A. Imran (Eds.), *Innovations in Engineering and Food Science* (pp. 318-343). IGI Global Scientific Publishing.

Yabancı Dil Bilgisi:

- İngilizce